


VSB – Technical University of Ostrava

 Konference Vyšegrádských zemí pro osvětlení
Konferencja oświetleniowa krajów Grupy Wyszehradzkiej
Konferencia Vyšehradských krajín pre osvetlenie
Visegrádi Országok Világítási Konferenciája



IIIrd Conference of the Visegrad Countries on Lighting

LUMEN V4

Czech Republic, Brno,

hotel Santon

23 – 25 June 2010



Comparison of real street lighting with sodium lamps and LEDs

Abstract. The paper presents the comparison of luminous and electrical properties of modern LED-based luminaires with properties of the conventional luminaires with high pressure sodium lamp. It collects available product information of compared luminaires with measured luminous and electrical properties of them to allow a reader to take a view of mentioned luminaire properties. The most important values of the luminaire samples compared are the luminous efficacy, color rendering index, startup process characteristics, spectral distribution of the light sources, etc.

Keywords: Road lighting, light emitting diodes, high pressure sodium lamp, luminaire.

Introduction

In the late 1990s first white light emitting diodes applicable in lighting were developed. Luminous efficacy of the first power LEDs was similar to the luminous efficacy of common incandescent tungsten bulbs. Luminous characteristics of white LEDs are increasing progressively up to the current situation when white LEDs have luminous efficacy similar or higher than conventional light sources used in road lighting, e.g. high pressure sodium discharge lamps (see fig. 1). Therewithal LEDs features much higher color rendering index than conventional light sources used in road lighting. Consequently there is a need to compare luminous and electrical characteristics of two sample types of luminaire, one fitted with conventional and the other with modern light source.

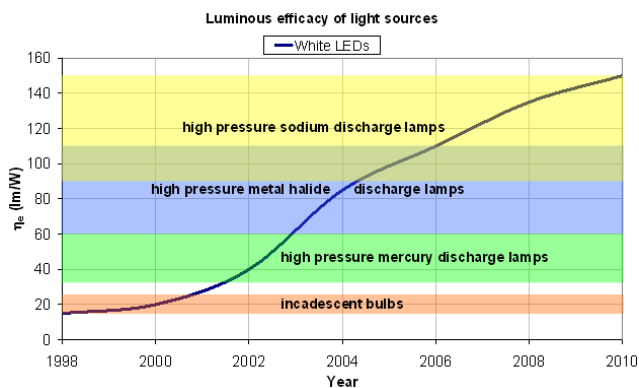


Fig.1. Increase of white LEDs luminous efficacy since 1998 [5].

LED-based luminaire characteristics

The first compared luminaire is LED-based luminaire (see fig. 2) fitted with 84 Osram Golden Dragon Plus diodes. Further description and nominal characteristics are summarized in Tab. 1 and hereinafter.



Fig.2. Sample of a LED-based luminaire for road lighting [4]

Tab.1. Nominal characteristics of the LED-based luminaire sample [4, 5].

Light source	LED
Light source manufacturer	Osram
Light source type	Golden Dragon Plus
Number of light sources in the luminaire	84
Power consumption of 1 light source (<i>W</i>)	1,2
Luminous flux of light source (<i>lm</i>)	120
Luminous efficacy of light source (<i>lm/W</i>)	100
Color temperature (<i>K</i>)	6 012
Color rendering index (-)	69
Luminous flux of all light sources in luminaire (<i>lm</i>)	10 080
Output luminous flux of the luminaire (<i>lm</i>)	6 417
Optical system efficacy (%)	63,7
Power consumption of the luminaire (<i>W</i> , including ballast consumption)	108
Luminous efficacy of the luminaire (<i>lm/W</i>)	59.4

In order to draw up the chromaticity classification, spectral analysis of the LED-based luminaire light was elaborated in The Laboratory of Photometry at FEE CTU in Prague. Based on the spectral analysis several significant characteristics have been evaluated: color rendering index (see Tab. 1), color temperature (see Fig. 6), spectral distribution of radiant flux (see fig. 3) and spectral distribution of luminous flux for photopic vision (under well light conditions, e.g. in the daytime) and for scotopic vision (under low light conditions, e.g. at night) – see fig. 5.

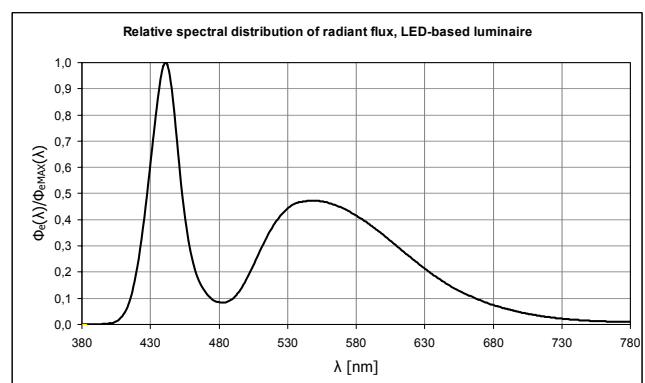


Fig.3. Relative spectral distribution of radiant flux of LED based luminaire sample [5]

Spectral distribution of luminous flux for photopic and scotopic vision shown in fig. 5 is calculated using equations (1) and (2).

Luminous flux for photopic vision [1]:

$$(1) \quad \Phi(\lambda) = \Phi_e(\lambda) \cdot K_m \cdot V(\lambda)$$

Where: $\Phi(\lambda)$ is luminous flux according to wavelength λ , $\Phi_e(\lambda)$ is radiant flux according to wavelength λ (fig. 3), K_m is absolute maximum of human eye spectral sensitivity for photopic vision ($K_m = 683 \text{ lm/W}$ at $\lambda = 555 \text{ nm}$), $V(\lambda)$ is relative photopic spectral sensitivity of human eye (fig. 4).

Luminous flux for scotopic vision [1]:

$$(2) \quad \Phi'(\lambda) = \Phi_e(\lambda) \cdot K'_m \cdot V'(\lambda)$$

Where: $\Phi'(\lambda)$ is luminous flux according to wavelength λ , $\Phi_e(\lambda)$ is radiant flux according to wavelength λ (fig. 3), K'_m is absolute maximum of human eye spectral sensitivity for scotopic vision ($K'_m = 683 \text{ lm/W}$ at $\lambda = 555 \text{ nm}$), $V'(\lambda)$ is relative scotopic spectral sensitivity of human eye (fig. 4).

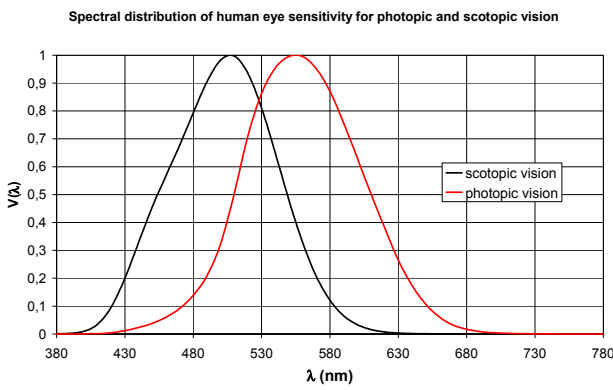


Fig.4. Spectral distribution of human eye sensitivity for photopic and scotopic vision [5].

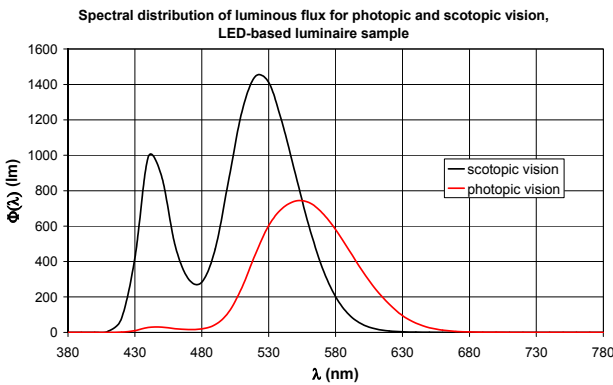


Fig.5. Spectral distribution of luminous flux of LED based luminaire sample, photopic and scotopic vision [5].

The total luminous flux of the luminaire for photopic vision Φ (or analogically for scotopic vision Φ') could be calculated using equation (3) [1]:

$$(3) \quad \Phi = K_m \cdot \int_0^{\infty} \left(\frac{d\Phi_e(\lambda)}{d\lambda} \right) \cdot V(\lambda) d\lambda$$

where the physical values are described by equation (1).

Particular values of luminous flux of LED-based luminaire sample are calculated in table 2.

Tab.2. Total luminous flux of LED-based luminaire sample.

Vision	Luminous flux
Photopic	$\Phi = 6\,417 \text{ lm}$
Scotopic	$\Phi' = 12\,308 \text{ lm}$

Based on spectral distribution of radiant flux measurements (Fig. 3) the color temperature and x, y coordinates of CIE 1931 color space have been evaluated: $x = 0.3210$; $y = 0.3455$. These values correspond with color temperature $T_c = 6012 \text{ K}$ (see Fig. 6).

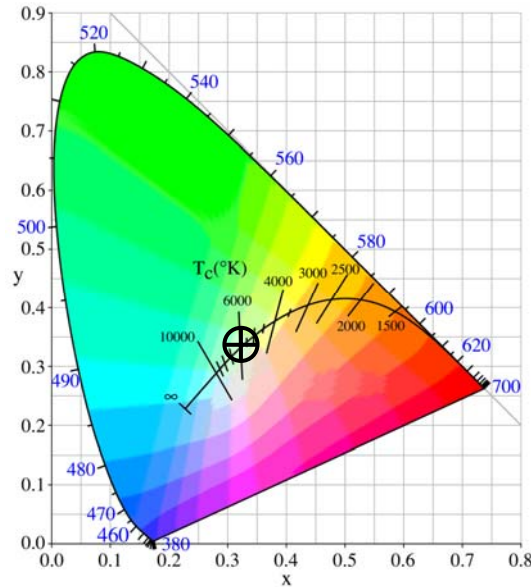


Fig.6. CIE 1931 Color space with figured x, y coordinates of LED-based luminaire light [5].

In order to review startup process of sample luminaires several characteristics have been measured after luminaire switch-on during two hours with the step of one minute in the beginning (30 minutes) and 15 minutes latter. Significant startup characteristics – the temperature of LED cooler, electric current (relative to stabilized value), power consumption (relative to stabilized value) and luminous flux (relative to stabilized value) – are shown in figure 7.

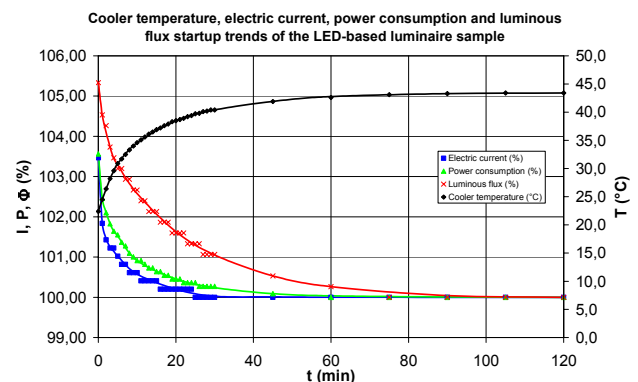


Fig.7. Cooler temperature, electric current, power consumption and luminous flux startup trends of the LED-based luminaire sample [5].

The stabilized luminous and electrical values (two hours after luminaire switch-on) corresponds with values in table 1.

Conventional luminaire characteristics

The second tested luminaire is the conventional one for road lighting (see Fig. 8) fitted with high pressure sodium discharge lamp.



Fig.8. Sample of a conventional luminaire for road lighting [3].

This type of luminaire is widely used in road lighting all over Czech Republic. Typically it can be found in big cities like Prague, where this type of luminaire predominates. Nominal characteristics of the second sample are summarized in the table 3. Further significant characteristics of the conventional luminaire fitted with high pressure sodium discharge lamp are described analogically as in the section „LED-based luminaire characteristics” by following figures (9, 10, 11, 12).

Tab.3. Nominal characteristics of the conventional luminaire sample [2, 3, 5].

Light source	High pressure sodium discharge lamp
Light source manufacturer	Osram
Light source type	NAV-T 100
Number of light sources in the luminaire	1
Power consumption of 1 light source (W)	100
Luminous flux of light source (lm)	9 000
Luminous efficacy of light source (lm/W)	90
Color temperature (K)	1 823
Color rendering index (-)	31
Luminous flux of all light sources in luminaire (lm)	9 000
Output luminous flux of the luminaire (lm)	7 290
Optical system efficacy (%)	81
Power consumption of the luminaire (W , including ballast consumption)	122
Luminous efficacy of the luminaire (lm/W)	59.8

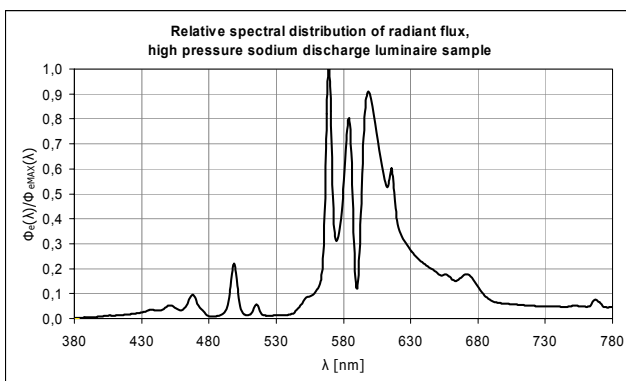


Fig.9. Relative spectral distribution of radiant flux of high pressure sodium discharge luminaire sample [5].

Spectral distribution of luminous flux for photopic and scotopic vision, high pressure sodium discharge luminaire sample

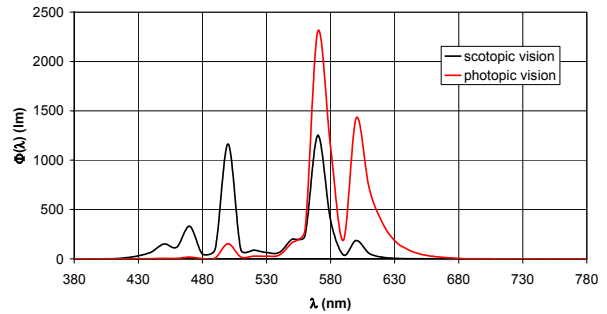


Fig.10. Spectral distribution of luminous flux of high pressure sodium discharge luminaire sample, photopic and scotopic vision [5].

Tab.4. Total luminous flux of high pressure sodium discharge luminaire sample.

Vision	Luminous flux
Photopic	$\Phi = 7\,290\,lm$
Scotopic	$\Phi' = 4\,347\,lm$

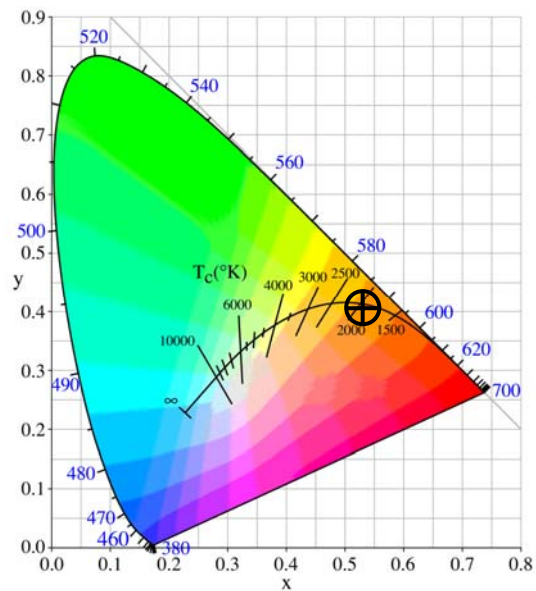


Fig.11. CIE 1931 Color space with figured x, y coordinates of high pressure sodium discharge light; $x = 0.5397$; $y = 0.4004$ [5].

Luminaire temperature, electric current, power consumption and luminous flux startup trends of the high pressure sodium discharge luminaire sample

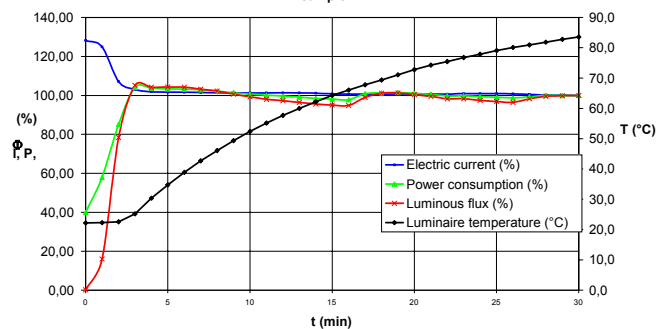


Fig.12. Luminaire temperature, electric current, power consumption and luminous flux startup trends of the high pressure sodium discharge luminaire sample [5].

Summary

LED-based luminaire sample has better parameters than high pressure sodium discharge luminaire ones for use in road lighting applications. The LED-based provides better color rendering, far higher scotopic luminous flux (important especially at night) and better startup stability with approximately the same luminous efficacy of the whole luminaire. In the yellow light of high pressure sodium discharge lamp with low color temperature colors are worse distinguishable. Taking into account the progressive development of LED-based luminaires it can be expected that they will be widely used for road lighting soon.

REFERENCES

- [1] HABEL, J., Světelná technika a osvětlování. 1st ed. Praha: FCC Public, 1995
- [2] Osram light sources catalogue. <http://www.osram.com>, 2010.

- [3] Schréder luminaires catalogue. <http://www.schreder.com>, 2010
- [4] Etna product catalogue. <http://www.etna.cz>, 2010
- [5] BÁLSKÝ, M., New trends in road lighting, *Poster 2010*. Praha: CTU FEL, 2010, May 6th.

Authors: *Ing. Marek Bálský, Ing. Rudolf Bayer, both PhD. students at Czech Technical University in Prague, Department of Electrical Power Engineering at Faculty of Electrical Engineering, Technická 2, CZ 166 27 Praha, E-mail: balskmar@fel.cvut.cz, bayerrud@fel.cvut.cz.*

End of life lamps at the lighting market in Poland

Abstract. The paper is addressing the subject of collection and recycling of end-of-life lamps at the lighting market in Poland. The article gives the historical insides that have influenced the today situation and the collection and recycling system.

Keywords: lamps, recycling, end-of-life.

Introduction

The critical phase of life cycle of lamps is usage. For light sources, more than 90% of the total environmental effect is caused by electricity consumption during usage. We can assess the energy consumption of particular lamps by their efficacy (lumen/watt). From this point of view the most efficient lamps are the discharge light sources. Although we have to conclude that majority of discharge lamps are considered as hazardous waste, because they contain small amount of environmentally sensitive substances (Hg). Knowing the size of the end-of-life lamps market we have seriously to prevent the environmental risk cause by the disposal phase.

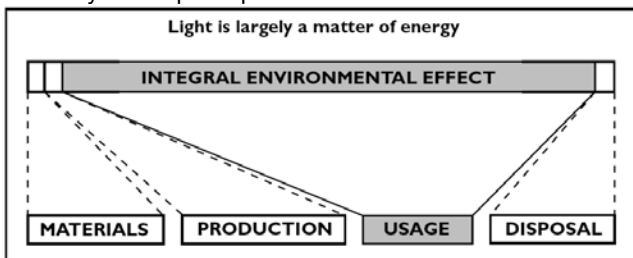


Fig.1. Life Cycle Assessment of fluorescent lamps [2]

Branch Association "Pol-Lighting" and its members, including Philips, are actively promoting and stimulating the recycling of spent lamps as well the creation of the required infrastructure. The Pol-lighting is of the opinion that this problem can best be handled by specialists in the field of recycling. In Poland, an infrastructure for processing end-of-life lamps is already operational. Waste legislation and possibilities for lamp disposal vary from country to country. Therefore local regulations should always be followed.

Recycling market and waste legislation in Poland

Historically, waste legislation and the roles for disposal were vary from country to country in Europe. In the 1989, there were an environmental catastrophe in Poland caused by the wrong or lack of management of end-of-life fluorescent lamps (rejects) at the POLAM Rzeszów lamp factory in south of Poland. During the years 1970-1989 the rejected lamps out of the production process were stored outdoor without proper handling that caused the breakages. The rejects were damped in various places (the investigation had discovered 32 such places! [1]). In result of the activity of POLAM Rzeszów the underground water was polluted and the factory was closed and has never restart the production again. Over the next years a lot of money has been spent to recover the contaminated area. The Ministry of Environment has took prompt actions to

prevent such accident in the future. This has resulted in strict regulations implemented for proper collection and disposal of fluorescent lamps in Poland.

The lamp recycling at Philips Lighting Poland S.A.

The manufacturing of fluorescent lamps was reallocated to POLAM Piła factory, that has a lot of experience with manufacturing of incandescent lamps. The strict condition to restart the fluorescent lamps production was to organize the recycling process of production rejects before. Since there were no such an experience in Poland, POLAM Piła had investigated various suppliers to purchase the recycling equipment and knowhow from other countries. The investigation has resulted in the long-term cooperation with Swedish company MRT. Closed to 1 million USD contract has been signed and the modern MRT machinery was installed for production-line rejects.

In 1991 POLAM Piła has been acquired by Philips Lighting B.V. The new born company – Philips Lighting Poland S.A. has continued and extended the production of fluorescent lamps. This resulted in the expansion of capacity with the modern Philips lines equipped in the unique dosing technology using the special mercury capsules (Fig.2). The new technology has allowed to reduce the mercury content in fluorescent lamps and the number of rejects. Consequently the old production lines were sold or scrapped.

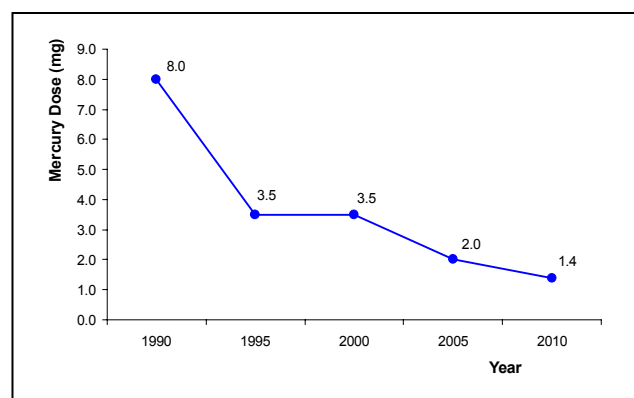


Fig.2 Reduction of mercury content in fluorescent lamps (Philips mercury capsule dosing technology – BAT)

The same time there were several investments in new technologies for recycling of end-of life lamps. Today, four specialized recycling units are used for the proper treatment of end-of-life lamps. Two main technologies used for recycling are end-cut and shredder (Fig.3).

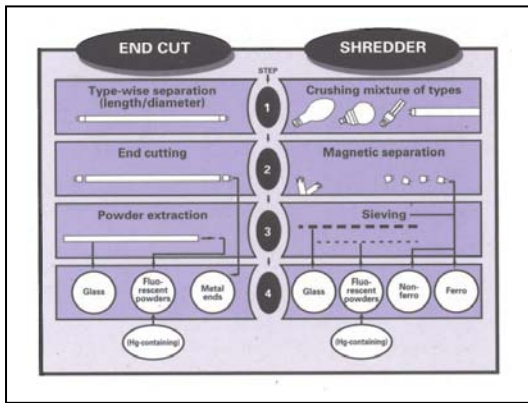


Fig.3. Two ways for recycling of end-of-life lamps

The latest investment in Philips Lighting Poland S.A. is a state of art end-cut technology. In the end-cut/air-push disassembly process, the end-caps of the lamp are removed by heating and cutting. The contents of the lamp tube are then removed by an air blast, which results in a mixture of fluorescent powder and mercury. All that is left over after this stage is the clean glass tube. The use of the end-cut/air-push disassembly process makes it possible to achieve good separation of the fluorescent powder and mercury mixture from the glass tube of the lamp. Other disassembly techniques used up to now have always resulted in incomplete separation, resulting in impure materials and making recycling difficult or impossible.

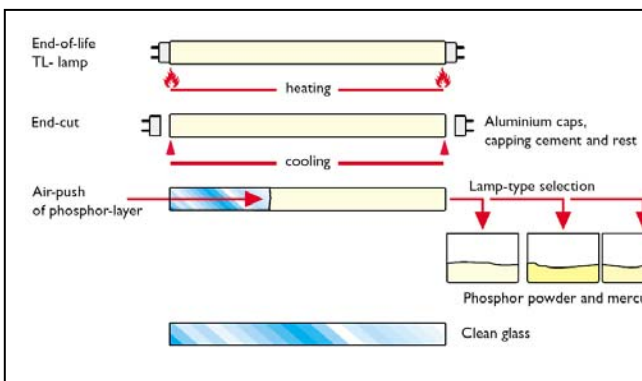


Fig.4. The phases of disassembly process for recycling of fluorescent lamps (end-cut technology) [2]

The recent innovation in the recycling process is the ability to separate the phosphor powders recovered from different fluorescent lamp types. This is possible by usage of a specially designed selection unit, which has been developed and patented by Philips. The role of the selection unit is to recognize the incoming lamps by their phosphor types. According to the detected phosphor type, the phosphor powder/mercury mixture, which is extracted by the air blast is directed into one of three corresponding bins.

The end-cut technology allows to separate the following materials for recycling:

- phosphor powder,
- mercury,
- glass (recovered in a pure form, can be used for the production of new fluorescent lamps),
- metal parts,
- remaining materials.

The remaining materials account for about 2% of lamp weight, and consist mainly of resins and glue residues, small metal components etc. These are the only parts of the lamp that cannot be recycled, and are therefore disposed of through the appropriate channels.

The waste legislation in Poland

The first waste legislation that had addressed the end-of-life lamps was the Polish legislation regarding the product and deposit fee. As fluorescent lamps and HID lamps contain the small particles of hazardous materials, these lamps were covered by this specific legislation, which was implemented in 2001 one year before the was published. The core of the legislation was the collection and recycling obligation limits that were introduced by this legislation.

Table 1. Collection as % of the CRSO's market [4]

No	Country	Name C(R)SO	Total market in thds pcs	C&R (ton) Q1-Q3 2007 actuals	Collection as % of market
1	Sweden	Ei-kretsen	12 000	1 771	77,70%
2	Estonia	Ekogaisma Eesti Filiaai	1 500	101	50,60%
3	Poland	ElektroEko	39 000	2 350	42,30%
4	Latvia	Ekogaisma	2 200	87	40,80%
5	Finland	FLIP	14 000	624	33,50%
6	Netherlands	LightRec Nederland	35 000	1 561	27,60%
7	Belgium	LightRec	19 800	900	23,90%
8	Austria	UFH Altlampen Systemebeitr eiber	12 500	450	23,70%
9	Germany	Lightcyde (CSO)	140 000	5 308	23,50%
10	Slovakia	EKOLAMP stovakia	5 250	126	21,10%
11	Hungary	ELECTRO-COORD (umbrella)	8 800	323	20,30%
12	Denmark	Lyskildebranchens WEEE Forening (LWF)	10 700	336	20,20%
13	Czech Republic	EKOLAMP	14 300	459	18,00%
14	Slovenia	ZEOS (EKOSIJ)	2 600	44	10,50%
15	France	Recylum	100 000	1 800	9,50%
16	Portugal	Amb3E (umbrella)	12 700	160	7,30%
17	United Kingdom	Recolight	125 000	1 216	6,40%
18	Spain	AMBILAMP	73 000	618	4,60%
19	Greece	Appliances Recycling (umbrella)	14 300	13	0,50%
20	Romania	Recolamp	15 600		0,00%

In 2005 Poland has implemented the new Waste Electrical Electronic Equipment legislation by transposition of EU Directive 2002/96/WE (WEEE). The existence of the previous legislation has helped to build the collection and recycling system for end-of-life lamps earlier than some other branches that were not covered by it.

The results of it is visible at the collection and recycling reports, which clearly shows that the lighting industry in Poland is one of the best performing industrial branches. The official report shows that in 2008 Lighting industry among ten industrial branches was the best performing in collection of WEEE with 33% collection rate followed by Telecommunication with 20% [3]. The leading collection and recycling organization in Poland is Elektroeko, which is also one of the most efficient organization in EU member states [4]. Although the results of lighting industry are good compared to others but still there is a long way to reach the satisfactory levels and meet long term EU commitments. One of the challenges is to improve the collection of compact fluorescent lamps from households, which is still far below from the waste flow from professional end-users. All parties including Ministry of Environment, collection and recycling organizations and lighting branch understand that the crucial element for the

success in collection from individual end-users is their education and continuous improvement of take back system and supporting legislation.

REFERENCES

- [1] Biuletyn ministerialny GiOŚ „LISTA 80” 1990-2005 Cele – realizacja – efekty, Warszawa 2005
- [2] Product environmental data 'TL' fluorescent lamps, Philips Lighting (2001)
- [3] Raport o funkcjonowaniu systemu gospodarki zużytym sprzętem elektrycznym i elektronicznym w 2008 roku, GiOŚ Warszawa, czerwiec 2009.
- [4] Unpublished material from Elektroeko.

Authors: mgr Narcyza Barczak-Araszkiwicz, ZPSO "Pol-lighting", ul. Stępińska 22/30, 00-739 Warszawa, E-mail: narczyza.barczak@pollighting.pl; mgr inż. Bogdan Ślęk, Philips Lighting Poland S.A., ul. Kossaka 150, 64-920 Piła, E-mail: bogdan.slek@philips.com.

Využití jasové analýzy pro posuzování energetické náročnosti osvětlení

Abstrakt. Cílem příspěvku je pojednat o možnostech využití jasové analýzy pro účely měření energetické náročnosti osvětlení zejména v kontextu hodnocení měrného výkonu instalovaných světelných zdrojů, resp. účinnosti instalovaných svítidel bez nutnosti demontáže. Při hodnocení energetické náročnosti se běžně uvažují hodnoty instalovaného příkonu osvětlovacích systémů v budově např. na jednotku plochy. Abychom mohli posoudit účinnost stávajících svítidel, museli bychom je demontovat a laboratorně ověřit jejich účinnost, což je samozřejmě pracné a prakticky nemožné. Nicméně bylo by možné např. analýzou jasu svítidla nebo světelného zdroje, vypočítat jejich přibližný světelný tok a tím si udělat základní představu o účinnosti, resp. měrném výkonu. To samozřejmě není možné u libovolného svítidla nebo zdroje, ale u některých typů by toto mělo být realizovatelné bez problémů, zejména u ideálně difuzních ploch. To, s jakou přesností je možné měrný výkon takto určit, by měl příspěvek zodpovědět

Abstract. Purpose of this paper is to discuss the possibilities of using luminance analysis for purposes of measuring the energy performance of lighting systems especially in the context of assessing the efficacy of installed light sources, respectively efficiency of installed lighting fixtures without disassembly. In assessing the energy performance will normally be considered the value of the installed power for lighting systems in the building as per unit area. In order to assess the effectiveness of existing fixtures, we have dismantled a laboratory to verify their effectiveness, which is obviously tedious and practically impossible. However, it would be such an analysis of luminaire or light source luminance, calculate the approximate luminous flux of light and thus make the basic idea of efficiency, respectively luminous efficacy. This is not possible with any luminaire or lamp, but some types, this should be feasible without problems, especially for ideal diffuse surfaces. With what accuracy it is possible to determine the luminous efficacy of this would be a contribution to answer.

Klíčová slova: energetická náročnost osvětlení, digitální fotografie, jasová analýza

Keywords: energy demands for lighting, digital photography, luminance analyse

Úvod

Cílem osvětlení je vytvořit podmínky pro činnost zraku takové, aby vidění bylo optimální, pokud možno ničím nenarušované a zároveň dlouhodobě komfortní. Diskuze na téma kvality osvětlení, kvantitativní osvětlení a jejich hodnocení jsou předmětem řady jiných článků. Pro energetickou náročnost bychom mohli uvažovat vyloženě pouze výstupní efekt světla, tj. vytvoření konkrétní jasové scény při měřitelném vstupním příkonu soustavy. Současné přístupy, hodnotící náročnost osvětlení zejména dle celkového příkonu osvětlení bez respektování intenzity osvětlení, nejsou zdaleka dokonalé.

Za významné vylepšení lze považovat indikátor uváděný např. v [3], který energetické náklady na osvětlení vztahuje k udržované osvětlenosti, tj. v poměru získané intenzity osvětlení na plochu. Ale ani tento indikátor nerespektuje fakt, že světlo distribuované na osvětlované plochy musí přenést vizuální informaci směrem k pozorovateli a to se děje prostřednictvím jasu a jeho rozložení na pozorované scéně. Bylo by tedy vhodné uvažovat minimálně další dva faktory: činitel odrazu a směr pozorování.

Jak je vidět, stále ulehčujeme práci tím, že zjednodušujeme hodnotící kritéria na sice snadno vypočitatelné koeficienty, ale v řadě případů jsou tyto koeficienty vlastně nic neříkající. Představme si dvě extrémní situace: černou a bílou místnost. Obě místnosti osvětlíme stejnou intenzitou, řekněme 500 lx. Obě budou mít stejný příkon, tedy energetická náročnost bude v tomto případě stejná včetně poměru $W/m^2/lx$ nebo jiného indikátoru. I laik přitom tuší, že v černé místnosti bude světla jakoby méně, zjednodušeně řečeno. Energetická náročnost osvětlení by tedy měla respektovat i fakt, co osvětlujeme a odkud danou scénou pozorujeme.

Kritikové namítnou, že by to bylo příliš komplikované a těžko hodnotitelné. Opak je možná pravdou. Uvážíme-li fakt, že měření jasu a jeho rozložení může být s dnešní přístrojovou technikou mnohem jednodušší než měření osvětlenosti pomocí luxmetru, zejména jejího rozložení, pak stojí za zvážení minimálně porovnat stávající a možné nové

přístupy k hodnocení energetické náročnosti. Cílem příspěvku je podobnou diskuzi navodit, navrhnout a ukázat možná řešení. Samozřejmě nemůžeme tvrdit, že takový přístup je jediný možný a bezesporu přinese také komplikace. Nicméně je otázkou, k čemu vlastně indikátory energetické náročnosti slouží, když nejsou schopny správně indikovat to, co od nich očekáváme.

Světelný tok zdroje

Hodnotíme-li účinnost nějakého systému, ptáme se na poměr výstupní a vstupní energie. U osvětlení může být výstupem třeba osvětlenost na určité ploše anebo tomu odpovídající světelný tok. Světelný tok je skutečně výkonovou fotometrickou veličinou a indikuje množství světla účinně zužitkovaného k vidění. Pokud bychom např. měřili světelný tok vstupující do oka pozorovatele, můžeme zjednodušeně říci, že tato energie přímo tvoří odezvu zrakového vjemu a tudíž vhodný indikátor pro sledování. Samozřejmě nelze opominout jak prostorové, tak časové rozložení tohoto toku, ale to v této chvíli není důležité. Můžeme se na celou věc podívat ještě jinak. Máme-li k dispozici veličinu, která popisuje množství světla šířící se směrem k pozorovateli, kterou je jas, můžeme z této veličiny určit světelný tok? Odpověď je ano, lze, ale je třeba respektovat další zákonitosti.

Otázka, jak určit světelný tok zdroje, je laboratorně běžně řešená prakticky dvěma způsoby – výpočtem po změření čar svítivosti anebo srovnávací metodou v kulovém integrátoru proti známému referenčnímu zdroji. Jelikož většina běžně provozovaných soustav k pracovním činnostem je realizována pomocí zářivkového osvětlení, nabízí se možnost analyzovat světelný tok měřením jasu světelného zdroje. Pokud bude svítidlo např. z průsvitného materiálu – různé mléčné a mleté koule, obdélníky – je možné analyzovat jas těchto téměř ideálních difuzorů a z jejich geometrických rozměrů spočítat celkový světelný tok.

Vezměme nyní nejjednodušší případ válcové vyzařující plochy délky l a průměru d – tvar lineární zářivky. Povrch pláště bez uvažování patič je roven

$$(1) A = \pi \cdot d \cdot l \text{ [m}^2\text{; m,m]}$$

Světlení zářící plochy je pro ideální difuzor dáno vztahem

$$(2) M = \pi \cdot L \text{ [lm} \cdot \text{m}^{-2}\text{; cd} \cdot \text{m}^{-2}\text{]}$$

Světelný tok se pak spočte jako součin světlení povrchu zářivky a plochy zářivky

$$(3) \Phi = M \cdot A \text{ [lm; lm} \cdot \text{m}^{-2}\text{, m}^2\text{]}$$

Pro světelný tok lineární zářivky tak můžeme psát celkový vztah

$$(4) \Phi = L \cdot \pi^2 \cdot d \cdot l \text{ [lm; cd} \cdot \text{m}^{-2}\text{, m, m]}$$

kde d je průměr trubice
 l délka aktivní části trubice
 L průměrný jas povrchu trubice

Změříme-li tedy jas zářivky, pak z typových rozměrů zdroje snadno vypočteme jak plochu, tak světelný tok. Jelikož zářivka může být v zorném poli poměrně malá a měření konvenčním jasoměrem by nebylo možné, je výhodné použít jasových analyzátorů pro vyhodnocení průměrné hodnoty jasu na celé zářivce a tím i možnost lépe spočítat celkový tok zářivky.

Podobně pro kouli – kulové svítidlo – by bylo možné stejným způsobem odvodit vztah

$$(5) \Phi = 4 \cdot \pi^2 \cdot r^2 \cdot L \text{ nebo } \Phi = \pi^2 \cdot D^2 \cdot L$$

Svítidlo čtvercového tvaru pak může mít celkový světelný tok, pokud budeme uvažovat vyzařování jen ze čtyř stran a spodní plochy

$$(6) \Phi = 5 \cdot a^2 \cdot \pi \cdot L$$

Podobně pro obdélníkové svítidlo přisazené (jedna strana je montována na stropě či stěně a tudíž se nepodílí na vyzařování) o rozměrech $l \times w \times h$ by se dal světelný tok vypočítat jako

$$(7) \Phi = l \cdot w + 2(h \cdot w + h \cdot l) \cdot \pi \cdot L$$

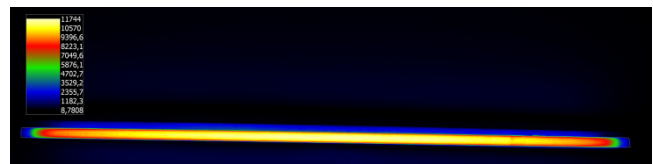
Samozřejmě v uvedených příkladech uvažujeme zmíněná zjednodušení – rovnoměrné vyzařování (konstantní jas) a ideální difuzor. V případě jiné vyzařovací charakteristiky (lišící se od ideálního difuzoru) a nerovnoměrného rozložení jasu, už bude situace výrazně komplikovanější a pravděpodobně v praxi nepostihnutelná. Museli bychom svítidlo sledovat ze všech úhlů a vyhodnocení by bylo prakticky nemožné a nerentabilní. V našem případě se ale spokojíme s možností idealizovaného případu a vyzkoušíme uvedené vztahy pro výpočet světelného toku lineární zářivky. Je třeba si uvědomit, že v reálném svítidle díky mnohonásobným odrazům může povrch vykazovat zvýšený jas. Při měření a analýze je tedy vhodné hledat taková místa na povrchu zářivky, která budou sekundárním odrazem ovlivněna co nejméně.

Praktické testování

Pro ověření výše uvedených teoretických předpokladů, byly provedeny testy měření a vyhodnocení jasových rozložení na povrchu běžných světelných zdrojů a

porovnány pro zjednodušení pouze s katalogovou (očekávanou) hodnotou světelného toku. Testované zdroje nebyly měřeny v kulovém integrátoru, neboť se většinou jednalo o zdroje přímo v instalovaných svítidlech a také by to v tuto chvíli bylo zbytečnou investicí. Prakticky nás zajímá, jak je jas na světelném zdroji rozložen a zda nějak koreluje se světelným tokem, alespoň přibližně, podle uvedených vztahů, nebo se takto naměřená data nedají pro daný účel použít.

V prvním případě byla vyfotografována klasická zářivka L58W/20 ve svítidle bez krytu, s běžným indukčním předřadníkem. Tato zářivka má katalogový světelný tok 4600 lm. Analýza digitální fotografie poskytla výsledek měření průměrné hodnoty jasu trubice asi 9435 cd.m⁻². Kontrolním jasoměrem byla naměřena hodnota jasu asi 9800 cd.m⁻². Z vizuálního pohledu je zřejmé, že povrch trubice není ideálním rozptylovačem a rozložení jasu a toku na trubici tudíž není homogenní. To dokládá a i jasový snímek zdroje



Obr. 1. Jasový snímek lineární zářivky L58W

Pokud bychom použili pro výpočet vztah (4), dostáváme hodnotu světelného toku

$$\Phi = 9435 \cdot \pi^2 \cdot 0,026 \cdot 1500 \div 3 \text{ 631 lm}$$

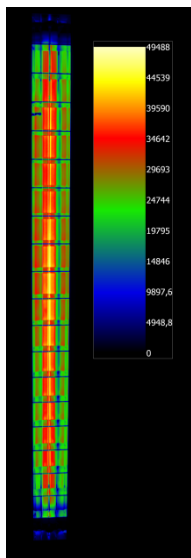
Odchylka od očekávané hodnoty dle katalogu je

$$\Phi = 3 \text{ 631} - 4600 = -969 \text{ lm}$$

což činí asi -21% od jmenovité hodnoty. Bohužel přesné ověření toku nebylo možné. Uvedený příklad je tedy spíše demonstrací možného postupu.

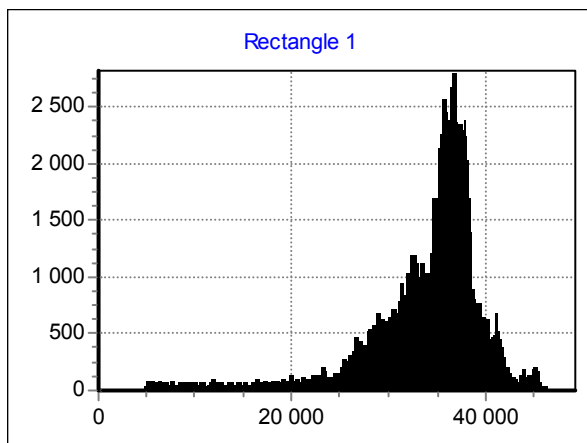
Rozdíly ale mohou být způsobeny řadou jiných faktorů: spektrální chyba měření jasu, odchylka od předpokládaného ideálního difuzoru, skutečné opotřebení zářivky, odchylka napájecího napětí od jmenovité hodnoty atd. Předmětem příspěvku však není zkoumat uvedené vlivy.

V dalším příkladu je provedena podobná analýza, ale zářivkové svítidlo je opatřeno parabolickou mřížkou a zářivky jsou napájeny elektronickým předřadníkem. T5 trubice o průměru 16 mm a příkonu 28 W mají udávaný světelný tok 2900 lm.



Obr. 2. Jasový snímek svítidla s lineárními zářivkami FH 28W/840

Softwarově můžeme ohraničit oblast zaujímající zářivkou pomocí objektu Rectangle 1. V tomto objektu pak můžeme hodnotit rozložení jasu.



Obr. 3. Histogram jasu ve výběru zahrnujícím zářivku ve svítidle

Z histogramu vidíme, že nejpravděpodobnější hodnoty jasů se pohybují někde v rozsahu 35-40 tis. $\text{cd}\cdot\text{m}^{-2}$. Měření konvenčním jasoměrem poskytlo hodnotu v kontrolním bodě asi $38420 \text{ cd}\cdot\text{m}^{-2}$, což přibližně odpovídá naměřené hodnotě jasu z histogramu. Obdobným způsobem jako v předchozím případě bychom mohli tedy vypočítat světelný tok takového zdroje.

$$\Phi = 38420 \cdot \pi^2 \cdot 0,016 \cdot 1,2 \doteq 7\,280 \text{ lm}$$

Odchylka od očekávané hodnoty dle katalogu je

$$\Phi = 7\,280 - 2900 = 4380 \text{ lm}$$

což je však chyba větší než 150%! V tomto případě je tedy analýza tímto způsobem nepoužitelná, a hlavní příčinou je konstrukce vlastního svítidla – světelný tok z reflektoru se odráží zpět na zářivku a zvyšuje tak jas zdroje.

Hodnocení výkonu osvětlení z jasové mapy

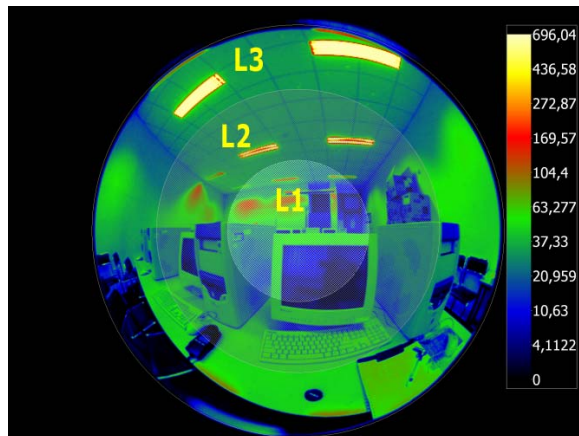
V této kapitole se zaměříme na rozvinutí myšlenky uvedené v úvodu příspěvku. Objektiv digitálního fotoaparátu lze považovat za oko pozorovatele téměř doslova. Optický

system objektivu směřuje světelné svazky z různých směrů prostoru na jednotlivé buňky snímače fotoaparátu. Zde je vyhodnoceno množství dopadlé energie za dobu expozice čipu jako signál, uložený ve výsledném snímku jako složky RGB. Poměr těchto složek určuje jas a barvu, lze z nich reprodukovat původní obraz – např. na tiskárně, obrazovce. O to nám prakticky ve fotografii jde – zachytit obraz světa a umět ho reprodukovat. Ve fotometrii se zajímáme spíše o to, zachytit jasové rozložení. Pomocí převodních vztahů, pokud známe odezvu přístroje na jas, můžeme ze složek RGB a expozičního režimu přístroje jas vypočítat. Výsledek je jako u každého fotometru zatížen určitou chybou, kde největší roli bude hrát spektrální přizpůsobení, nebo spíše nepřizpůsobení, snímacího prvku.

Není předmětem zde zkoumat nejistotu měření jasu a jeho rozložení, budeme vycházet z předpokladu, že máme dokonalý měřicí přístroj, který umí změřit jas v celém zorném poli. Ptáme se tedy, zda je takový výsledek použitelný a jaký indikátor pro hodnocení náročnosti osvětlení z něj separovat?

Mohli bychom např. provést jednoduché průměrování hodnot jasu, vypočítat tedy průměrnou hodnotu jasu v celém zorném poli a tu brát jako indikátor. Další možností je váhovat hodnoty jasu jednotlivých ploch přes jejich prostorové úhly. Ještě významnější by bylo zahrnout do váhy také polohu bodu vůči ose pozorování. Tím bychom respektovali požadavek na rozložení jasu v zorném poli pozorovatele. V nejjednodušším případě by stačilo vymezit oblast kritického detailu – směr pozorování, blízké a vzdálené pozadí. Měli bychom tedy tři oblasti, každá by určovala jinou váhu pro zahrnutí jasu do průměrné hodnoty.

Pro demonstraci můžeme použít jasovou mapu osvětlení počítačové učebny při pohledu z jednoho pracovního místa. Tři zóny rozdělíme úhly 0-30, 30-60 a 60-90 stupňů od osy pozorování.



Obr. 4. Jasová mapa a zóny hodnocení jasu pro vážený průměr

Pomocí programu LumiDISP [2] můžeme speciálním detektorem všechny tyto zóny samostatně analyzovat a získat průměrné hodnoty jasů.

V našem případě byly zjištěny tyto hodnoty průměrných jasů v jednotlivých zónách:

$$L_1 = 28,3, L_2 = 34,5 \text{ a } L_3 = 46,1 \text{ cd}\cdot\text{m}^{-2}$$

Pro celkový vážený jas použijeme např. koeficienty $w_1 = 1$, $w_2 = 0,7$ a $w_3 = 0,5$. Průměrný jas celého pole, vážený přes tyto koeficienty, bude roven

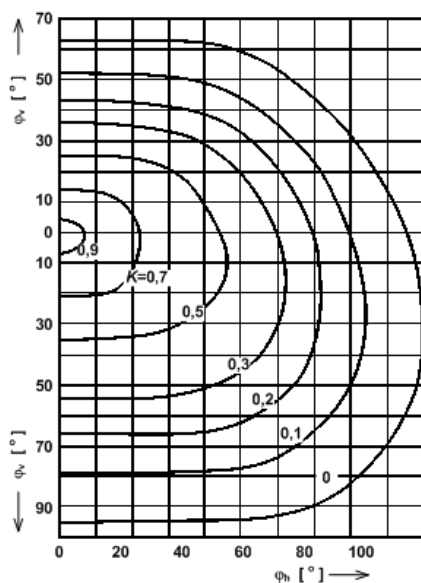
$$(w_1 \cdot L_1 + w_2 \cdot L_2 + w_3 \cdot L_3) / (w_1 + w_2 + w_3) = 34,4 \text{ cd} \cdot \text{m}^{-2}$$

Tuto hodnotu bychom tedy použili jako výkonový parametr osvětlení v daném místě a směru pohledu.

Aby byla zohledněna i velikost místnosti, bylo by nejspíše vhodné vztáhnout tuto hodnotu na celkovou kubaturu osvětlovaného prostoru, tedy nejen na plochu, jak se nyní používá, ale na objem, neboť jas je zde hodnocen jako veličina prostorová, i když v plošném rozložení zorného pole. Tím by se mohla lépe vystihnout náročnost osvětlení a dosažení potřebných hodnot jasů v prakticky libovolné místnosti. Zahrnutí objemu do indikátoru podporuje i fakt, že náš zrak nezpracovává podněty pouze z osvětlované srovnávací roviny, ale celého prostoru. Jednotkou tohoto indikátoru by měl být příkon vztažený na objem a dosaženou průměrnou hodnotu jasu zorného pole, váženou dle výše uvedeného postupu. Vztah pro indikátor by měl tvar

$$(8) P/V/L \quad (W/m^3/cd \cdot m^{-2})$$

Co se týká volby vah pro průměrování jasu v zorném poli, bylo by možné v prvním okamžiku oživit dobrou myšlenku českého světelného génia Jaroslava Netušila a jeho činitele polohy K , který přesně vystihuje právě míru vjemu světelného zdroje v závislosti na jeho poloze v zorném poli. I když byl původně použit v souvislosti s hodnocením oslnění, jeho přímou korelaci s citlivostí zraku nelze přehlédnout. Pro připomenutí, průběh činitele uvádí níže uvedený obrázek.



Obr. 5. Činitel polohy dle J. Netušila [3]

Závěr

Fakt, že osvětlení tvoří celosvětově nezanedbatelný podíl energetické spotřeby lidstva (podle některých

pramenů až 20%), nás nutí k tomu, abychom identifikovali případné nevhodné osvětlovací systémy a navrhli jejich vylepšení. Smyslem hodnocení energetické náročnosti budov je stanovit náklady na energie při provozu budovy a hledat případné rezervy. Současné indikátory, např. EP, LENI apod. [1], zohledňují pouze část reality, která v kontextu příkon vs. výkon osvětlení, hraje důležitou roli. Zahrnutí udržované osvětlenosti do výpočtu je pouze provizorním řešením. Při zrakové činnosti nás totiž nezajímá ani tak osvětlenost, ale efekt, který tato veličina způsobí, tj. rozložení jasů na pozorované scéně. Výkon zraku tedy není přímo úměrný osvětlenosti, ale jasů, nebo ještě lépe jeho rozložení. To je velmi důležité a budoucí indikátory by měly postupně tento fakt zohlednit.

Smyslem článku bylo přiblížit čtenářům vizi možného měření a hodnocení a nadnět téma pro diskuzi. Jak je vidět, je zde řada otázek, které bude třeba do budoucna vyřešit. Nicméně v prvním kroku bude nutné, aby se v blízké budoucnosti světelný návrh orientoval více na jasy než na osvětlenosti a to i v oblasti hodnocení energetické náročnosti osvětlení. Důvody, proč sledovat osvětlenost více než jas, přestávají být s novou přístrojovou technikou a výpočetními programy relevantní. Otázka měření osvětlení a jasu a jeho rozložení je dnes prakticky vyřešená a je v rukou odborné veřejnosti, aby dala metodě měření jasu jednoznačně zelenou a to zejména v oblasti nových norem a standardů.

Poděkování

Tento příspěvek obsahuje výsledky výzkumné práce financované z projektu č. MSM0021630516 Ministerstva školství, mládeže a tělovýchovy České Republiky.

LITERATURA

- [1] Sokanský, K., Novák, T. Šnobl, J.: Úspory energie v osvětlování při hodnocení energetické náročnosti budov. Electric Power Engineering 2010, Brno 2010, ISBN 978-80-214-4094-4, s. 833-835
- [2] BAXANT, P., SUMEC, S.: LumiDISP - software for the luminance distribution processing and digital photography analyses. Brno University of Technology, 2006, dostupný na <http://www.lumidisp.eu>
- [3] ČSN 36 0008 Oslnění, jeho hodnocení a zábrana. 1961

Autoři: doc. Ing. Petr Baxant, Ph.D., Vysoké Učení Technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, Ústav elektroenergetiky, Technická 2848/8, 61600 Brno E-mail: baxant@feec.vutbr.cz, Ing. Stanislav Sumec, Ph.D., Vysoké Učení Technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, Ústav elektroenergetiky, Technická 2848/8, 61600 Brno E-mail: sumec@feec.vutbr.cz.

Praktické možnosti osvětlování přechodů pro chodce

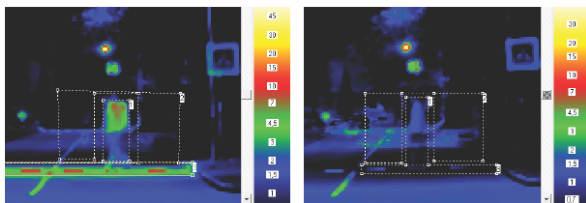
Ing. Zdeněk Bláha

Abstract: Lighting of pedestrian crossing is very responsible issue, because people's lives depend on the quality of lighting. The norm for road lighting is not too extensive for the sphere of lighting of pedestrian crossing and therefore the proposal of lighting has relatively large freedom for his ideas, creativity but unfortunately also for his mistakes. In my report I have documented several types of lighting of pedestrian crossing and also I advert to their advantages and disadvantages.

Úvod

Při posuzování správnosti osvětlení v konfliktní oblasti je nejdůležitějším parametrem kontrast jasů osvětlovaného objektu a jasů jeho pozadí. K vyhodnocování byl použit jasový analyzátor LMK2000. Při výběru konfliktních míst byla pozornost zaměřena na nejkritičtější místa na komunikacích. Místa s výraznou mírou nehodovosti se způsobenou újmou na zdraví jsou především přechody pro chodce. Byly proto vybrány tři typy osvětlovacích soustav k hodnocení. Každý typ osvětlovací soustavy využívá jiný druh svítidla.

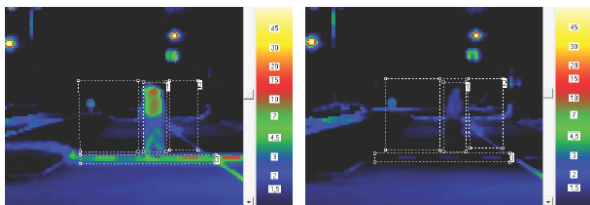
Přechodové svítidlo uliční s asymetrickou optikou



Obr. 1 Jasová analýza přechodu pro chodce se zapnutými a vypnutými svítidly – 1. jízdní pruh

		Zapnutá přechodová svítidla			Vypnutá přechodová svítidla		
		L	L _{min}	L _{max}	L	L _{min}	L _{max}
		(cd/m ²)	(cd/m ²)	(cd/m ²)	(cd/m ²)	(cd/m ²)	(cd/m ²)
1	Chodec	2,63	0,28	7,95	0,82	0,33	2,10
2	Pozadí	0,61	0,16	2,23	0,73	0,17	2,59
3	Přechod	3,27	0,53	9,12	0,52	0,33	1,12
Kontrast (-)		3,31			0,12		

Při zapnutých přechodových svítidlech se kontrast jasů mnohonásobně zvýšil. Průměrný jas nasvíceného chodce se zvýšil více než třikrát.



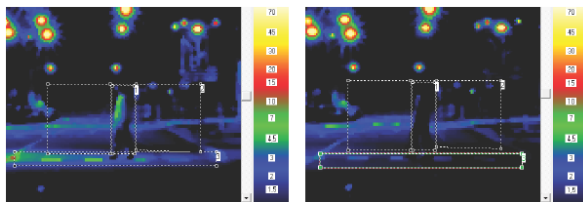
Obr. 2 Jasová analýza přechodu pro chodce se zapnutými a vypnutými svítidly – 2. jízdní pruh

		Zapnutá přechodová svítidla			Vypnutá přechodová svítidla		
		L	L _{min}	L _{max}	L	L _{min}	L _{max}
		(cd/m ²)	(cd/m ²)	(cd/m ²)	(cd/m ²)	(cd/m ²)	(cd/m ²)
1	Chodec	3,62	0,32	11,35	0,97	0,25	2,34
2	Pozadí	0,76	0,20	3,82	0,82	0,18	3,20
3	Přechod	0,72	1,91	9,21	0,77	0,42	1,31
Kontrast (-)		3,76			0,18		

Při osvětlování této konfliktní oblasti je důležité, aby byly vhodným způsobem nasvíceny oba jízdní pruhy. Proto bylo provedeno měření i ve druhém jízdním pruhu.

Po vyhodnocení měření bylo zjištěno, že konfliktní oblast ve druhém jízdním pruhu je stejně dobře nasvícena jako v pruhu prvním.

Světlomet

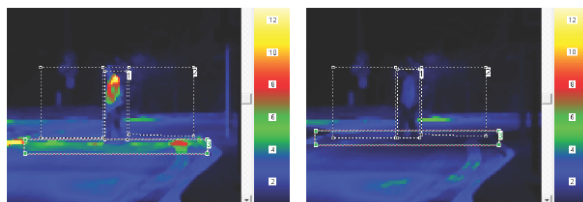


Obr. 3 Jasová analýza přechodu pro chodce se zapnutými a vypnutými svítidly

		Zapnutá přechodová svítidla			Vypnutá přechodová svítidla		
		L	L _{min}	L _{max}	L	L _{min}	L _{max}
		(cd/m ²)	(cd/m ²)	(cd/m ²)	(cd/m ²)	(cd/m ²)	(cd/m ²)
1	Chodec	1,64	0,30	7,14	0,71	0,20	3,81
2	Pozadí	1,27	0,24	5,48	1,17	0,25	5,21
3	Přechod	2,49	0,52	10,89	1,10	0,26	3,64
Kontrast (-)		0,29			- 0,39		

Z naměřených hodnot vyplývá, že kontrasty jasů jsou nízké. Při zapnutém osvětlení je průměrný jas chodce vyšší než jas pozadí – pozitivní kontrast. Hodnota průměrného jasů osvětleného přechodu je více jak dvakrát vyšší. Při vypnutém osvětlení dochází k negativnímu kontrastu. Při zapnutém osvětlení se absolutní hodnota kontrastu snížila!

Přechodové svítidlo uliční s asymetrickou optikou na okružní křižovatce



Obr. 4 Jasová analýza přechodu pro chodce se zapnutými a vypnutými svítidly

		Zapnutá přechodová svítidla			Vypnutá přechodová svítidla		
		L	L _{min}	L _{max}	L	L _{min}	L _{max}
		(cd/m ²)	(cd/m ²)	(cd/m ²)	(cd/m ²)	(cd/m ²)	(cd/m ²)
1	Chodec	2,87	0,52	12,10	1,16	0,29	4,85
2	Pozadí	1,22	0,15	4,70	1,09	0,08	5,45
3	Přechod	3,93	1,66	8,16	1,26	0,31	2,74
Kontrast (-)		1,35			0,06		

Použití přechodových svítidel je v tomto případě velice nutné, neboť kontrast neosvětleného přechodu je nulový. Po osvětlení přechodu se projeví pozitivní kontrast.

Závěr: V příspěvku jsem se věnoval měření vybraných konfliktních oblastí. Zaměřil jsem se na osvětlení přechodu pro chodce. Vybral jsem několik typových osvětlovacích soustav a podrobil je jasové analýze. Z výsledku je patrné, že nevhodnější svítidlo je uliční svítidlo s asymetrickou optikou. Další důležitý poznatek byl kontrast jasů. Například v oblasti s vysokou intenzitou osvětlení byl kontrast jasů chodce a pozadí téměř nulový, a až po použití přechodového svítidla se kontrast zvýšil. Projevil se zde vysoký jas pozadí.

Společnost THORN Lighting nabízí řešení osvětlování přechodů pro chodce programem IVS (IVS: Identification, Visibility, Safety)



IVS ztělesňuje dynamický **P.E.C.** program společnosti Thorn, který je zárukou vynikajících výsledků. Program P.E.C. je založený na principu, podle něhož výkon, účinnost a pohodlí určují kvalitu osvětlení, jeho působení na uživatele i vliv na životní prostředí. IVS dodává správné světlo na správné místo a v pravý čas.

Výkon - poskytuje maximální vizuální efekt, přesná optika výrazně zdokonaluje vertikální osvětlenost pro vysoké úrovně viditelnosti; dokonalé clonění, které zamezuje oslnění, zlepšuje přehlednost osvětlovaného prostoru; nízký plochý paprsek poskytuje dobrou modelaci objektů; optimální osvětlení rozšířené do přilehlých zón k lepšímu rozpoznání cíle.

Účinnost - úspora energie a nákladů, nižší emise CO₂ a méně odpadu, to je osvětlení, které lze efektivně instalovat, provozovat a udržívat; svítidlo výrazně snižuje spotřebu energie, jelikož dvojitá asymetrická optika umožňuje účinnější osvětlení přechodů s minimem rušivého/nevyužitého světla; snadná instalace a údržba osvědčených produktů snižuje provozní náklady.

Komfort - uživatelé se cítí pohodlně a spokojeně; bílé světlo s vysokým barevným podáním vytváří uklidňující prostředí; široký výběr stylů svítidel sjednocuje vzhled ulic; dodatečná signalizace prostřednictvím indikátoru LED zvyšuje bezpečnost.

Monitoring stanu oświetlenia ulicy oświetlonej oprawami drogowymi wyposażonymi w LED-y.

Streszczenie. Idea zastosowania diod elektroluminescencyjnych w oświetleniu drogowym jest stosunkowo nowa i mało znana. Na rynku oświetleniowym pojawiło się wielu konstrukcji opraw oświetleniowych wykorzystujących LED-y. Parametry oświetleniowe podawane przez producentów (dystrybutorów) budzą jednak pewne wątpliwości. Poza tym, istnieje bardzo niewiele praktycznych rozwiązań oświetlenia drogowego z zastosowaniem opraw LED. Brak doświadczeń określających jak tego typu oprawy zachowują się w trakcie eksploatacji. Stąd zdecydowano się na monitoring stanu oświetlenia jednej z warszawskich ulic na których zamontowano oprawy drogowe z LED-ami. Raport z monitoringu zostanie zaprezentowany w niniejszym opracowaniu (referacie).

Abstract. The concept of LED use in road lighting is new and not widely known. On the lighting market many LED luminaire constructions have appeared. Lighting parameters given by the manufacturers (distributors) are questionable. Moreover, there are no many practical solutions of road lighting with the use of LED luminaires. There is lack of experience showing how such LED luminaires work in real conditions. It was decided to monitor road lighting conditions on one of the Warsaw streets where LED luminaires had been installed. In this paper the report of monitoring will be presented (**Monitoring of road lighting conditions illuminated with the use of LED luminaires**).

Słowa kluczowe: diody elektroluminescencyjne, oświetlenie drogowe, weryfikacja oświetlenia.

Keywords: LED, road lighting, verification procedures.

Wprowadzenie

Diody elektroluminescencyjne należą do najszybciej rozwijających się technologicznie źródeł światła. Ich coraz lepsze parametry fotometryczne i kolorymetryczne powodują, iż wkraczają one w nowe obszary zastosowań. Jednym z najnowszych zastosowań jest oświetlenie drogowo. Zastosowanie LED-ów w konstrukcji drogowych opraw oświetleniowych wydaje się dość obiecującym i przyszłościowym kierunkiem ich rozwoju. Jednak w praktyce powstają pytania i wątpliwości:

- Czy na obecnym etapie rozwoju technologicznego diod elektroluminescencyjnych można zastąpić klasyczne oprawy, oprawami z diodami elektroluminescencyjnymi?
- Czy jest to rozwiązanie energooszczędne, ekonomiczne i racjonalne?
- Jak tego typu instalacje oświetleniowe zachowują się w dłuższej perspektywie czasowej- w trakcie eksploatacji?

Wydawałoby się, że odpowiedź powinna być prosta i zawarta w parametrach techniczno-oświetleniowych oprawy. Niestety nawet renomowani producenci przedstawiają bardzo ogólne dane fotometryczne tychże opraw. Producenci mniej znani podają parametry, które nie są do końca wydają się wiarygodne (brak badań weryfikacyjnych w niezależnych placówkach naukowo-badawczych) [1,2]. Stąd warto spojrzeć na tego typu oprawy w sposób rozważny i obiektywny, a szczególnie przyjrzeć się ich praktycznym realizacjom.

W przypadku instalacji oświetleniowej, tylko właściwie określone procedury weryfikacyjne (pomiar) są w stanie określić rzetelność projektów, jakość zastosowanych opraw oświetleniowych oraz prawidłowość ich montażu [3,4,5]. Pomiar weryfikacyjny wykonywany w sposób cykliczny, umożliwiają dodatkowo sprawdzenie utrzymania, w czasie eksploatacji, wymaganego poziomu poszczególnych parametrów oświetlenia. Ma to szczególne znaczenie w przypadku nowych instalacji oświetlenia drogowego opartych na LED-ach, gdzie brak doświadczeń związanych z ich eksploatacją. Dlatego zdecydowano się na bliższe zajęcie się tą problematyką.

Wybór i charakterystyka instalacji oświetleniowej

Do chwili obecnej jest bardzo niewiele instalacji oświetleniowych z oprawami oświetleniowymi wyposażonymi w LED-y. Przyczyn tego stanu rzeczy jest kilka. Po pierwsze są to rozwiązania konstrukcyjne dosyć

nowe, które nie zostały przetestowane w praktyce, w dłuższej perspektywie czasowej. Trudno określić, jak poszczególne parametry oświetleniowe będą zmieniały się z czasem - po prostu brak tego typu doświadczeń. Po drugie oprawy oświetleniowe wyposażone w diody elektroluminescencyjne są dość drogie, ich cena kilkakrotnie przewyższa klasyczne rozwiązania. Po trzecie bardzo dyskusyjna jest kwestia ich energooszczędności w porównaniu do klasycznych opraw oświetlenia drogowego. Rzetelna analiza ich rzeczywistych parametrów fotometrycznych, poddaje pod wątpliwość realne możliwości zaoszczędzenia energii elektrycznej.

Stąd mamy stan rzeczy taki, iż inwestorzy albo bezkrytycznie decydują się na tego typu instalacje oświetleniowe albo wstrzymują się z ich zakupem. Dość rozważnym rozwiązaniem wydaje się zainstalowanie opraw oświetleniowych z LED-ami na okres testowy. Jeśli oprawy potwierdzą swoje walory w rzeczywistych warunkach, wtedy można zdecydować się na ich szersze zastosowanie. Poza tym, można na bieżąco monitorować, stan oświetlenia na testowanej ulicy. Na takie optymalne rozwiązanie zdecydowały się władze stolicy.

W wyniku współpracy Zarządu Dróg Miejskich (ZDM) w Warszawie oraz Zakładu Techniki Świetlnej (ZTS) Politechniki Warszawskiej podjęto próbę monitoringu stanu oświetlenia testowej instalacji oświetleniowej. ZDM wybrał nowe oprawy oświetleniowe z diodami elektroluminescencyjnymi oraz określił miejsce ich instalacji. Pracownicy ZTS zajęli się monitoringiem stanu oświetlenia testowanego fragmentu ulicy w określonych odstępach czasowych.

Ostatecznie zdecydowano się na testowe zainstalowanie opraw oświetleniowych, wyposażonych w diody elektroluminescencyjne, na ulicy Dzielnej w Warszawie. Nowe oprawy zostały zamontowane w miejsce dotychczasowych klasycznych opraw oświetleniowych, czyli ich rozmieszczenie było narzucone. Ostatecznie zainstalowano 6 opraw oświetleniowych z LED-ami produkcji dalekowschodniej, zaferowanych do testów przez firmę LLP. Oprawy zamontowano na 6 kolejnych słupach od ul. Jana Pawła II w kierunku ul. Karmelickiej.



Rys. 1. Widok modułów świecących opraw z diodami elektro-luminescencyjnymi

Parametry techniczne oprawy oświetleniowej oraz ulicy przedstawiały się następująco:

- typ zastosowanej oprawy: LU4 (cztery moduły LED po 28 diod w module - w sumie 112 LED-ów o mocy 1W – zgodnie z rys. 1);
- moc oprawy: 150W
- typ drogi: ulica jednojezdniowa, dwupasmowa, dwukierunkowa;
- szerokość jezdni: $s = 9$ m, szerokość pasa ruchu: 4,5 m, szerokość chodnika: 2 m;
- system rozmieszczenia latarni: jednostronny;
- odstęp pomiędzy oprawami: $a = 25$ m;
- wysokość zawieszenia oprawy: $h = 9$ m;
- wysunięcie opraw nad jezdnię (nawis): $w = 0$ m;
- kąt nachylenia oprawy: około $\sigma = 5^\circ$;
- rodzaj asfaltu : R3.

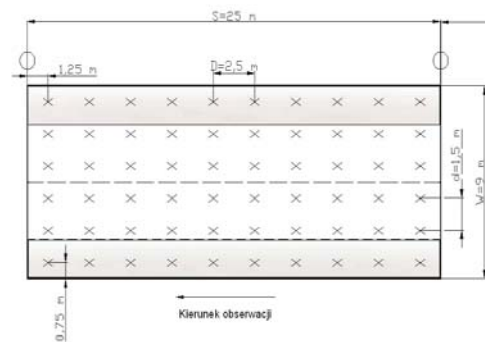
Metodologia przeprowadzonych badań

Odcinek ulicy, na którym zainstalowano nowe oprawy oświetleniowe, widoczny jest na rys. 2. Niestety, nie został on zbyt właściwie wybrany przez ZDM, biorąc pod uwagę badania fotometryczne. Ulica na wybranym odcinku przechodzi w lekki łuk. Poza tym, na ulicy po obydwu jej stronach, zaparkowane są samochody. W oczywisty sposób utrudnia to wykonanie pomiarów fotometrycznych na ulicy. Ten stan rzeczy, spowodował konieczność rezygnacji z części pomiarów fotometrycznych.

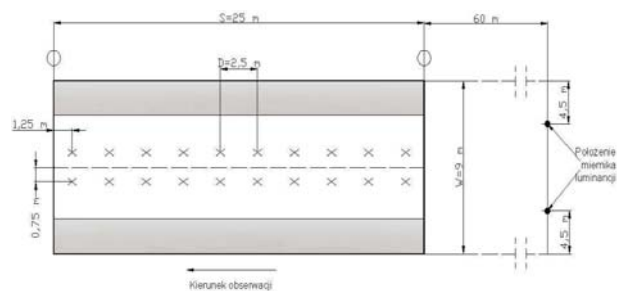


Rys. 2. Widok ul. Dzielnej oświetlonej oprawami typu LED (sześć kolejnych opraw)

Generalnie pomiary stanu oświetlenia ulicy, zdecydowano się wykonać w oparciu o zalecenia normy PN-EN 13 201:2007. Zgodnie z normą wykonywano pomiary, zarówno rozkładu natężenia oświetlenia, jak i rozkładu luminancji na powierzchni jezdni. Moduł pomiarowy przyjęto pomiędzy 3-cią i 4-tą oprawą licząc od ul. Jana Pawła II w kierunku ul. Karmelickiej. Raster pomiarowy został przyjęty zgodnie z normą, tzn. na każdym pasie ruchu, siatka punktów 3×10 . Przy czym, nie wykonywano pomiarów natężenia oświetlenia na skrajnych rzędach punktów pomiarowych (gdyż były tam zaparkowane samochody - pole pomiarowe przedstawia rys. 3). Pomiary wykonywano luksomierzem, którego głowica fotometryczna posiadała termostatyzację (umożliwia to wykonywanie pomiarów także w niskich temperaturach otoczenia). Natomiast w przypadku luminancji, pomiary wykonano tylko na rzędach punktów pomiarowych najbliższych osi jezdni (ze względu na zaparkowane pojazdy - obraz samochodów pojawiał się polu widzenia miernika luminancji) - zgodnie z rys. 4. Pole pomiarowe miernika, zgodnie z normą wynosiło $2' \times 20'$. Dodatkowo pomiary wykonano matrycowym miernikiem luminancji, umożliwiającym określenie rozkładu luminancji na całym badanym polu pomiarowym.



Rys. 3. Rozmieszczenie punktów pomiarowych przy pomiarach natężenia oświetlenia (szary kolor wyróżnia punkty w których nie wykonywano pomiarów)



Rys. 4. Rozmieszczenie punktów pomiarowych przy pomiarach luminancji (szary kolor wyróżnia punkty w których nie wykonywano pomiarów)

Monitoring stanu oświetlenia

Pomiary wykonywano od początku lipca 2009, w około miesięcznych odstępach czasu. Przewiduję się, iż pomiary będą kontynuowane do lipca 2010 roku. Od października 2009 zrezygnowano z wykonywania pomiarów luminancji, ze względu na niską temperaturę zewnętrzną oraz stan nawierzchni jezdni. Od listopada do końca lutego, nie wykonywano pomiarów, ze względu na bardzo niskie temperatury powietrza oraz duże masy śniegu zalegające na jedni i w jej okolicach. Zestawienie wyników pomiarów fotometrycznych zawiera Tabela 1.

Tabela 1. Zestawienie dotychczasowych wyników pomiarów fotometrycznych instalacji oświetleniowej typu LED

Data wykonania pomiarów	Pomiary fotometryczne				
	Luminancja			Natężenie oświetlenia	
	L_{sr}	δ_o		E_{sr}	δ_E
	[cd/m ²]	[-]	[-]	[lx]	[-]
19.08.2009	1,29	0,66	0,45	18	0,66
09.09.2009	1,18	0,6	0,61	18	0,65
07.10.2009	-	-	-	18,5	0,7
28.10.2009	-	-	-	19,34	0,7
11.03.2010	-	-	-	19,53	0,7

Tabela 1 zawiera wyniki pomiarów: luminancji średniej (L_{sr}), ogólnej równomierności luminancji (δ_o) oraz wzdłużnej równomierności luminancji (δ_l), a także średniego natężenia oświetlenia (E_{sr}) oraz jego równomierności (δ_E).

Na rysunku 5 przedstawiony jest rozkład luminancji na badanym odcinku jezdni zmierzony matrycowym miernikiem luminancji. Z rozkładu wynika że najniższe wartości luminancji są z lewej strony ulicy, niestety w miejscu gdzie częściowo zaparkowane są samochody - nie wykonywano tam pomiarów klasycznym miernikiem, a w znaczący sposób wpłynęłyby one na zmniejszenie równomierności luminancji. Luminancja średnia zmierzona matrycowym miernikiem luminancji (w dniu 09.09.2009) wynosiła $L = 1,1 \text{ cd/m}^2$.



Rys. 5. Pomiar rozkładu luminancji ulicy w rejonie odcinka pomiarowego matrycowym miernikiem luminancji - położenie lewe obserwatora

Zauważono, że oprawy LED powodują powstawania światła intruzyjnego na budynku sąsiadującym z badaną instalacją. Monitoring będzie kontynuowany w następnych miesiącach. Przewiduje się jego rozszerzenie o nowe instalacje oświetleniowe, wykorzystujące diody elektroluminescencyjne. W kwietniu zostaną wznowione pomiary rozkładu luminancji na powierzchni jezdni.

Podsumowanie

Na przestrzeni kilku miesięcy można zauważyć stałość parametrów fotometrycznych badanej instalacji oświetleniowej. Lekki wzrost średniego natężenia oświetlenia można tłumaczyć spadkiem temperatury zewnętrznej, gdyż wpływa to pozytywnie na warunki pracy

diod elektroluminescencyjnych. Niewielką zmianę luminancji jezdni można interpretować, z jednej strony wpływem warunków pogodowych na stan nawierzchni jezdni, a z drugiej strony brakiem możliwości wykonania bardzo precyzyjnych pomiarów według procedury zawartej w normie. Z praktyki można stwierdzić, iż dużo lepszą dokładność i powtarzalność pomiarów można uzyskać wykorzystując matrycowy miernik luminancji (rys. 5).

W przyszłości należy zwrócić uwagę na dobór miejsca zainstalowania testowych opraw oświetleniowych. W przypadku analizowanej instalacji oświetleniowej, oprawy zostały zainstalowane na lekkim łuku ulicy oraz w miejscu gdzie na stałe parkują na ulicy samochody. Uniemożliwia to pełną weryfikację pomiarową zgodnie z zaleceniami normalizacyjnymi. Niestety ze względu na brak dostępu do innych tego typu instalacji w Warszawie, zdecydowano się na monitoring tej instalacji.

Po zakończeniu badań i demontażu sprzętu oświetleniowego, planowane są badania laboratoryjne zastosowanych opraw typu LED, aby można było określić ich faktyczne parametry fotometryczne i elektryczne. Na podstawie badań laboratoryjnych oraz pomiarów terenowych będzie można wyciągnąć pełne wnioski na temat analizowanych opraw oświetleniowych. Pozwoli to podjąć racjonalną decyzję o zastosowaniu tego typu opraw oświetleniowych na szerszą skalę.

Zauważono, że badania tego typu możnaby rozszerzyć na większą ilość instalacji oświetleniowych, zarówno nowych jak i już eksploatowanych. Pozwoliłoby to weryfikację stanu oświetlenia. Dodatkowo pomiary tego typu, umożliwiłyby dokładne określenie współczynników utrzymania instalacji oświetleniowej w danym mieście (uwzględniając natężenie ruchu pojazdów, warunki środowiskowe - zanieczyszczenie, zabrudzenie opraw, spadek strumienia świetlnego źródeł światła w trakcie eksploatacji, itd.).

Podsumowując władzom Warszawy należą się słowa uznania za racjonalność w podejmowaniu decyzji dotyczących nowego nieznanego sprzętu oświetleniowego. Jest to zachowanie godne naśladowania. Jak pokazuje doświadczenie, poleganie tylko na danych technicznych podawanych przez sprzedawców opraw oświetleniowych (szczególnie tych nowych na rynku), często prowadzi do błędnych decyzji, a zainstalowane oświetlenie jest niezgodne z normami oraz energochłonne.

LITERATURA

- [1] Żagan W. *Rzetelnie i rozważnie o LED-ach - ocena obecnych i prognoza przyszłych aplikacji oświetleniowych diod elektroluminescencyjnych*; Przegląd Elektrotechnicznych nr 1/2008, ISSN 0033-2097.
- [2] Czyżewski D. *Oprawy oświetlenia drogowego ze źródeł światła typu LED*, XVIII Krajowa Konferencja Oświetleniowa Technika Świetlna 2009, Warszawa, ISSN 1506-6223, 15-16.10.2009, str. 283 – 288.
- [3] Czyżewski D. *Pomiary oświetlenia drogowego - opis wymagań formalnych*, Elektrosystemy 2/2006, ISSN 1509-2100.
- [4] Czyżewski D. *Pomiary oświetlenia drogowego w praktyce*, Elektrosystemy 4/2006, ISSN 1509-2100
- [5] Czyżewski D., *Pomiary oświetlenia drogowego - wnioski*, Elektrosystemy 6/2006, ISSN 1509-2100.

Autor: dr inż. Dariusz Czyżewski, Politechnika Warszawska, Instytut Elektroenergetyki,
E-mail: dariusz.czyzewski@ien.pw.edu.pl;

Rozkład luminancji na powierzchni świecącej diod elektroluminescencyjnych

Streszczenie. *Niezależnie od aplikacji, w procesie projektowania układów optycznych dla diod elektroluminescencyjnych konieczna jest znajomość rozkładu luminancji powierzchni świecącej. Problem polega na jednoznacznym określeniu powierzchni świecącej LEDów, tzn. czy źródłem światła jest tylko matryca LEDa, czy pierwotny układ optyczny czy często stosowane wtórne układy optyczne. Dodatkowy problem stanowią różne kształty poszczególnych elementów układu optycznego, co wpływa bezpośrednio na różne rozsyły strumienia świetlnego. Rozpoczęte prace badawcze mają pozwolić na odpowiedź na część z postawionych pytań.*

Abstract *Independent on application, in design process of optical elements for LEDs information about luminance distribution on a light source surface is crucial. The problem consists in straightforward evaluation of LED luminous surface, that is whether the light source is only LED matrix or primary optical system, or often used secondary optical system. Additional problem is connected with different shapes of optical systems that directly influences luminous intensity distributions. The investigations initiated should give answers for some problems.*

Słowa kluczowe: źródła światła, diody elektroluminescencyjne, obszar świecący.

Keywords: light sources, LED, field lighting.

1. Wprowadzenie

Diody elektroluminescencyjne, nazywane także LED od ang. Light Emitting Diodes, są dosyć nowymi (pierwsza dioda elektroluminescencyjna powstała w latach 60-tych XXw.), a jednocześnie najdynamiczniej rozwijającymi półprzewodnikowymi źródłami światła. Na przestrzeni lat powstało bardzo wiele rodzajów diod elektroluminescencyjnych. Generalny podział, to podział na diody niskomocowe (o mocach do 0,5W, gdzie typowe prądy pracy wynoszą do 30mA) oraz diody wysokomocowe (o mocach powyżej 1W, gdzie typowe prądy pracy wynoszą ponad 350mA). Ze względu na niskie moce jednostkowe pojedynczych LED-ów (dochodzące do 5W, ale typowe to 1W), chcąc stworzyć z nich zamienniki klasycznych źródeł światła (żarówek, lamp wyładowczych), stosuje się matryce diodowe, zawierające od kilku do kilkuset LED-ów. Oczywiście, im wyższa moc jednostkowa pojedynczego LED-a, tym mniej ich trzeba zastosować. Stąd, w badaniach własnych, zdecydowano zająć się LED-ami wysokomocowymi, gdyż to właśnie one będą wchodziły w nowe dziedziny zastosowań.

Obudowa diody pełni ważną rolę w procesie kształtowania bryły fotometrycznej diody elektroluminescencyjnej [1]. Dlatego obudowę LED-a można nazwać pierwotnym układem optycznym. Poza obudowami dodatkowo bryłę fotometryczną diody LED kształtuje się za pomocą odbłyśników, soczewek oraz filtrów, które często na stałe zintegrowane są z daną diodą. Bardzo rzadko pierwotne układy optyczne projektowane są pod specjalne zastosowanie. Zazwyczaj pierwotne układy optyczne, w produkcji seryjnej, realizują kilka typowych rozsyłów strumienia świetlnego (np. lambertowski, szerokokątny i skrzydełkowy). Producenci chcąc rozszerzyć możliwości aplikacyjne produkowanych seryjnie LED-ów (szczególnie tych o dużej mocy elektrycznej), zaczęli poszukiwać dodatkowych rozwiązań - w postaci specjalnej konstrukcji pierwotnych układów optycznych oraz częściej w postaci wtórnych układów optycznych. Stąd, wprowadzono specjalne konstrukcje pierwotnych oraz wtórne układy optyczne w postaci kolimatorów maszynowych [2]. Kolimator wykonany z przezroczystego tworzywa sztucznego, w jednej części zachowuje się jak soczewka, w drugiej dzięki wykorzystaniu zjawiska całkowitego wewnętrznego odbicia działa jak odbłyśnik.

W procesie projektowania układów optycznych dla diod elektroluminescencyjnych, konieczna jest:

1. identyfikacja rzeczywistej powierzchni świecącej;

2. znajomość rozkładu luminancji na rzeczywistej powierzchni świecącej.

Głównym elementem układu świetlno-optycznego diod elektroluminescencyjnych jest chip świecący. Zazwyczaj innych elementów w układzie świetlno-optycznym, projektanci opraw oświetleniowych nie biorą pod uwagę. Podczas prowadzenia dokładnych obliczeń układów optycznych z diodami elektroluminescencyjnymi, konieczna jest jednak znajomość rozkładu luminancji powierzchni matrycy świecącej. Poza tym, równie istotnymi elementami wpływającymi na wielkość powierzchni świecącej, a pośrednio na rozkład luminancji, są poszczególne części konstrukcyjne LED-ów, tj.: pierwotny układ optyczny oraz wtórny układ optyczny.

Wszystkie wymienione czynniki, związane z identyfikacją powierzchni świecącej oraz rozkładem luminancji, są przyczyną złożoności matematycznego modelu kształtu świecących LED-ów.

Najdokładniejszy model rozkładu luminancji danej diody elektroluminescencyjnej można uzyskać poprzez bezpośredni pomiar luminancji, a otrzymany rozkład jest wtedy zebrany np. w postaci macierzowej. Otrzymuje się wtedy rzeczywistą luminancję danego elementu LED-a z określonego kierunku. Innym sposobem określenia luminancji chipa świecącego jest przyjęcie, w dalszych obliczeniach układów optycznych, luminancji średniej powierzchni chipa w danym kierunku. Jeszcze większym uproszczeniem jest zamodelowanie chipa punktem świetlnym.

Oddzielnym zagadnieniem jest mapowanie określonego rozkładu luminancji na powierzchni diody, w obliczenia symulacyjnych. Bazując na metodzie promieni odwrotnych, zasadniczo wyróżnia się dwie podstawowe metody mapowania [3]:

1. metodę pękową;

2. metodę mapowania luminancji.

W metodzie pękowej rozkład luminancji źródła światła uwzględniany podczas obliczeń (symulacji) musi zostać zarejestrowany lub wyliczony, jako rzut obrazu rozkładu luminancji na płaszczyznę prostopadłą do promienia odwrotnego odbitego od odbłyśnika i zmierzającego w kierunku źródła światła. Bardzo duża liczba danych wejściowych ogranicza praktyczne zastosowanie tej metody. Natomiast w metodzie mapowania luminancji, nakłada się mapę (obraz), zawierający rozkład luminancji źródła światła, na powierzchnię modelu geometrycznego źródła światła (lub jego części).

Rozkłady luminancji na powierzchni świecącej LED

Docelowym obszarem działań naukowych jest stworzenie modelu luminancyjnego diod elektroluminescencyjnych. Aby tego dokonać, należy w pierwszej kolejności, określić rzeczywisty rozkładu luminancji na powierzchni świecącej LED-ów. Z wymienionych na wstępie przesłanek, badaniom poddano diody wysokomocowe różnych producentów (europejskich oraz dalekowschodnich), ale o uznanej marce. Moc poszczególnych LED-ów wynosiła ok. 1W - czyli były to LED-y najbardziej popularne spośród wysokomocowych. Diody nie były specjalnie selekcjonowane, jedyny parametr na który zwrócono uwagę to stabilność parametrów technicznych podczas pracy oraz wysoka renoma producenta.

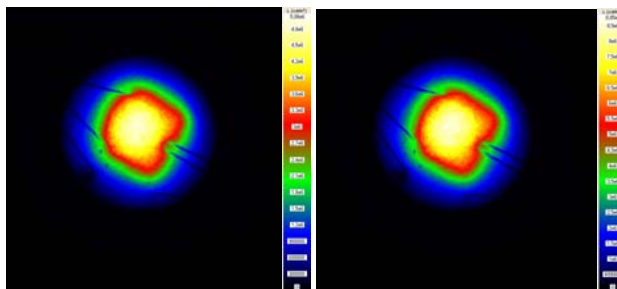
Na tym etapie badań własnych, analizie poddano diody o rozsyłe zbliżonym do lambertowskiego. Wyniki fragmentu przeprowadzonych badań zostaną zaprezentowane w dalszej części opracowania.

W tabeli 1 przedstawiono podstawowe parametry LED-ów wybranych do prezentacji - według danych producentów. Aby nie przesądzać o walorach użytkowych poszczególnych LED-ów, zdecydowano nie podawać nazw producentów, a diody będą ponumerowane od 1 do 5.

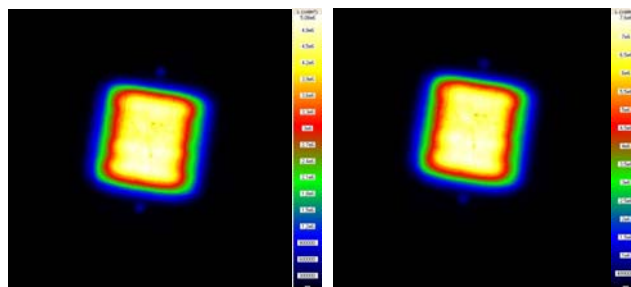
Tabela 1. Dane techniczne LED-ów poddanych badaniom - według danych producentów

	Dioda nr 1	Dioda nr 2	Dioda nr 3	Dioda nr 4	Dioda nr 5
Strumień świetlny znamionowy [lm]	90	45	100	39	116
prąd znamionowy [mA]	350	350	350	350	350
napięcie znamionowe [V]	3,41	3,42	3,25	3,42	3,2
zakres napięć roboczych [V]	3,1-4,3	2,79-3,99	3-4	-	2,7-3,7
temperatura barwowa [K]	5000-8000	5500	6300	2700	6500
rozsył światłości	lambertowski zakres kątowy 130°	lambertowski zakres kątowy 140°	lambertowski zakres kątowy 127°	lambertowski zakres kątowy 120°	lambertowski

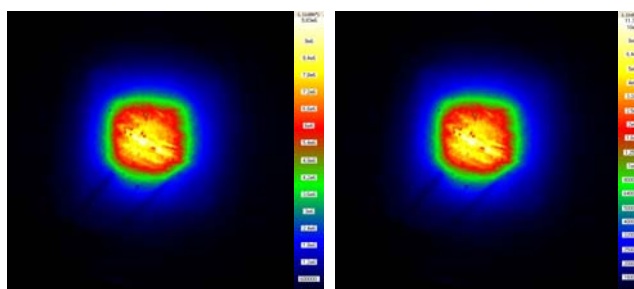
Zgodnie z przewidywaniami obszar świecący diod elektroluminescencyjnych miał zróżnicowaną luminancję. Najlepiej ten efekt był widoczny przy pomiarze z kierunku prostopadłego do osi optycznej LED-ów. Na rysunkach od 1 do 5, zostały przedstawione rozkłady luminancji z kierunku prostopadłego do osi optycznej, wybranych do prezentacji LED-ów (dla układu fotometrowania (C, γ) , gdzie półpłaszczyzna $C=10^\circ$ a kąt $\gamma=0^\circ$). Dodatkowo sprawdzono wpływ zwiększenia prądu zasilania diod z 350mA do 700mA na wyniki poziomego i rozkładu luminancji. Rysunki lewe przedstawiają diody zasilane prądem 350mA, natomiast rysunki prawe przedstawiają diody zasilane prądem 700mA (dopuszczalnym przez producentów LED-ów).



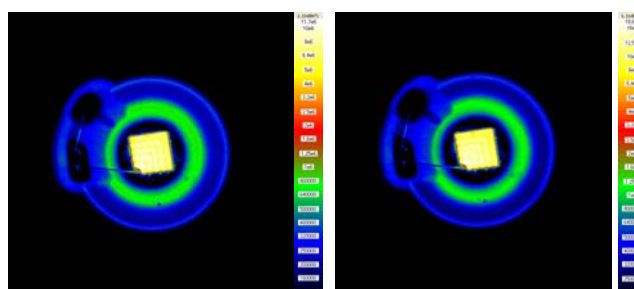
Rys. 1. Rozkład luminancji na powierzchni LED-a nr 1 (wybranego do prezentacji), widziany z kierunku prostopadłego - przy zasilaniu prądem 350mA (lewy rys.) i 700mA (prawy rys.)



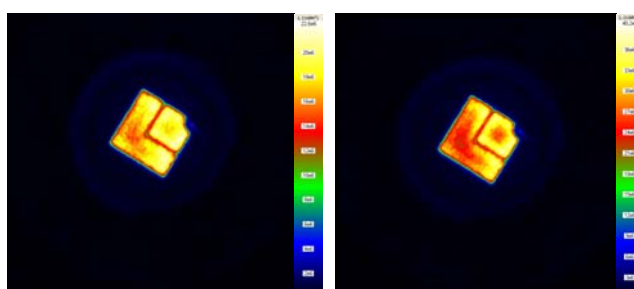
Rys. 2. Rozkład luminancji na powierzchni LED-a nr 2 (wybranego do prezentacji), widziany z kierunku prostopadłego - przy zasilaniu prądem 350mA (lewy rys.) i 700mA (prawy rys.)



Rys. 3. Rozkład luminancji na powierzchni LED-a nr 3 (wybranego do prezentacji), widziany z kierunku prostopadłego - przy zasilaniu prądem 350mA (lewy rys.) i 700mA (prawy rys.)

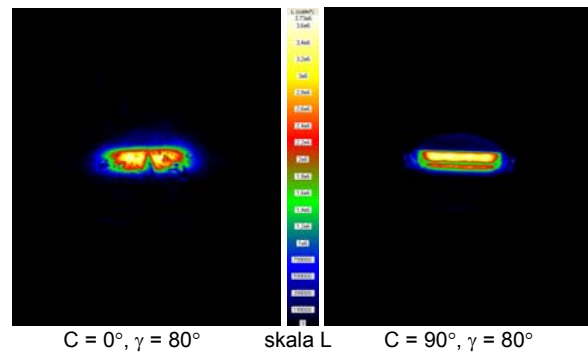
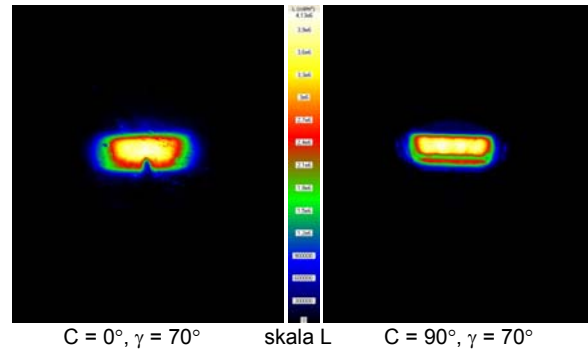
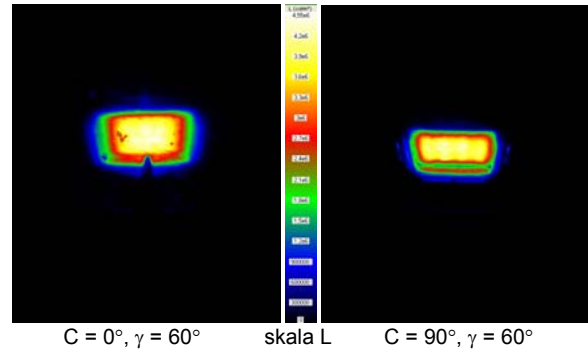
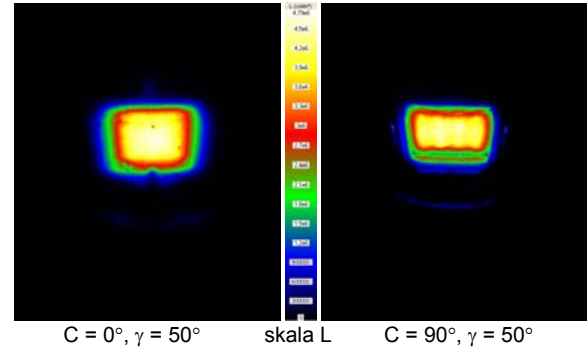
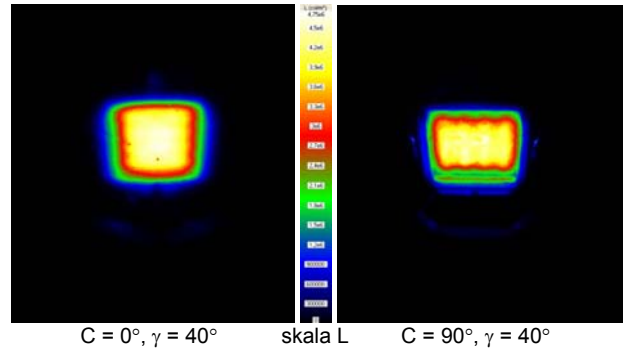
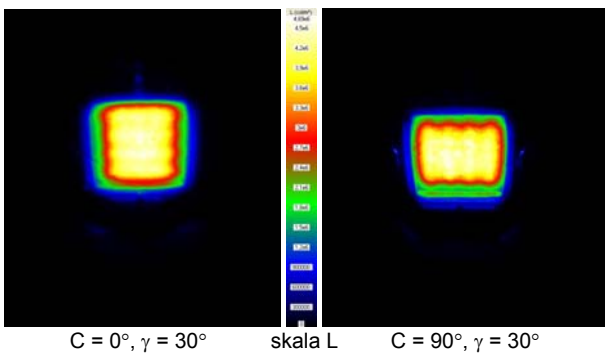
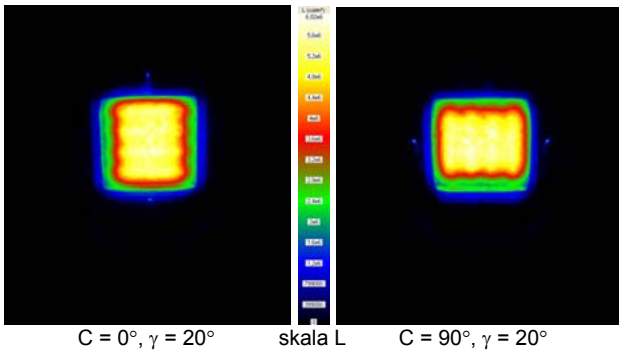
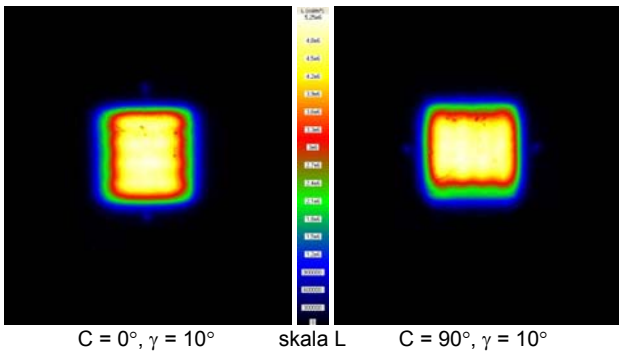
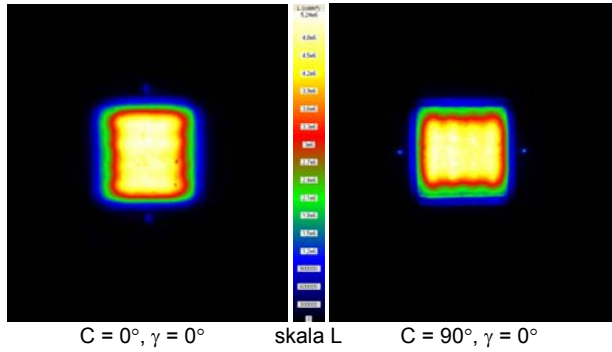


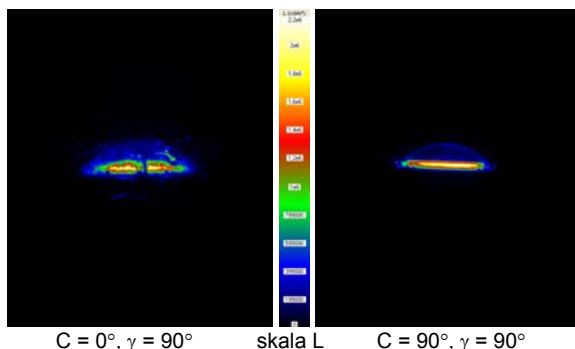
Rys. 4. Rozkład luminancji na powierzchni LED-a nr 4 (wybranego do prezentacji), widziany z kierunku prostopadłego - przy zasilaniu prądem 350mA (lewy rys.) i 700mA (prawy rys.)



Rys. 5. Rozkład luminancji na powierzchni LED-a nr 5 (wybranego do prezentacji), widziany z kierunku prostopadłego - przy zasilaniu prądem 350mA (lewy rys.) i 700mA (prawy rys.)

Dalszym etapem badań było sprawdzenie rozkładu luminancji przy różnych kierunkach obserwacji. Również w tym przypadku okazało się że rozkład ten nie jest równomierny. Na rys. 6 przedstawiono rozkład luminancji na powierzchni wybranej diody, dla różnych kierunków obserwacji. Ze względu na symetrię obrotową układu optycznego diodę nr 2 sfotometrowano w dwóch płaszczyznach C ($C=0^\circ$ i $C=90^\circ$) oraz kątach γ od 0° do 90° co 10° . W trakcie pomiarów diody zasilano prądem 350mA.





Rys. 6. Rozkład luminancji na powierzchni LED-a nr 2, dla kątów $\gamma = 0^\circ$ - 90° (co 10°) oraz półpłaszczyzn $C=0^\circ$ (rys. lewe) oraz $C=90^\circ$ (rys. prawe)

Analiza wyników

Analizując wyniki badań, zestawione na rys. od 1 do 5 można stwierdzić, że dwukrotny wzrost prądu zasilającego LED-y, powoduje wzrost luminancji o od 50% w przypadku LED-a nr 5 do ponad 75% w przypadku LED-a nr 4.

Wstępna analiza rys. 6 wskazuje, iż obszar świecący LED-a zmienia się wraz kątem obserwacji, a zmiany te są szczególnie widoczne od kąta $\gamma = 70^\circ$. Pomimo teoretycznej symetrii obrotowej bryły fotometryczne (dla tego typu diod), kształt powierzchni świecącej i rozkład luminancji, jest różny dla półpłaszczyzn $C=0^\circ$ i $C=90^\circ$.

Kształt obszaru świecącego jest zgodny z kształtem chip-a świecącego w LED-ach. W większości przypadków jest to kształt prostokątny (szczególnie widoczne na rys. 4 i 5). Odpowiada on za luminancję o największej wartości. Luminancja w obszarze chip-a zmienia się w granicach 90-100% luminancji maksymalnej.

Dla początkowego zakresu kąтового ($\gamma = 0^\circ \div 60^\circ$), powierzchnią świecąca jest nierównomiernie świecący pierścień oraz zdeformowany kwadrat w środku pierścienia (rys. 6).

Luminancja pierwotnego układu optycznego wynosi około 10% luminancji obszaru chip-a świecącego. Szczególnie dobrze to jest widoczne dla kąta $\gamma = 90^\circ$. Stąd należy wnioskować, że nie należy pomijać luminancji pierwotnego układu optycznego w obliczeniach projektowych.

Poza tym, sprawdzenia wymaga powtarzalność obszaru świecącego w różnych egzemplarzach LED-ów o rozsyle lambertowski.

Dalsze kierunki badań

Zasadniczo przewiduje się dalsze badania diod elektroluminescencyjnych o rozsyle strumienia świetlnego zbliżonego do lambertowskiego. Po zakończeniu tych prac, planowane są pomiary diody elektroluminescencyjne o innych podstawowych rozsyłach (np. side emitting). Na podstawie przeprowadzonych badań zostanie podjęta próba stworzenia uniwersalnych modeli luminancyjnych diod elektroluminescencyjnych danego typu. W toku realizacji tego zadania, planowane jest rozwiązanie kwestii związanej z doбором systemu mapowania luminancji na powierzchni LED-ów oraz jego optymalizacja.

Po etapie pomiarowo-koncepcyjnym, zakłada się przeprowadzenie weryfikacji opracowanego modelu luminancyjnego diody elektroluminescencyjnej, na rzeczywistym układzie optyczno-świetlnym.

LITERATURA

- [1] Czyżewski D.: *Selected problems of defining the luminous area of electroluminescent diodes*, Przegląd Elektrotechniczny nr 8/2008
- [2] Zalewski S.: *Projektowanie wtórnych układów optycznych do LED-ów*, Przegląd Elektrotechniczny nr 5/2007

- [3] Słomiński S., „*Mapowanie rozkładu luminancji źródła światła w obliczeniach fotometrycznych odbłyśników zwierciadlanych*”, Rozprawa Doktorska, Politechnika Warszawska, 2010
- [4] Żagan W.: *Scalone przetworniki obrazu - nowa era w fotometrii*; Pomiary Automatyka Kontrola, nr 9 bis 2006.
- [5] Żagan W. *Rzetelnie i rozważnie o LED-ach - ocena obecnych i prognoza przyszłych aplikacji oświetleniowych diod elektroluminescencyjnych*; Przegląd Elektrotechniczny nr 1/2008, ISSN 0033-2097.
- [6] Wiśniewski A.: *Diody elektroluminescencyjne (LED) dużej mocy*; Przegląd Elektrotechniczny nr 5/2007.
- [7] Kotwicz A.: *Leuchtdichteverteilungen an Hochdruckbogenentladungslampen für KFZ-Scheinwerfer und optische Parameter von Brennermaterialien*; rozprawa doktorska, Politechnika Berlińska, Berlin 2004.
- [8] Sawicki D.: *Wybrane problemy symulacji figury jasnych punktów z wykorzystaniem metody śledzenia promieni*; OWPW; Warszawa 2007.

Autor: dr inż. Dariusz Czyżewski, Politechnika Warszawska, Instytut Elektroenergetyki,
E-mail: dariusz.czyzewski@ien.pw.edu.pl;

Luminance distribution in an office during daytime

Abstract. Outdoor daylight is continually changing during a day, penetrates through windows into interiors and results in permanent variations of the indoor lighting. Today daylighting in the buildings is evaluated in respect to CIE overcast sky conditions and under these conditions neither the daylight changes nor window orientations are considered. Therefore in real buildings in two same rooms with different orientations the daylight conditions can occur differences in dependence on the sky luminance pattern. To use better the interior daylight it is helpful to know the indoor luminance changes and distributions. The luminances of walls and the ceiling in a typical office at the Institute of Construction and Architecture SAS were measured by the CCD image method and their changes during a random day were evaluated and compared with simulation results.

Keywords: Daylighting, indoor luminance distribution, measurements, CCD camera

Introduction

Energy saving requirements for the performance of buildings together with requirements for the creation of a healthy indoor environment are main tasks for illuminating and building engineers. Because the sunlight and skylight in exterior are continually changing also permanent changes of daylighting in interiors for work and rest can be observed during a day [1-5]. Daylight penetrates through windows into interiors which results in the fact that only a part of available daylight can be used [6-7]. The daylighting in two similar rooms with the same outdoor obstructions but different orientation to cardinal points can differ in dependence on the sky luminance distribution. Currently daylighting in buildings is evaluated in respect to CIE overcast sky conditions ([8] in many countries. Under these conditions daylight changes are not considered. However, sky luminance distributions seen within the window solid angle from the investigated point influences the indoor luminance distribution. In sidelit rooms during a day depend the luminances also on the window size and position in the facade, on optical properties of the glazing as well as on reflectance of inner surfaces. When sunrays are not penetrating into the room there occur only smaller changes of luminances on the walls. In the opposite case when sunrays penetrate inside the values and location of bright luminance patches on walls and floor are changing frequently and fluently during the day. For the evaluation of luminance distribution in the interiors can be used several computer programs, (e.g. Radiance, Dialux, Relux, DaySim, Genlux, etc.) or measuring methods such as those based on the measured luminances or CCD images [9-12]. The calculation results can be different applying various computer programs in the solutions of the same task. Moreover only overcast, clear or intermediate sky conditions are only considered in these calculations. To use better the interior daylight it is helpful to know the indoor luminance changes and distributions. [13-15].

The luminances in the typical office at Institute of Construction and Architecture in Bratislava (ICA SAS) were measured by CCD image method. These data were then compared with results calculated by the Dialux V4.3 program.

Methodology

The daylighting research involves investigations of indoor luminances in the occupied interiors as one of the attribute of visual environment.

The empty typical office room No. 103 (Fig. 1) with dimensions 4.45m x 5.5m x 2.9m at ICA SAS orientated to north-west was selected for the indoor luminance map investigation. The room is illuminated by the double glazed two vertical windows with dimensions 2.4m x 1.6m and 0.85m x 1.6m as well as by the façade door 0.85m x 2.4m

respectively. The interior was painted white except the floor and had no exterior obstructions, Fig. 2.

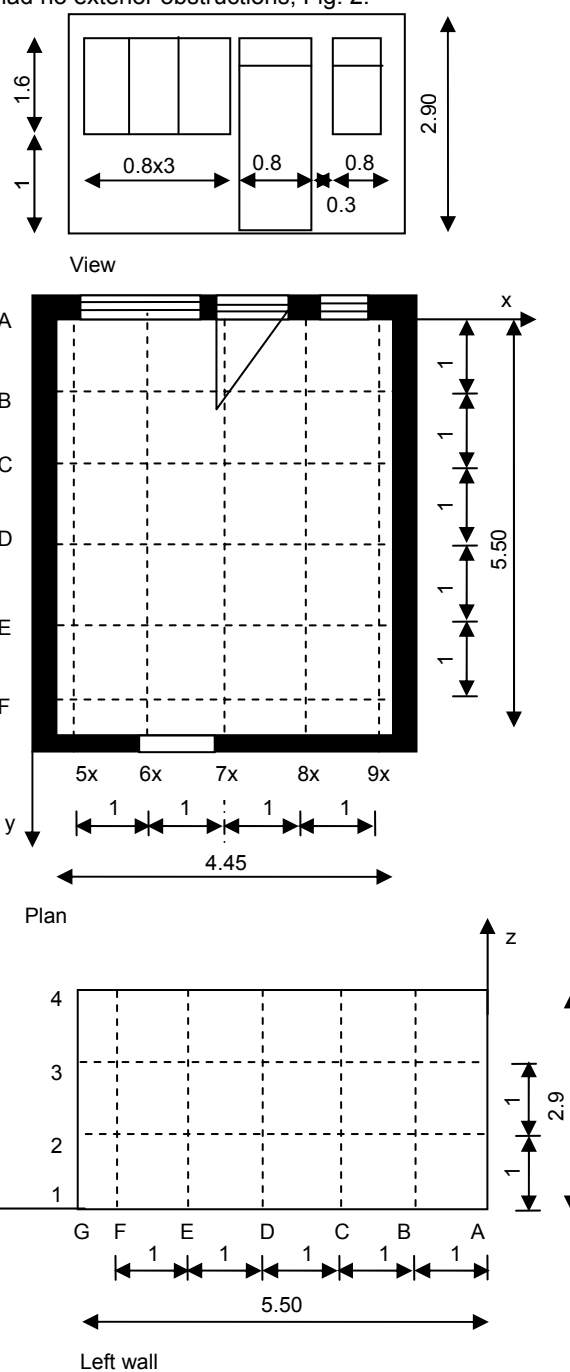


Fig. 1 Scheme of the office room



Fig.2 View on the window wall

The circular images with the equidistant projection were taken by the Coolpix 990 Digital Camera equipped by Nikon Fisheye Converter FC-E8 during 22nd October 2008. This camera was calibrated for luminance measurements at the FEKT VUT Brno, Czech Republic in November 2007. For further fisheye image evaluations the results of calibration were inserted into the calibration file of the LumiDISP program [16].

Before indoor luminance investigations the luminance determined from fisheye images were checked with the luminance measured by the calibrated luminance meter Minolta 1° (Certificate No. 413/270/41/08 Slovak Institute of Metrology, Bratislava dated on 18th September 2008), the calibration constant is 1.24.

The measured values correspond quite well with the CCD values taken from fisheye images, as is shown in Tab. 1 with few differences observed only on the ceiling. Probably during the cloudy day of measurements it seems that the CCD camera collects more light close to the axis of the converter.

Table 1. Comparison of measured luminances with that taken from fisheye images in the room 103 on 15th October 2008

Surface	Point	Luminance, cd.m ⁻²		Surface	Point	Luminance, cd.m ⁻²	
		Minolta	CCD			Minolta	CCD
Left wall	L1	127,72	127	Rear wall	Z1	62	61
	L2	55,8	65		Z2	48,36	51
	L3	50,84	57		Z3	55,8	57
	L4	38,44	48		Z4	45,88	52
	L5	40,92	45		Z5	43,4	48
Right wall	R1	117,8	103	Ceiling	S1	73,16	92
	R2	59,52	65		S2	45,88	68
	R3	60,76	59		S3	45,88	66
	R4	44,64	48		S4	45,88	63
	R5	44,64	45		S5	35,96	52
			S6		28,52	45	
			S7		31	43	

Because levels of daylighting are permanently changing from sunrise to sunset the relative luminance RL_i as ratio of luminance of the surface element L_s to the luminance vertically measured on the ceiling L_c was calculated and evaluated, Fig 3.

$$(1) RL_i = \frac{L_s}{L_c}$$

These luminances L_s and L_c were obtained from the image using LumiDISP program.

Results

The measurements of the luminance wall and ceiling maps were taken in the selected office room during one day on the 22nd October 2008 from 9:30 to 16:00 every 30 minutes [17]. These photos were shot in the same time as

the exterior global E_{vg} and diffuse E_{vd} illuminances were measured at the CIE IDMP station located at the roof of the ICA SAS (Geographical latitude: 48°10' N, longitude: 17°05' E, local time GMT+1). The weather was changing from cloudy in the morning to sunny in the afternoon as also indicated by higher differences between global and diffuse illuminance shown on Fig. 4.

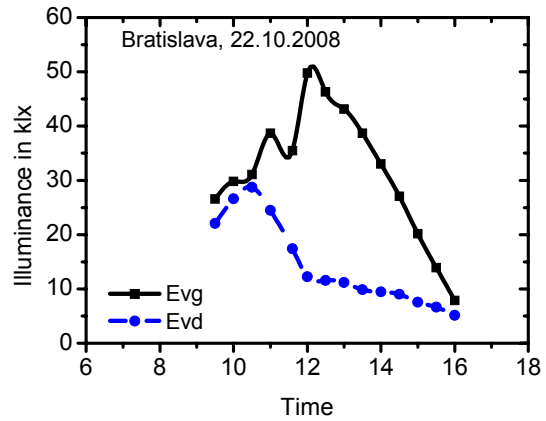


Fig. 4 Exterior illuminance changes during the indoor luminance measurements on 22nd October 2008.

The response of exterior daylight changes on the indoor luminance was evaluated for every measurement but only an example of the luminance map documented for 11:00 in Fig. 5, 6 and Tab. 2. The solar altitude was $\gamma_s = 30.14^\circ$, $E_{vg} = 38693$ lx, $E_{vd} = 24476$ lx and $L_v = 3030$ cd.m⁻².

The maximum luminance values were measured close to the window on side walls and ceiling. The back wall is relatively more illuminated than the deeper parts of side walls, Fig. 5. In the Tab. 2 are documented luminances L_s in cd.m⁻² and relative luminances RL_i taken in the points of the net with distance 1m from the window wall (x axis) and from the floor (z axis) as well as from the centre of the room (y axis in the plan), Fig. 1. Luminance values are decreasing with the distance from window in the ratio from 2.7:1 to 1.9:1 and on the ceiling in the ratio from 2.3:1 to 1.8:1. So, the luminance map of ceiling is more homogeneous than that of the walls, as shown in Tab. 2 and Fig. 5, in columns 5 - 9. The luminance asymmetry of walls adjacent to the window wall is evident due to asymmetric luminance distribution on the clear sky seen from the room.

The human eye is able to adapt to light intensity changes in various periods during day. Study of daily variation of luminances on the walls and ceiling shows

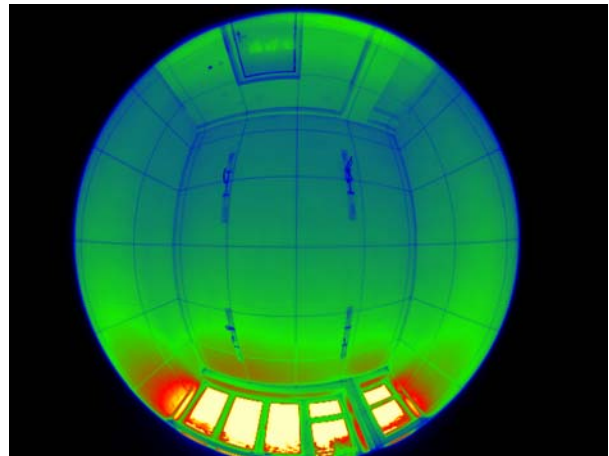


Fig. 3 Office room 103, indoor luminance distribution on 22nd October 2008 at 11:00, LumiDISP presentation,

Table 2. Indoor luminance distribution in cd.m^{-2}

Left wall			Ceiling						Right wall	
Point	2	3	5x	6x	7x	8x	9x	11	12	
B	114	102	85	104	90	86	74	85	83	
C	76	65	62	72	62	63	55	65	68	
D	54	53	50	54	53	52	50	54	55	
E	44	45	44	46	46	45	42	48	46	
F	42	43	42	44	44	44	41	44	43	

Back wall			Daylight situation: Small cloudiness, sun is shining, exterior diffuse illuminance and direct illuminance was registered
Point	2	3	
5x	57	47	
6x	61	51	
7x	63	52	
8x	63	53	
9x	53	47	

Indoor relative luminance distribution

Left wall			Ceiling						Right wall	
Point	2	3	5x	6x	7x	8x	9x	11	12	
B	2,15	1,92	1,60	1,96	1,70	1,62	1,40	1,60	1,57	
C	1,43	1,23	1,17	1,36	1,17	1,19	1,04	1,23	1,28	
D	1,02	1,00	0,94	1,02	1,00	0,98	0,94	1,02	1,04	
E	0,83	0,85	0,83	0,87	0,87	0,85	0,79	0,91	0,87	
F	0,79	0,81	0,79	0,83	0,83	0,83	0,77	0,83	0,81	

Rear wall			Office room 103 at ICA SAS Bratislava on 22nd October 2008 at 11:00
Point	2	3	
5x	1,08	0,89	
6x	1,15	0,96	
7x	1,19	0,98	
8x	1,19	1,00	
9x	1,00	0,89	

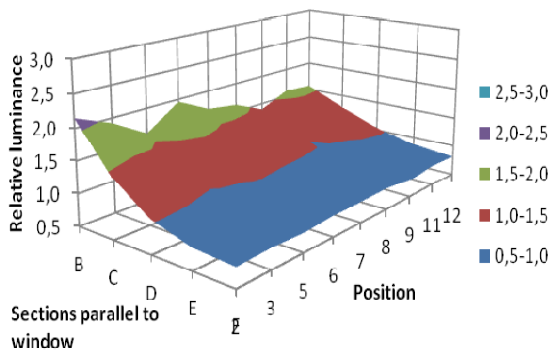


Fig. 5. Relative luminance map of walls and ceiling ($z_{\text{left}}[2, 3]$, $z_{\text{right}}[11, 12]$ and $z_{\text{ceiling}}[5; 9]$)

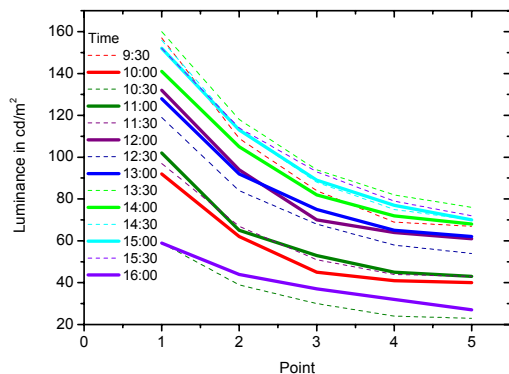


Fig. 6 Daily luminance changes on the left wall in the room 103 on 22nd October 2008

irregular occurrences of luminance levels and their irregular duration. During cloudy days higher differences can be expected when sunny and sunless situations are varied as was monitored in the morning on that October day.

In Fig. 6. are plotted luminance distributions on the left wall in the level 2m above floor which were determined from

images. It could be expected that the highest indoor luminance will be at noon when the solar altitude is at its maximum. Because the orientation of windows in the office room is due to north-west the walls were illuminated only by skylight at noon. Maximal luminances occurred at 14:30 when sun was relatively high and sunbeams penetrated through windows. The luminances were decreasing with lower afternoon solar altitudes.

To design healthy and comfortable visual environment the trends in the daylighting research are concentrated to study the importance of luminance distributions in the human space. As such experiments are expensive the procedures and practical methods for the visual environment design are expected by illuminating engineers. Several computer packages exist which help to calculate indoor luminance maps. Problems arise when the specialists need to investigate situations different from overcast, clear sky or from so called intermediate sky because only these possibilities are commonly available. The widely used program Dialux 4.3 was tested with measured data taken in office room on 22nd October 2008 at 11:00. Because the sunny period started just before 11:00 the indoor luminance maps are given in Tab. 3 only for 11:00 with clear sky conditions simulated.

Table 3. Indoor luminance distribution in cd.m^{-2}

Left wall			Ceiling						Right wall	
Point	2	3	5x	6x	7x	8x	9x	11	12	
B	269,5	270,5	192,0	177,0	207,0	221,0	251,0	232,0	233,5	
C	195,0	172,8	149,5	135,3	146,5	153,3	171,0	149,5	170,8	
D	140,8	108,0	96,0	85,5	87,0	88,0	100,0	98,0	130,0	
E	113,0	87,3	93,0	86,0	86,8	88,0	97,5	81,0	100,0	
F	107,0	85,3	103,0	93,5	93,5	102,0	108,0	80,0	96,5	

Back wall			Clear sky conditions simulated by the computer program Dialux V4.3
Point	2	3	
5x	178,5	145,0	
6x	177,3	139,0	
7x	164,8	125,5	
8x	153,3	117,0	
9x	145,0	116,0	

Indoor relative luminance distribution

Left wall			Ceiling						Right wall	
Point	2	3	5x	6x	7x	8x	9x	11	12	
B	3,10	3,11	2,21	2,03	2,38	2,54	2,89	2,67	2,68	
C	2,24	1,99	1,72	1,55	1,68	1,76	1,97	1,72	1,96	
D	1,62	1,24	1,10	0,98	1,00	1,01	1,15	1,13	1,49	
E	1,30	1,00	1,07	0,99	1,00	1,01	1,12	0,93	1,15	
F	1,23	0,98	1,18	1,07	1,07	1,17	1,24	0,92	1,11	

Rear wall			Office room 103 at ICA SAS Bratislava on 22nd October 2008 at 11:00
Point	2	3	
5x	2,05	1,67	
6x	2,04	1,60	
7x	1,89	1,44	
8x	1,76	1,34	
9x	1,67	1,33	

Comparison of measured data in Tab. 2 with those simulated in Tab. 3 show differences in values and distribution. The evidently lower luminance values were measured in all investigated points. The asymmetry between left and right wall indicate non-homogeneous sky luminance distribution influenced by the sun position on the sky. The ratio of measured luminances, Tab. 2, on the left to that measured on the right wall was changing from 1.28 near windows to 0.97 near the rear wall. When the calculated luminance values representing a model of clear sky conditions, Tab. 3, were applied it was found that ratios 1.16 to 1.09 are quite similar to measured values that approve the sunny situation.

The same trend of decreasing luminance values along the walls can be observed on the left and right side. The

Table 4. Indoor luminance distribution in cd.m⁻²

Left wall			Ceiling						Right wall	
Point	2	3	5x	6x	7x	8x	9x	11	12	
B	168,5	107,3	96,0	94,0	102,5	101,0	104,5	97,8	149,3	
C	97,8	62,0	73,0	69,5	73,5	70,3	72,0	60,0	96,3	
D	63,0	41,5	49,0	45,5	44,5	45,0	49,0	167,0	64,5	
E	45,8	33,5	40,5	39,5	39,8	38,8	40,0	33,5	46,0	
F	42,3	30,5	43,0	42,0	40,0	41,0	42,0	31,0	42,0	
Back wall			Overcast sky conditions simulated by the computer program Dialux V4.3							
Point	2	3								
5x	68,5	41,0								
6x	66,8	40,8								
7x	65,8	39,0								
8x	63,3	39,8								
9x	64,0	39,0								

Indoor relative luminance distribution										
Left wall			Ceiling						Right wall	
Point	2	3	5x	6x	7x	8x	9x	11	12	
B	3,79	2,41	2,16	2,11	2,30	2,27	2,35	2,20	3,35	
C	2,20	1,39	1,64	1,56	1,65	1,58	1,62	1,35	2,16	
D	1,42	0,93	1,10	1,02	1,00	1,01	1,10	3,75	1,45	
E	1,03	0,75	0,91	0,89	0,89	0,87	0,90	0,75	1,03	
F	0,95	0,69	0,97	0,94	0,90	0,92	0,94	0,70	0,94	
Rear wall			Office room 103 at ICA SAS Bratislava on 22nd October 2008 at 11:00							
Point	2	3								
5x	1,54	0,92								
6x	1,50	0,92								
7x	1,48	0,88								
8x	1,42	0,89								
9x	1,44	0,88								

luminance ratios near the window to that near the rear wall was 0.39 for the left side and 0.52 for right one taken from measurements, while ratio 0,36 for left wall and 0.38 for right wall was calculated by the Dialux V4.3 program. The simulation program produces more uniform visual environment as was measured. A comparison of simulated indoor luminances under clear sky conditions shows small differences between ratios of luminances near window to luminances near the rear wall under overcast skies. In this case this ratio 0.26 for left wall and 0.29 for right wall were found. It is evident that all indoor luminance patterns are changing more rapidly under overcast skies than under clear skies.

Conclusions

To ensure more effective daylight design and evaluation of the visual environment new methods have to be sought. The luminance meters are expensive and classical luminance measurements are very laborious. Therefore the new CCD technology which allows the determination of luminance maps in various solid angles and simplifies the tedious techniques seem to be more appropriate. The CCD camera enables to study luminance distributions in detail effectively not only in narrow solid angles but also in the whole hemispherical half space. The comparison of measured luminance data with luminance maps determined by fisheye pictures and the simulation program shows differences in obtained results due to:

- applications of various methodologies, their limitations and validities,
- limitations of simulation programs that enable the modelling and evaluating of luminances only under specific sky patterns, e.g. overcast, clear, intermediate, or parametric situations,
- limitations of CCD technology in the reduced range of measured values related to higher inaccuracy,
- uncertainties of the calibration of CCD sensor and its response to photometric units (cd. m⁻²) per pixel,
- uncertainties in image projection concerning optical properties of CCD camera.

Many daylight real situations can be found which have to be reliably simulated. In practical in daylight designs or studies in respect of energy performance of buildings it is important to respect situations characterizing typical daylight conditions. The standardization of daylight sources can be helpful to adopt conditions for practical purposes.

The presented study shows the possibility for applying CCD technology for the study of indoor luminance distribution during daytime.

Acknowledgments. Authors are grateful for the support of projects APVV-0264-07 and VEGA2/0060/08, the latter allowed inputs and processing of daylight data.

REFERENCES

- [1] Tregenza P.R., Standard skies for maritime climates, *Lighting Res. Technol.* 31 (1999), No. 3, 97-105
- [2] Reinhart C.F., Herkel S., The simulation of annual daylight illuminance distributions; a state-of-the-art comparison of six RADIANCE based methods, *Energy and Buildings*, 32 (2000), No. 2, p.167-87
- [3] Kittler R., Darula S., Kambezidis H., Bartzokas A., Daylight climate specification based on Athens and Bratislava data. Proc. The 9th European Lighting Conf. Lux Europa 2001. Reykjavik, p. 442-449
- [2] Heim D., Komputerowa analiza oświetlenia dziennego i ocena parametrów komfortu wizualnego w pomieszczeniach. (Computer analysis of daylighting and evaluation of visual comfort in interiors), Politechnika Łódzka, Łódź 2007. (In Polish)
- [5] Mardaljevic J., Heschong L., Lee E. Daylight metrics and energy savings. *Lighting Res. Technol.*, 41(2009),No.3,261-283
- [6] Tregenza P.R., Waters I.M., Daylight Coefficients, *Lighting Res. Technol.*, 15(1983), No. 2, 65-71
- [7] Kittler R., Darula S., The method of aperture meridians: a simple calculation tool for applying the ISO/CIE Standard General Sky, *Lighting Res. Technol.*, 38 (2006), No. 2, 109-122
- [8] CIE 16-1970: Daylight. Guide. CIE Central Bureau, Vienna
- [9] Inanici M., Galvin J., Evaluation of High Dynamic Range Photography as a Luminance Mapping Technique. LBNL Report # 57545. University of California, 2004
- [10] Inanici, M., Evaluation of high dynamic range photography as a luminance data acquisition system. *Lighting Res. Technol.*, 38 (2006), No. 2, 123-134
- [11] Wienold J., Christoffersen J. Evaluation methods and development of a new glare prediction model for a daylight environment with the use of CCD cameras, *Energy and Buildings*, 38 (2006), 743-757
- [12] Baxant P., Škoda J., Digitální fotografie a její využití ve světelné technice (Digital images and their in the illuminating engineering). *Světlo*, 13 (2010), No. 2, 46-48. In Czech.
- [13] Ishida T., Iriyama, K., Estimating light adaptation levels for visual environments with complicated luminance distribution. Proc. of the 25th CIE Session, Vol. 1, 2003, D1-10-13
- [14] Mudri L., Measurement and Interpretation of luminous ambience, proceedings of World Renewable Energy Congress Aberdeen, Ecosse, May 2005
- [15] Wymelenberg K.V., Inanici M., A Study of Luminance Distribution Patterns and Occupant Preferences in Daylit Offices", Proc. of the Passive and Low Energy Architecture (PLEA) 2009 Conf., Quebec City, 2009
- [16] LumiDISP, Software for luminance analyse, <http://lumidisp.eu>
- [17] Darula S., Oberman P., Investigation of new daylight criteria for energy efficient buildings. Photometric data of Room 103 at ICA SAS Bratislava. MAD SK PL 1500 Report. ICA SAS Bratislava, November 2008

Authors: Dr. Stanislav Darula, Institute of Construction and Architecture, Slovak Academy of Sciences, ul. Dubravská cesta 9, 845 03 Bratislava, Slovakia, e-mail: usarsdar@savba.sk, Associate Prof. Richard Kittler, DrSc, Institute of Construction and Architecture, Slovak Academy of Sciences, ul. Dubravská cesta 9, 845 03 Bratislava, Slovakia, e-mail: usarkit@savba.sk, Dipl. Ing. Peter Oberman, Institute of Construction and Architecture, Slovak Academy of Sciences, ul. Dubravská cesta 9, 845 03 Bratislava, Slovakia, e-mail: peter.oberman@savba.sk.

Measurement of tubular light guide efficiency under the artificial sky

Abstract. Tubular light guides are building elements transmitting daylight from exterior into building interiors. After installation they exploit daylight under various conditions during the whole year. The light guide efficiency depends mainly on the light reflectance of the inner duct surface and its length as well as on the light transmittance of the cupola and diffuser. A lot of authors have published in situ measurements of illuminances under light guides and light guide efficacy in the real buildings. It seems that these measurements cannot be compared without difficulties when daylight exterior conditions are not precisely documented. Daylight continually varies and it is difficult to find identical conditions for light measurements and their evaluations. Comparable measuring conditions can be created in the laboratories under an artificial sky. In this case, it is necessary to expect restrictions of the sample dimensions and of the modelling of the sky luminance distribution. It seems that artificial skies calibrated for the CIE overcast sky model can be used for measurements of the light guide efficiency. The trustworthy information about diffuse light transmission through tube with very high reflected inner surface is missing. A discussion about measurement under artificial skies and about method of the light guide efficiency determination under standard overcast sky is presented.

Keywords: Daylighting, measurements of light transmittance, tubular light guide, artificial sky

Introduction

Daylight is one of the most important aspects of external and also indoor environment. Natural light influence human health, work productivity and the whole physical and psychical balance, i.e. comfort of users in buildings. Buildings are commonly illuminated by windows or skylights. There are some indoor spaces or deeper parts of large rooms where daylight is insufficient. In these cases tubular light guides can be served for daylight transport from exterior to the desired place in the building interior [1-4]. The tubular light guide consists of a roof dome which collects and transmits direct sunlight and diffuse skylight through its tube. The inner surface of the tube is highly reflective which causes transport of daylight via multi-reflections into interior. A certain part of the daylight is absorbed on the tube surface due to multi-reflections. The direct or bended tubular light guides (TLGs) are installed in buildings. The direct TLGs are used prevailing in flat roofs while the bended one in the saddle roof installations. A TLG with several bends is rarely used because of high light losses. The TLG is covered by a transparent interface which scatters the transported daylight inside of the interior.

Several calculation procedures and also experimental methods for TLGs evaluations were published. Approximation methods are based on the determination of the luminous flux entering and leaving the TLG [5-10]. Mohelníková and Vajkay, [11], Hraška et al., [12] published solutions with BDTF functions applied in computer simulations. The most precise description of the propagation of light rays in the light guides can be found in analytical solutions [13, 14]. Experimental measurements of the daylight transport through TLG can be carried out in-situ under external daylight conditions or in laboratories under an artificial sky [8, 15, 16]. Both of the measurement possibilities have their own requirements and practical limitations.

Published results of measured interior illuminances on the working plane show that the documentation of real exterior daylight conditions is very difficult because sky luminances are continually changed. Not only data of exterior global illuminances but also sky luminance distributions are important for the determination of the quantity of light entering light guide. This fact is often neglected in the practical calculations or measurements.

The TLG light efficiency is usually evaluated for the whole system or only for its reflective tube. The calculations of illuminance on a horizontal working plane under a TLG installation determined from the luminance distribution on the transparent ceiling cover (diffuser) are often published.

Contrary to measurements in situ the laboratory measurements can be provided under stable lighting conditions. These can serve the exact determination of optical properties of the whole TLG or its parts and also can allow determination of their light efficiency. Light sources of the lower intensity are used in the laboratory measurements. This fact causes that the influence of the sun beam intensity can be simulated by a cumulative method which is difficult while directional effects of sun beams can be easily investigated.

As the luminous flux method is commonly applied in the calculations of the light efficiency of the TLG the integrating spheres are used for experimental determination of this parameter [8, 17]. The correct simulation of exterior daylight conditions adequate to the real sky luminance distribution is problematic in these measurements [16]. Source of the light with parallel rays was used in experiments published in [17]. The method presented in [8] recommends the application of a flat light source with fluorescent lamps producing diffuse light with uniform luminance and the integrating sphere for measuring of the luminous flux. The recommendations in accordance with [8] are acceptable as an agreed method for a comparison of measured data but not for the representation of the real light propagation through tubular light guide. The influence of clear skies is ignored in method presented by Swift [17].

Disadvantage of the application of the integrating sphere is in the absence of possibility to simulate light source which is characterised by the hemispherical non-uniform luminance distribution. This problem can be eliminated in the laboratory under the artificial sky with help of a set of dimming reflectors. Then the luminance distribution on the hemisphere surface can be adjusted in accordance with CIE standards overcast, clear and other sky type. Measurements under the artificial sky have also several limitations. Intensity of the skylight source is low, dimensions of the sample are limited by the dimension of the table, a relation between simulated sunlight and skylight intensity does not correspond to the ratio of real sunlight



Photo 1. The tubular light-guide set

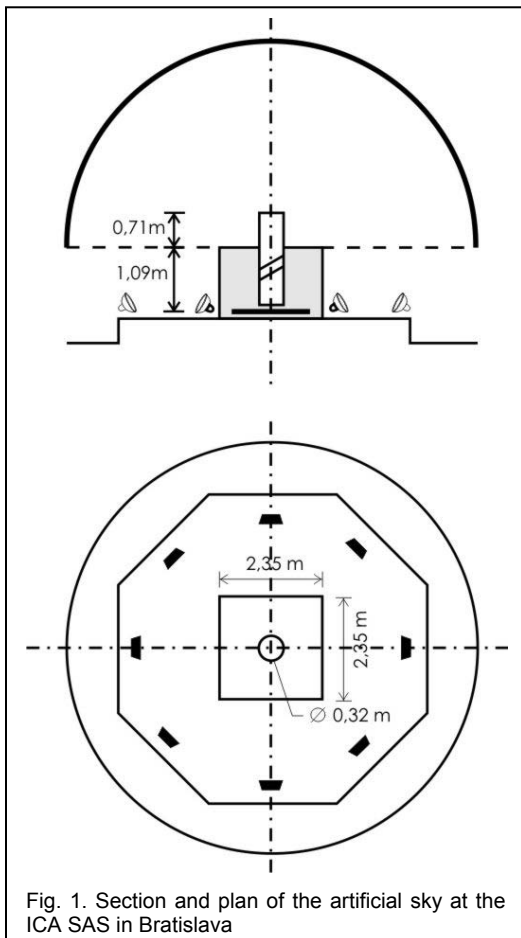


Fig. 1. Section and plan of the artificial sky at the ICA SAS in Bratislava

and skylight intensity. These facts complicate laboratory measurements of the TLG efficiency under clear sky conditions. In this case the number of repeated measurements considering this ratio could be calculated.

The artificial sky with 8 m diameter is available for the measurements at the Institute of Construction and Architecture of the Slovak Academy of Sciences in Bratislava (ICA SAS), Fig. 1. Reflectors within this sky are distributed on the floor in specific positions and by the control intensity of their light sources the luminance distribution of the CIE overcast sky, clear sky and the sky with uniform luminance distribution can be simulated [18, 19]. Thanks to a special diffusive plaster on the internal surface of the hemisphere the diffuse light is produced in the artificial sky at ICA SAS Bratislava.

Measurement method

The light efficiency of the TLG tube was determined by the luminous flux method for the CIE Overcast Sky conditions. The diffuse light was simulated in the artificial sky at ICA SAS in Bratislava. A sample of the direct TLG with diameter 0.32 m consists of three components: the bottom part of 1 m length, the top part of 0.6 m length and the middle component with an adjustment for rotation of the upper part in angle between 0° and 30° . The middle component was adjusted to the position 0° to give the direct TLG composition. This TLG was placed in the vertical position in the centre of the artificial sky, Photo 1. The tube of the TLG was of aluminium sheet with internal mirror facing (average light reflectance 99.8 %) the TLG was not covered by the semi-spherical roof dome of PMMA during presented measurements.

The luminous flux entering tube was calculated using measured illuminance E_e and value of cross-section area of the tube S_t after (1).

$$(1) \quad \Phi_e = E_e S_t \quad \text{lm}$$

where $S_t = \pi r^2$ – cross section area of the tube in m^2 ,
 r – the tube radius in m.

Illuminance E_e was measured close to the TLG input on the level of its upper part by the universal illuminance meter Hagner S2, calibrated at the light laboratory of the ICA SAS in accordance with secondary Bruel-Kjaer ethalone 1105 [20]. The calibration constant 1.0326 was used for the determination of the illuminance E_e values which were measured by Hagner S2.

The light leaving the TLG is distributed on a horizontal working plane S_i . It is valid that the light intensity is increased from the axis of the TLG. When measuring is provided under the CIE Overcast Sky and the TLG leaving luminous flux Φ_i is calculated in accordance with formula (1) then the tube can be placed in the centre of the artificial sky and the illuminance on the defined annulus ds_i can be measured. Because luminance distribution of CIE Overcast Sky is characterised by symmetry around the zenith also symmetry of illuminance on the horizontal plane around the tube axis can be expected. A simple steel supportive structure for the tested sample of the TLG was constructed with two perpendicular lines which represent the directions of the recorded horizontal illuminances E_i . The directions of these illuminance measurements were following: X - A, X - B, X - C and X - D while the head of the illuminance meter was positioned in distances 0.02 m, Fig. 2. The calibrated illuminance meter Bruel-Kjaer 1105 [20] was used for the measurements of E_i . In this way four values of $\Phi_{i,j}$ on the annulus ds_i were recorded and they average was used for calculation of the partial luminous flux $d\Phi_i$. Then the total value of Φ_i was determined by the integration of the partial luminous fluxes according to the equation (2).

$$(2) \quad \Phi_i = \int E_i ds_i \quad \text{lm}$$

To achieve the smallest area S_i the reference plane were placed 0.02 m under the bottom edge of the tube. The thickness of annulus $ds_i = 0.02$ m was chosen. Then area s_i is determined as:

$$(2) \quad s_i = \pi(r_{i+1}^2 - r_{i-1}^2) \quad \text{m}^2$$

where

for $i = 1$ will be $r_{i-1} = 0$, $r_{i+1} = 0.01$ m

and for $i > 1$ will be $r_{i-1} = 2i - 3$, $r_{i+1} = 2i - 1$,

while it is valid

$$(3) \quad S_i = \sum_1^n s_i \quad \text{m}^2$$

The total luminous flux leaving the TLG was calculated numerically after (3)

$$(5) \quad \Phi_i = \sum_1^n E_i s_i \quad \text{lm}$$

for the positions of the head of the illuminance meter i , while maximum value of n represents position where $E_i = 0$ was measured.

After calculations of luminous fluxes Φ_i a Φ_e the light transmission efficiency Eff was determined as ratio of both values, (6).

$$(6) \quad Eff = \frac{\Phi_i}{\Phi_e}$$

Comparison of results from different directions X - A, X - B, X - C and X - D shows that the regularity of the circular cross section of the tube was not ideal. The differences in

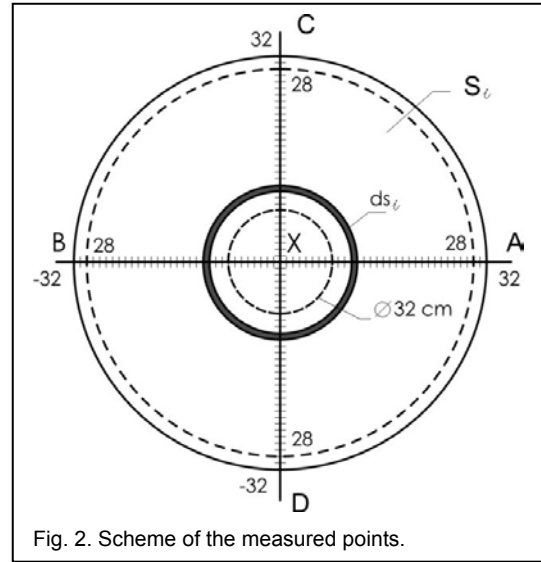


Fig. 2. Scheme of the measured points.

the luminous fluxes to 0.6 % under the bottom tube edge were monitored.

Results of measurements

It was found that luminous flux outgoing the light guide was redistributed on the reference level from the tube centre to the distance of 0.56 m. In the points $28 \leq n$, i.e. in the distance more than 0.56 m the illuminance $E_{ij} = 0$ was measured. Illuminance data E_{ij} were measured three times and results of these measurements are documented in Tab. 1. Value ds_i represents the area of annulus, columns $E_{i,1}$, $E_{i,2}$ a $E_{i,3}$ contain calculated average values of the illuminance on the annulus, which were recorded in the directions X - A, X - B, X - C a X - D, i.e. average from four values.

Table 1. Measured data and calculated total luminous fluxes outgoing the tube

i	ds_i	$E_{i,1}$	$E_{e,1}$	$d\Phi_{i,1}$	$E_{i,2}$	$E_{e,2}$	$d\Phi_{i,2}$	$E_{i,3}$	$E_{e,3}$	$d\Phi_{i,3}$
	m^2	lx			lm			lx		
0	0,0003	302,2500	461,06	0,0950	302,7500	461,06	0,0951	318,5000	483,51	0,1001
1	0,0025	300,0000	460,28	0,7540	301,5000	461,83	0,7578	315,7500	483,26	0,7936
2	0,0050	299,0000	463,12	1,5029	299,0000	463,38	1,5029	300,7500	463,90	1,5117
3	0,0075	297,0000	464,41	2,2393	296,0000	462,86	2,2318	297,5000	465,44	2,2431
4	0,0101	289,5000	463,90	2,9104	289,5000	463,12	2,9104	290,5000	464,67	2,9204
5	0,0126	281,5000	463,38	3,5374	281,7500	462,09	3,5406	283,5000	467,25	3,5626
6	0,0151	268,0000	463,38	4,0413	267,0000	462,09	4,0263	270,0000	466,99	4,0715
7	0,0176	238,7500	462,35	4,2003	237,7500	460,28	4,1827	239,7500	465,70	4,2179
8	0,0201	108,6250	463,38	2,1840	108,0250	460,80	2,1720	108,3750	466,74	2,1790
9	0,0226	11,3975	463,90	0,2578	11,2475	462,09	0,2544	11,5075	467,51	0,2603
10	0,0251	1,8218	463,64	0,0458	1,7958	462,86	0,0451	1,7903	464,93	0,0450
11	0,0276	0,5080	461,83	0,0140	0,5075	461,83	0,0140	0,5100	464,67	0,0141
12	0,0302	0,1970	462,86	0,0059	0,1975	462,09	0,0060	0,2008	467,51	0,0061
13	0,0327	0,0880	463,38	0,0029	0,0888	461,57	0,0029	0,0915	468,28	0,0030
14	0,0352	0,0463	464,15	0,0016	0,0465	460,02	0,0016	0,0483	465,44	0,0017
15	0,0377	0,0293	464,15	0,0011	0,0288	462,09	0,0011	0,0300	469,06	0,0011
16	0,0402	0,0203	462,60	0,0008	0,0205	462,86	0,0008	0,0210	468,80	0,0008
17	0,0427	0,0153	462,35	0,0007	0,0153	461,31	0,0007	0,0155	468,03	0,0007
18	0,0452	0,0120	461,31	0,0005	0,0125	462,86	0,0006	0,0130	468,54	0,0006
19	0,0478	0,0100	461,31	0,0005	0,0105	462,60	0,0005	0,0110	468,03	0,0005
20	0,0503	0,0093	462,60	0,0005	0,0100	462,86	0,0005	0,0095	467,25	0,0005
21	0,0528	0,0080	463,38	0,0004	0,0080	463,64	0,0004	0,0088	468,54	0,0005
22	0,0553	0,0073	462,86	0,0004	0,0073	463,38	0,0004	0,0083	467,25	0,0005
23	0,0578	0,0065	462,60	0,0004	0,0068	463,90	0,0004	0,0073	467,51	0,0004
24	0,0603	0,0063	461,83	0,0004	0,0065	464,41	0,0004	0,0070	466,99	0,0004
25	0,0628	0,0053	462,35	0,0003	0,0060	463,38	0,0004	0,0063	468,03	0,0004
26	0,0653	0,0053	462,09	0,0003	0,0055	463,64	0,0004	0,0063	467,51	0,0004
27	0,0679	0,0050	462,60	0,0003	0,0055	462,60	0,0004	0,0053	468,54	0,0004
28	0,0704	0,0048	462,60	0,0003	0,0048	461,83	0,0003	0,0055	469,06	0,0004
29	0,0628	0,0043	463,90	0,0003	0,0050	463,90	0,0004	0,0050	469,32	0,0004
30	0,0653	0,0038	461,31	0,0003	0,0045	463,38	0,0003	0,0048	469,32	0,0004
31	0,0679	0,0038	462,60	0,0003	0,0043	463,90	0,0003	0,0048	468,54	0,0004
32	0,0704	0,0033	462,60	0,0003	0,0040	464,15	0,0003	0,0043	468,54	0,0003

Columns E_{e1} , E_{e2} and E_{e3} contain averages of illuminance measured close the upper edge of the tube which represent exterior daylight conditions. Illuminances $E_{i,j}$ and $E_{e,j}$ were recorded simultaneously. Partial luminous fluxes $d\Phi_{i,1}$, $d\Phi_{i,2}$ and $d\Phi_{i,3}$ outgoing the light guide tube were calculated separately for every measurement according to relation (6). The first line in the Tab. 2 yields calculated values of E_e while these were used for the calculation of the entering luminous fluxes after equation (1). In the penultimate line in this table are documented values of the total luminous fluxes $\Phi_{i,j}$ leaving the tube, where j is number of the measurement. Luminous intensity of light sources in the reflectors in the artificial sky significantly depends on the stability off the electrical power system. Comparison of the single $\Phi_{i,j}$ shows small differences of measured values which are caused by the instability of electrical power, geometrical accuracy of the sample, measuring stand and the accuracy of their setting. The last line contains results of the tubular light guide efficiency measurements. It was found that the sample of the hollow tube with bend justified to straight direction with dimensions 1.8 m length and 0.32 m diameter can transmit 58.43% of the incident diffuse light under CIE Overcast Sky standard conditions.

Table 2. Light transmission efficiency Eff of the light guide tube

Parameter		Mesurement			Average
		No.1	No.2	No.3	
E_e	lx	462,73	462,57	468,32	
S_t	m ²	0,0804			
$\Phi_{e,j}$	lm	37,21	37,20	37,66	37,36
$\Phi_{i,j}$	lm	21,80	21,75	21,94	21,83
Eff	%	58,58	58,47	58,25	58,43

Conclusion

The publications with information about light transmittance through tubular light guides and illuminance measurements on the reference level under the tube are available and can be found. These measurements were provided prevailing under sunny situations, scarcely under overcast or cloudy skies. Less attention is paid to studies of diffuse light transmittance through the hollow light guides therefore such laboratory measurement was performed under artificial sky at the Institute of Construction and Architecture in Bratislava. The tubular light guide efficiency was evaluated using the parameter of the light transmission efficiency Eff , expressing ratio of the measured luminous flux outgoing tube to the luminous flux entering the tube. The artificial sky with standard CIE Overcast Sky luminance distribution was used as the diffuse light source during experiment contrary to other methods applying an integrating sphere or panel producing uniform luminance. The first concept corresponds better to requirements for daylight design in the buildings and better simulates light distribution in real exteriors. The measured sample of the vertical direct hollow light guide tube with 1.8 m length and 0.32 m diameter allows to transmit from exterior to interior 58.43 % of the incident diffuse light.

Acknowledgments. The experiment was prepared and measurements were evaluated thanks for the support of projects APVV-0264-07 and APVV SK-CZ – 0038-07 and MŠMT MEB 080804 as well as cooperation with Saprem

Ltd. Bratislava while inputs of daylight conditions were applied from the project VEGA2/0060/08.

REFERENCES

- [1] Bracale, G., Mongozzi, A., Bottiglioni, S., Performance and daylighting applications of Solatube, the tubular skylight. *Proc. 9th European Lighting Conf. Lux Europa 2001*, Reykjavik, p. 360-384
- [2] Plich, J., Mohelníková, J., Suchánek, P. Osvětlení neosvětlených prostor (Illumination of non-illuminated spaces). ERA group s.r.o. Brno 2004, 129p. In Czech
- [3] Darula, S., Kittler, R., Kocifaj, M., Plich, J., Mohelníková, J., Vajkay, F. Osvětlování světlovody (Light guide illumination). Grada Publishing, Praha, 2009, 160p. In Czech
- [4] Carter, D.J., Al-Marwaei, M., User attitudes toward tubular daylight guidance systems, *Lighting Res. Technol.*, 41 (2009), 71–88
- [5] Swift P.D., Smith G.B., Cylindrical mirror light pipes. *Solar Energy Materials and Solar Cells*, 36, (1995), No. 2, 159-168
- [6] Jenkins, D., Muneer, T., Modelling light pipe performances—a natural daylighting solution. *Building and Environment*, 38, (2003), No. 7, 965-972
- [7] Jenkins, D., Zhang, X., Muneer, T., Formulation of semi-empirical models for predicting the illuminance of the light pipes. *Energy Conversion and Management*, 46, (2005), 2288-2300
- [8] CIE 173:2006. Tubular daylight guidance systems. Technical Report. CIE Central Bureau
- [9] Al-Marwaei, M., Carter, D., Tubular guidance systems for daylight: achieved and predicted installation performances, *Applied Energy*, 83 (2006), 774-788
- [10] Mohelníková, J., Tubular light guide evaluation. *Building and Environment*, 44, (2009), No. 10, 2193-2200
- [11] Mohelníková, J., Vajkay, F., Study of tubular light guides illuminance simulations. *LEUKOS*, vol. V. (2009), No. IV.
- [12] Hraška J., Janák M., Maňková L., Climate-based evaluation and design of cylindrical light tubes. *Proc. Int. Conf. CISBAT 2009, Lausanne*, p. 201-206
- [13] Gupta, A., Lee, J., Koshel, R. J., Design of efficient lightpipes for illumination by an analytical approach. *Applied Optics*, 40 (2001), 3640-3648
- [14] Kocifaj, M., Darula, S., Kittler, R., HOLIGILM: Hollow Light Guide Interior Illumination Method – an analytic calculation approach for cylindrical light-tubes. *Solar Energy*, 82, (2008), No. 3, 247-259
- [15] Carter, D.J., The Measured and Predicted Performance of Passive Solar Light Pipe Systems, *Lighting Res. Technol.*, 33 (2002) No. 1, 39-52
- [16] Darula, S., Kittler, R., Measurements of optical properties of hollow light guide components using Sky, *Proc. Int. Conf. SVETLO – LIGHT 2009, Jasná*, p. 74-77
- [17] Swift, P.D., Smith, G.B., Franklin, J., Hotspots in cylindrical mirror light pipes: description and removal, *Lighting Res. Technol.* 38, (2006), No. 1, 19–31
- [18] Kittler, R., A new artificial 'Overcast and Clear Sky' with an Artificial Sun for Daylight Research, *Light. Res. and Technol.*, 6, (1974), No.4, 227–229
- [19] Darula, S., Artificial sky: Possibilities to evaluate daylight in models. *Proc. Int. Conf. Indoor Climate of Buildings 1998. Health and Comfort vs. Intelligent Technology*, Štrbské Pleso, p. 79-82
- [20] Calibration Certificate No. 412/27/41/08, SMU Bratislava

Authors:

Dr. Stanislav Darula, Institute of Construction and Architecture, Slovak Academy of Sciences, ul. Dubravská cesta 9, 845 03 Bratislava, Slovakia, e-mail: usarsdar@savba.sk, Dip. Ing. Peter Rybár, Regional Public Health Authority of Bratislava, ul. Ružinovská 8, 820 09 Bratislava, Slovakia, e-mail: ptrybar@gmail.com, Associate Prof. Jitka Mohelníková, Brno University of Technology, Faculty of Civil Engineering, ul. Veverí 331/95, 602 00 Brno, Czech Republic, e-mail: mohelnikova.j@fce.vutbr.cz, Dipl. Ing. Marek Popeliš, SAPREM Ltd, Šustekova 49, 85104 Bratislava, Slovakia, e-mail: saprem@saprem.sk

Evaluation of photobiological effects of fluorescent lamps used for general lighting purposes

Abstract. There are limits for maximum exposure times to ensure photobiological safety (e.g. due to retinal injury) while at the same time opposite recommendations exists for phototherapy applications specially related to stimulating human circadian cycle (suppression of melatonin). This article summarizes properties of fluorescent lamps as part of lighting systems influencing our being in both positive and negative effects.. Evaluation is based on valued impacts (circadian factor, blue light hazard) in the visual range under different application conditions.

Keywords: circadian rhythm, action factor, fluorescent lamp

Introduction

Illuminating work places nowadays is not only providing sufficient light levels and protecting from glare but also influencing our being. Since the discovery in 2002 of new photoreceptor in the eye which has a large influence on suppression of melatonin we understand more about biological effects of light. With increased knowledge people attempt to apply it into practice aiming mostly to stimulate human circadian rhythm while not being exposed to natural light during the day or to stimulate it for night workers. Potentially there are many new applications considered related to interaction between human body and visual radiation except for standard lighting purposes (aiming to improve our mood and alertness) among which we can point therapy of :sleep disorders, jet lag, seasonal affective disorder, increasing safety for night workers. It is only a matter of time while apart form standard lighting design rules like required light levels, uniformity, colour rendering or glare protection rules for improving well being will be introduced.

Only if we succeed in designing and installing lighting that results in both suitable visual and biological effects can we expect to attain optimum visual performance, health and well-being [1]

Measuring method

Evaluating and influencing circadian effects requires implementation of dedicated radiometric quantities. Special action spectrum $c(\lambda)$ has been defined by Gall [2] . Spectral weighing curve is based on melatonin suppression at different wavelength.

As can be seen on figure 1 it is completely different from eye sensitivity curve aiming for optimum at 460nm and so high circadian effect does not mean high luminous efficiency and has to should be evaluated separately.

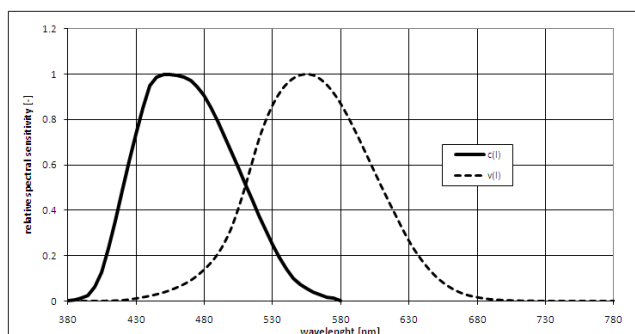


Fig.1. Circadian weighting function $c(\lambda)$ and spectral eye sensitivity curve for photopic vision $v(\lambda)$

Circadian action spectrum allows for definition of circadian action factor described as[3]:

$$(1) \quad a_{cv} = \frac{\int X_{e\lambda} c(\lambda) d\lambda}{\int X_{e\lambda} v(\lambda) d\lambda}$$

where: $X_{e\lambda}$ – spectral radiation, $c(\lambda)$ – circadian action function, $v(\lambda)$ – eye sensitivity curve.

Circadian action factor is a clear tool for evaluation of described effect which allows tracing it's behaviour under different circumstances.

Circadian properties of fluorescent lamps

Fluorescent lamps are still the most common lighting sources used for general lighting service in indoor applications. This means we are mostly exposed to light coming from those lamps while being at work, at schools or doing shopping and recently more often at homes due to increased numbers of integrated compact fluorescent lamps being used as a replacement to incandescent. Most of fluorescent lamps used contain 3-layer phosphor allowing to achieve colour rendering index above 80 or even 90 with extra additives. Different colour temperatures can be obtained on the market from 2700K to 6500K for standard applications (above 10000K is also available as dedicated circadian stimulating lamps). Base on tabular fluorescent lamps (18W TLD) circadian action factor was measured as a function of phosphor type. In table 1 it can be seen that circadian factor does not varies with colour rendering properties but only with colour temperature (blue content)

Table 1. Average circadian action factor in fluorescent lamps

CRI [-]	>80				>90	
T_b [K]	2700	3000	4000	6500	3000	4000
a_{cv} [-]	0.300	0,399	0.618	1.111	0.404	0.657

With the information above and lighting cycle stimulating circadian rhythm proposed for example by van Bommel [1] together with appropriate lighting levels dynamic system capable of stimulating circadian cycle can be applied. However dynamic system means dimming of lamps which does not always mean linear change for all effects generated by the source. The influence on circadian effect as a function of dimming was expressed as a percent of nominal lamp power. In this respect circadian action factor as a function of dimming for different light sources including halogen and dimmable 7W LED 3000K system were evaluated. As can be seen on figure 2 relative changes of circadian action factor are not varying much with reduced lamp power for fluorescent lamps, having even tendency to

increase with lower lighting sets due to increased effect of visible radiation from mercury lines. High stability is also characteristic to LED system. Dimming incandescent lamps cause significant changes in generated spectrum (lower temperature of tungsten) reducing colour temperature and circadian action factor.

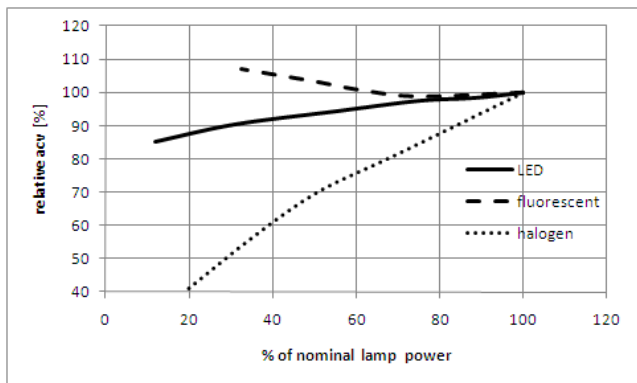


Fig.2. Circadian action factor as a function of dimming level

For lighting designers another important factor to consider is maintenance factor, so in case of a dynamic system it should not only include maintenance on luminous flux but also of the circadian factor. For that reason spectrum of tabular 18W fluorescent lamps with different coating layers declared for 160000 hours were monitored up to 8000 hours. It can be stated that circadian action factor reduces slower than drop of luminous flux but also varies a lot with applied phosphor. Reduction of blue content in the spectrum is more visible for higher colour temperatures containing more blue component but also significantly reduces with improved colour rendering coating (CRI>90) containing more components in the phosphor layer. High stability is observed for warm colours (2700K) characteristic of low values of circadian effect.

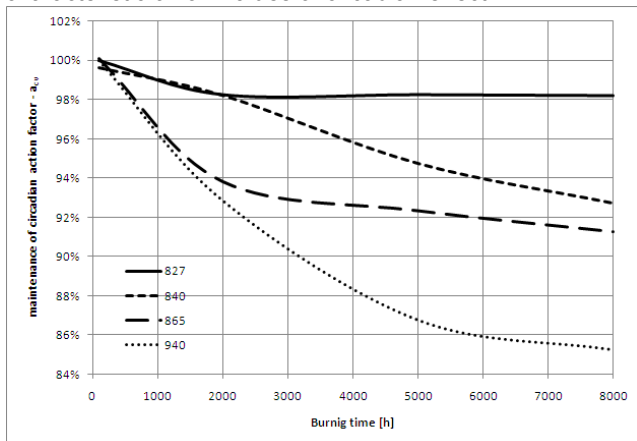


Fig.3. Circadian action factor as a function of lamp life

Temperature in the area of lamps also effects it's performance. Specially for fluorescent lamps controlling the mercury vapour pressure by the temperature of cold spot temperatures could be critical as can be assumed from the behaviour of luminous flux vs. temperature. In fact as can be see in table 2 and on figure 4 measured for 55W compact fluorescent lamp declared as 4000K circadian properties do not change much compare to light output with lower and higher temperatures which could be expected in standard indoor environment (inside the luminaire).

Table 2. Circadian action factor at different ambient temperature 4000K)

Ambient temp. [°C]	7.3	15.0	25.1	35.1	45.0	55.0
a_{cv} [-]	0.50	0.53	0.54	0.55	0.55	0.57

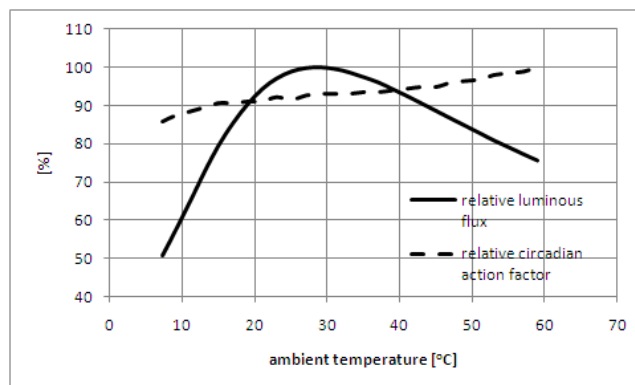


Fig.4. Circadian action factor as a function lamp ambient temperature (4000K)

Summary

Despite increasing popularity of LED systems "designed" for easy dimming and colour changes still at this stage fluorescent lamps are the most common solutions as main sources for lighting working spaces. At the same time recently developed knowledge related to effect of light on our health and well-being is starting to be applied mostly in combination with fluorescent lamp systems. Based on measurements results it can be concluded that these lamps are well suited for developing dynamic lighting systems as offering wide portfolio of colour temperatures, wattages and stability of discussed circadian properties. At this moment it is also no longer difficult to drive and dim fluorescent lamps. Still opposite to LED systems they can offer with comparably small installation space the same setup for high illuminance levels above 2000 lux and than could be dimmed to 200 lux which is also a desired factor for stimulating circadian cycle since the effects depends not only on circadian factor but also on lighting level. In addition stimulating circadian rhythm is connected with blue content in the spectrum which bring us to negative effect defined as Blue light hazard. However again as evaluated according IEC 62471 and reported [5] BLH is not a real threat for fluorescent lamps used for general lighting while distance from the eye reduces the risk to minimum.

REFERENCES

- [1] van Bommel W.: Dynamic lighting at work – both In level and colour, *2nd CIE Expert Symposium on Lighting and Health*, 62-67, 2006
- [2] Gall D.: Circadiane Lichtgrößen und deren messtechnische Ermittlung. *Licht* 54, 1292 – 1297, 2002.
- [3] Gall D., Bieske K.: Definition and measurement of circadian radiometric quantities. *CIE Symposium Light and Health*, 129-132, 2004
- [4] IEC 62471- 2006 : Photobiological safety of amps and lamp systems.
- [5] Pelko M.: UV-VIS photobiological safety of fluorescent lamps in UV-VIS range, *Lux junior* 2009

Authors: Konrad Domke, Marcin Pelko; Institute of Electrical Engineering and Electronics; Poznan University of Technology, ul. Piotrowo 3a, 60-965 Poznań
E-mail: konrad.domke@put.poznan.pl; marcin.pelko@xl.wp.pl

Spectrum analysis of the usefulness of light sources for building sun simulators

Abstract. The paper will present the spectrum analysis of different light sources. The comparison of this spectrums with the spectrum of solar radiation after passing the atmosphere will be made. The paper will present the requirements contained in norms for building the sun simulators both for collectors and PV cells modules examination. The restrictions of the sun simulators resulting from construction and materials of the examined elements will be described. Also the usefulness of the discussed light sources for building the sun simulators will be put on consideration.

Keywords: sun simulator, PV modules, collectors, spectrum of light sources.

Introduction

One of the factors defining radiation conditions is the solar spectrum. The spectrum at the Earth's surface is determined by the spectrum of solar radiation falling at the upper layers of the atmosphere and selective absorption of the radiation on its route to the surface of the Earth. The spectral distribution of solar radiation across the upper layer of the Earth's atmosphere is designated as AM0. The curve is similar to the spectral distribution of the black body with $T=5777K$. $AM(X)$ represents the spectrum of radiation with the optical path equal to X (rys.1) [7]. It can be determined with the formula:

$$(1) \quad AM(X) = \frac{I}{\sin \alpha_s} = \frac{I}{\cos \theta_z}$$

where: $AM(X)$ – Air Mass – optical air mass, α_s – solar elevation angle, θ_z – solar zenith angle.

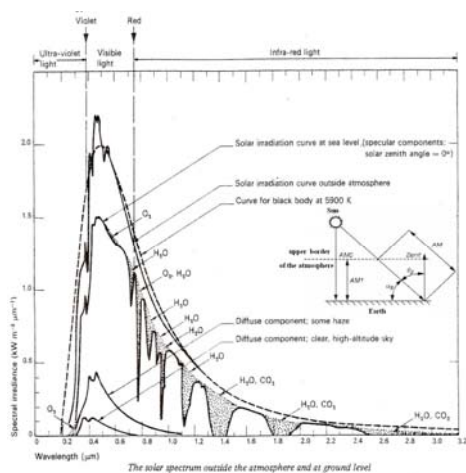


Fig.1. Solar radiation spectrum for AM0 and AM1.5 together with losses resulting from absorption by O_2 , O_3 , H_2O , CO_2 particles in the atmosphere [acc. to 1,7]

Fig. 1 illustrates how solar radiation spectrum changes depending on the radiation path through the atmosphere. For AM1, 1.5 and 2 above the wavelength of $\lambda=700$ nm, spectra are affected by losses arising due to absorption by O_2 , O_3 , H_2O and CO_2 particles present in the air.

Solar radiation simulators

A solar radiation simulator is a device designed for generating artificial sunlight. The basic aim underlying the design of solar radiation simulators is obtaining a source of radiation demonstrating parameters that are similar to radiation produced by the Sun. A perfect simulator should

model solar radiation in the laboratory scale, imitating as accurately as possible solar and atmospheric conditions occurring in nature. Simulators have applications in testing solar collectors and photovoltaic cells.

Normative requirements for simulators designed for solar collector testing are laid down in the Polish Standard [3].

Section 6.1.5.2 of the Standard specifies that simulators used in such tests should have the following performance parameters:

- Lamps should be able to generate the mean radiation intensity of at least 700 Wm^{-2} on the collector's aperture plane,
- The spectral distribution of simulated solar radiation should be approximately equivalent to the solar spectrum distribution for the optical air mass of 1.5.

Normative requirements applicable to simulators designed for testing photovoltaic cells are included in the Polish Standards [4,5]. Section 8 [4], in the item concerning measurements of spectral sensitivity of photovoltaic (PV) elements, specifies that the source of light used in tests should be a halogen lamp with the power rating of 1000 W and colour temperature of 3200 K, supplied from a stabilized power supply circuit. Section [5] defines the percentage agreement between energy from the simulator's UV, VIS and IR range and the spectrum of solar radiation. Appropriate simulator categories are established accordingly: A, B, C (Tables 1, 2) [5]. Simulator class is determined on the basis of the degree of similarity of radiation produced by the simulator and actual solar radiation.

Table1. Shares of different spectral ranges in total solar radiation

Wavelength range $\Delta\lambda$ [nm]	Percentage share of radiation in the $\Delta\lambda$ range
400-500	18.4%
500-600	19.9%
600-700	18.4%
700-800	14.9%
800-900	12.5%
900-1100	15.9%

Table 2. Classification of solar radiation simulators

Category	Spectral matching with all ranges listed in Table 1
A	0.75 – 1.25
B	0.6 – 1.4
C	0.4 – 2.0

Lamp spectra, sensitivity of PV cells and collectors

Radiation sources typically used in solar simulators include halogen lamps, metal halide lamps, xenon lamps

and sulphur lamps. Two lamp types (halogen and xenon) are discussed in the article. Fig. 2 and 3 show spectral distributions of these light sources. A 1000 W halogen lamp has a continuous radiation spectrum within the 200-1675 nm range.

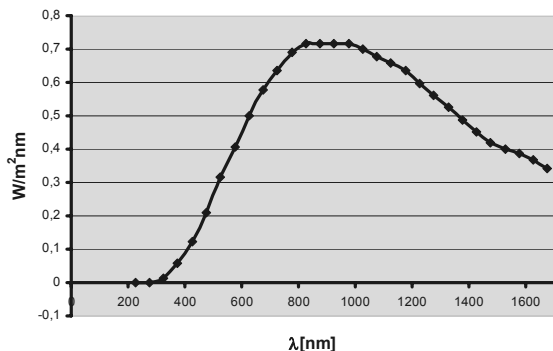


Fig.2. Spectrum recorded for a 1000 W halogen lamp [courtesy of Philips]

XBO xenon lamps have a colour temperature similar to that of daylight (ca. 6000 K) and a high colour rendering index (CRI) ($R_a > 95$). They demonstrate continuous radiation spectrum within the range of 250-2450 nm.

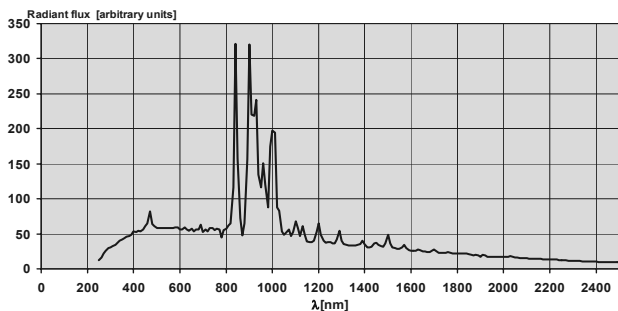


Fig.3. Typical Spectral Distribution XBO 1600 W OFR [Osram]

At present, the most frequently used PV cell types are: monocrystalline silicon (c-Si), polycrystalline silicon (mc-Si), amorphous silicon (a-Si) and photovoltaics based on chalcopyrites (CIS). First-generation photovoltaics (accounting for ca. 90% of total production worldwide) are made of crystalline silicon plates. Such monocrystals display excellent parameters and good efficiency. Second-generation PV cells (cheaper than first-generation photovoltaics) are thin-film cells made of amorphous silicon (a-S) or polycrystalline CIS layers (CuInSe_2). Second-generation PV cells have a lower efficiency. Multicrystalline structure (mc-Si) is a polycrystalline structure with large grain size (and slightly lower efficiency levels). The technology of amorphous silicon (a-Si) cells makes it possible to combine silicon with very cheap materials.

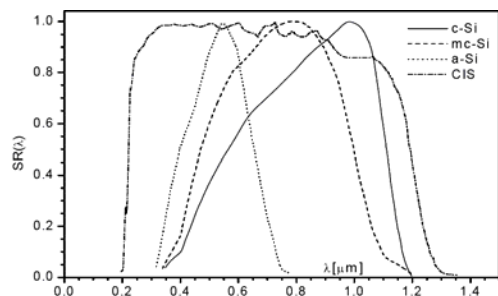


Fig.4. Typical spectral curves for PV module types: c-Si, mc-Si, a-Si, CIS [6]

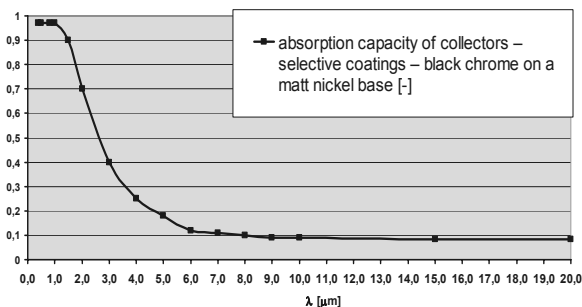


Fig.5. Standardized solar radiation spectrum compared with the spectrum of absorption sensitivity of a solar collector [acc. to 2]

In solar collectors (Fig. 5), currently applied special absorptive layers cover practically the entire range of infrared radiation [2]. Fig. 4 and 5 represent spectral sensitivity curves plotted for PV cells and solar collectors. As shown, spectral sensitivity of PV cells is accommodated within the 200-1300 nm range and solar collectors – within the 400-4000 nm range.

Monosource simulators

A comparison of the solar radiation spectrum (Fig. 1), sensitivity spectra of PV modules and solar collectors (Fig. 4) and the spectrum of radiation of potential sources (Fig. 2, 3) makes it possible to determine the effective radiation flux $\Phi_{eff,i-x}$ [W/m^2] for radiation generated by the Sun or other artificial sources of radiation for different PVs or collectors, using the formula:

$$(2) \quad \Phi_{eff,i-x} = \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} SR_x(\lambda) \cdot \phi_i(\lambda) d\lambda$$

where: $\phi_i(\lambda)$ stands for spectral distribution of radiation i – the artificial radiation source or the Sun, $SR(\lambda)$ – spectral sensitivity of receiver x (PV cell or collector).

The degree of match between radiation generated from an artificial source of one type and solar radiation for a given receiver was determined by calculating mean standard deviation σ using the formula:

$$(3) \quad \sigma_x = \frac{\sqrt{\sum_1^N (\Phi_{eff,S-x} - \Phi_{eff,sr-x} \cdot k_i)^2}}{N}$$

where: $\Phi_{eff,S-x}$ – effective level of solar radiation intensity for a specific receiver, $\Phi_{eff,sr-x}$ – effective levels of radiation intensity for the artificial source of radiation and the same receiver, N – number of values considered and k_i – coefficient adjusting the power of the artificial source of radiation for the most effective matching of power and spectrum of the radiation source and the Sun – for a specific receiver: $i=(ha)$ – for the halogen source, $i=(xe)$ – for the xenon source.

Table 3. Power matching for the halogen lamp.

Material	Power 1000 W	Power [W]	Mean sq. deviation
	Mean sq. deviation		
c-Si	9.75	1050	9.73
mc-Si	12.67	1400	12.41
a-Si	27.37	3500	13.95
CIS	17.79	1300	17.24
black chrome*	14.78	1000	14.78

* surface made of matt nickel

Table 4. Power matching for the xenon lamp.

Material	Power 1000 W	Power [W]	Mean sq. deviation
	Mean sq. deviation		
c-Si	8.05	700	4.65
mc-Si	7.24	800	4.70
a-Si	5.42	900	3.84
CIS	7.27	850	5.62
black chrome*	13.56	650	9.32

* surface made of black nickel

Tables 3 and 4 list results illustrating the matching of power of the sun simulator lamp to an appropriate receiver. Other representations (Fig. 7-11) show spectral distributions of effective radiation of the artificial radiation source relative to sun radiation, resulting from the matching.

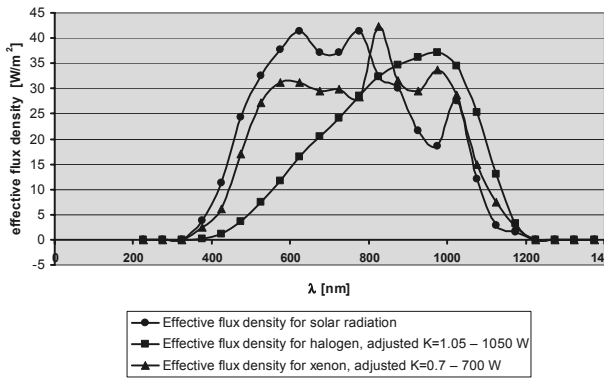


Fig.7. Effective flux density for the system: c-Si – source for lamps: halogen 1050 W and xenon 700 W

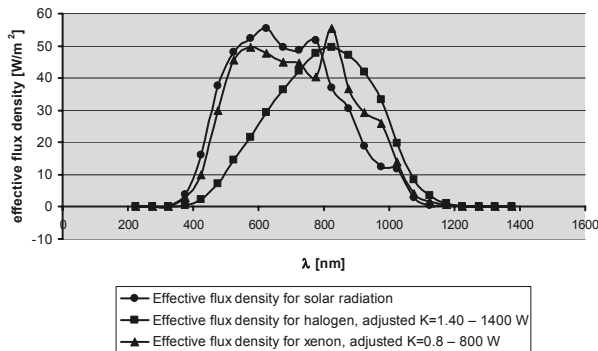


Fig.8. Effective flux density for the system: mc-Si – source for lamps: halogen 1400 W and xenon 800 W

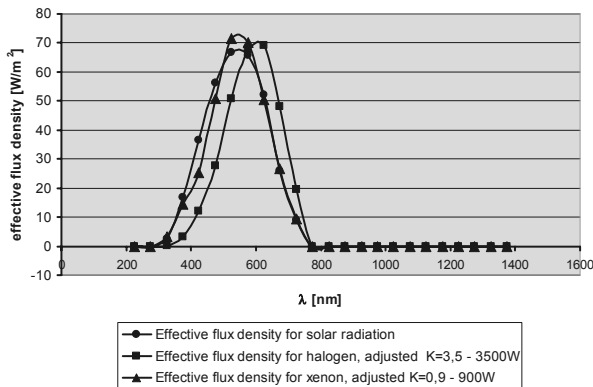


Fig.9. Effective flux density for the system: a-Si – source for lamps: halogen 3500 W and xenon 900 W

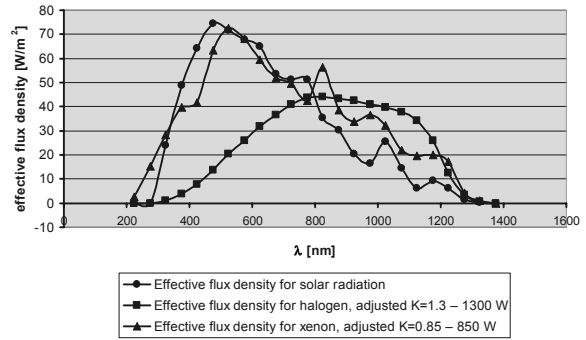


Fig.10. Effective flux density for the system: CIS – source for lamps: halogen 1300 W and xenon 850 W

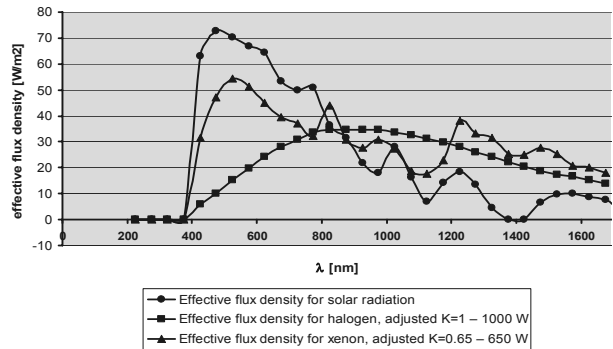


Fig.11. Effective flux density for the system: collector – source, for lamps: halogen 1000 W and xenon 650 W

Multi-source simulators

The study of the fit effects were also carried out for radiation simulator equipped with two different types of radiation sources. For such a system standard deviation was determined using the formula:

$$(4) \quad \sigma_x = \frac{\sqrt{\sum_l^N \left(\Phi_{eff, S-x} - \sum_j \Phi_{eff, srj-x} \cdot k_{ij} \right)^2}}{N}$$

where index j represents consecutive types of radiation sources.

The calculations for radiation matching of the two-sources simulator (xenon + halogen lamp) were made with taking into account: the entire spectral range of the receiver sensitivity, but only in the range of the VIS and IR.

Final results of the calculations are presented in Table 5.

Table 5. The standard deviations for the power matched two – source simulators

range	source	c-Si	mc-Si	a-Si	CIS	black chrome*
VIS+IR	halogen	9,73	12,41	13,95	17,24	14,78
	xenon	4,65	4,70	3,84	5,62	9,32
	both	5,00	5,01	4,04	6,08	9,66
VIS	halogen	12,30	17,48	16,98	31,37	30,79
	xenon	2,13	3,01	4,78	7,00	6,80
	both	2,05	2,95	4,78	6,97	6,82
IR	halogen	5,12	4,29	0,00	4,42	4,67
	xenon	3,06	2,07	0,00	2,68	5,50
	both	3,14	2,09	0,00	2,66	5,28

* surface made of black nickel

Values indicated in Table 5 can be obtained by proper selection of the power of the applied lamps. Selection of the power is made at the same time either once for the scope of the VIS + IR or separately for a range of VIS and IR range. For the cases marked in Table 5 the appropriate power distribution between halogen and xenon lamp is illustrated in Table 6. Any other combination of the radiations of xenon and halogen lamps will show worse adjustment (larger standard deviation) comparing to the modelled solar radiation.

Table 6. Division of power with proper selected sources

range	source	c-Si	mc-Si	a-Si	CIS	black chrome*
VIS+IR	halogen	0	0	0	0	0
	xenon	700	800	900	850	650
VIS	halogen	250	20	10	20	0
	xenon	800	900	900	930	930
IR	halogen	0	0	0	20	100
	xenon	550	550	0	520	300

* surface made of black nickel

Sample distributions of flux density of the effective radiation simulator suited for the tested c-Si photovoltaic cells compared with the solar radiation are illustrated in Figures 12-14.

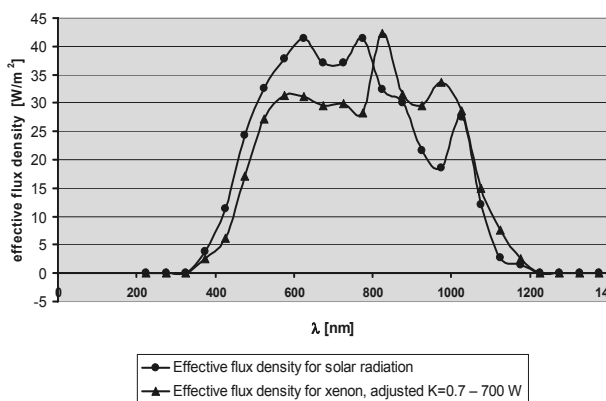


Fig. 12. Effective flux density for the system: c-Si – source for xenon lamp 700W for the full range of sensitivity of photovoltaic cell

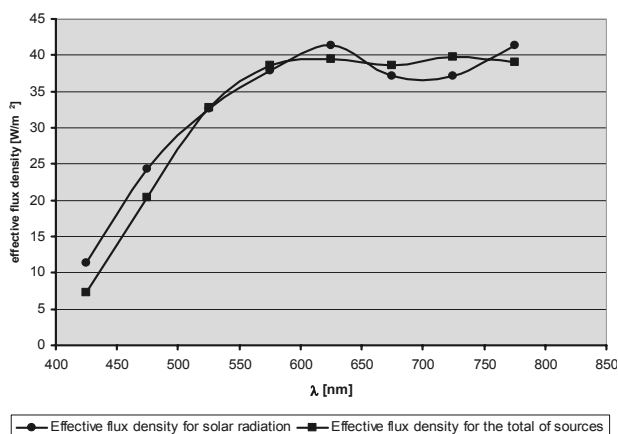


Fig. 14. Effective flux density for the system: c-Si – source: for xenon lamp 800W and halogen lamp 250W for the VIS range

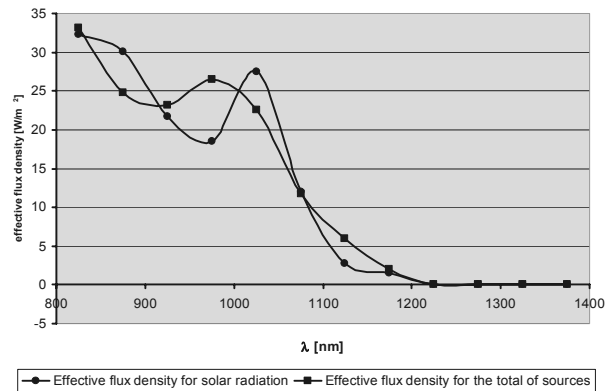


Fig. 13. Effective flux density for the system: c-Si – source: for xenon lamp 550W for the IR range

Conclusions

1. The measurement of the total volume (for the entire sensitivity range of the receiver: the collector, photovoltaic cell) of the highest flux of effective radiation can be obtained with the simulators with xenon lamps. Regulation of the power of the lamps is required to adapt the flux to the sensitivity of a particular type of the receiver. For some receivers similar situation also exists for measuring the infrared radiation.
2. In measurements of characteristic quantities of photovoltaic cells in the visible range it is preferable to use of simulators with xenon and halogen lamps with the independent power regulation for every lamp.
3. The ideal simulator designed for testing various sets of solar radiation in different ranges of sensitivity of the receiver should be equipped with two different types of radiation sources (such as xenon and halogen lamps) with separate regulation of their power.

REFERENCES

- [1] Palz W.: *Solar electricity*, Butterworths, Unesco, 1978
- [2] Pluta Z.: *Podstawy teoretyczne fototermicznej konwersji energii słonecznej*, Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa, 2000
- [3] PN – EN 12975 – 2 Słoneczne systemy grzewcze i ich elementy – Kolektory słoneczne – Część 2: Metodyka badań.
- [4] PN – EN 60904 – 8 Elementy fotowoltaiczne Część 8: Pomiar czułości widmowej elementu fotowoltaicznego (PV)
- [5] PN – EN 60904 – 9 Elementy fotowoltaiczne Część 9: Wymagania dla symulatorów promieniowania słonecznego
- [6] Rodziewicz T., Zdanowicz T., Ząbkowska-Wacławek M. Performance of PV modules fabricated in different technologies at strongly changeable insolation conditions <http://156.17.13.7/main.htm> [access March 2010]
- [7] Sarniak M.: *Podstawy fotowoltaiki*, Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa, 2008

Authors: dr hab. inż. Konrad Domke prof. PP, E-mail: konrad.domke@put.poznan.pl; mgr inż. Joanna Ratajczak, E-mail: joanna.ratajczak_pp@poczta.onet.pl; Politechnika Poznańska, Instytut Elektrotechniki i Elektroniki Przemysłowej, Zakład Techniki Świetlnej i Elektrotermii, ul. Piotrowo 3a, 60-965 Poznań,

Ergonomics and system approach to the light climate on workplaces

Abstract. This paper is about definition of complex light climate requirements in the work places from ergonomic point of view. Mutual interactions of each component of work system are showed and described in algorithm scheme. Manager approaches to the solution of optimal light climate on the workplaces are stressed.

Keywords: light climate, ergonomics, system approach.

Introduction

Ergonomics is interdisciplinary science that deals about optimization of human activity in the work process. Within ergonomics system, multiple subsystems are acting to the final fulfillment of the work task by the worker in the given working environment. Partial component of working environment is also influence of the non-ionization radiation, which produces light climate on the workplace. Light in its natural, artificial or combined form is very important for health, comfort and safety of the worker during fulfillment of work tasks. Projection process, implementation and operation of workplaces can not be linked just with fulfillment of technical requirements to the light as stable state. It is dynamic process, mainly in the stage of operation (e.g. production and services) that changes in the time.

The goal of this article is to define ergonomics subsystem of the light climate on the workplace with stress to the manager approaches.

Reasons for operation assessment of the light climate on the workplaces

Solving of the light conditions on the workplaces in the various stages of workplace lifecycle is qualified by changes. Causes of these changes in the stage of operation (after final building approval) are following:

1. Differences in compare with projected solution occur (change of the construction components, colors, type of the light sources, etc.)
2. There is a change of interior on the workplaces (change of interior equipment, furnishing – shape, shielding, color, layout of the workplaces)
3. Changes made in the exterior can influence amount of daylight in the interior (surrounding buildings in the area, clerestory, etc.)
4. Light climate changes are also connected with process control of facility management – building administration, maintenance, cleanness, etc.
5. Changes related to worker, changes of work tasks without appropriate modification in the light climate, flexible production
6. Changes of the worker itself (sensorial changes related to the worker's age, health etc.)
7. Not respecting of individual characteristics of the worker and shielding by its own body – differences in the light distribution requirements for right and left handed workers.

Above mentioned changes and their impacts to the light climate of the workplace are often solved just in the projecting stage and very often there is no verification of the

real values (e.g. measurements of daylight). In order to create general system of light climate control on the workplace, following algorithm has been proposed.

Algorithm of ergonomic light climate subsystem of the workplace

To create general algorithm of ergonomic light climate subsystem in the company, individual approach to the each work place needs have to be applied. This means that every work place and work task in relation to the worker have to fulfill individual ergonomic requirements. Mathematically ergonomic subsystem can be expressed as sum of each partial subsystem.

$$(1) \text{ESS}_{\text{LC,F}} = \Sigma \text{ESS}_{\text{LC,WE}} = \Sigma \Sigma \text{ESS}_{\text{LC,WP}}$$

where $\text{ESS}_{\text{LC,F}}$ – is overall ergonomic light climate subsystem of the company, $\text{ESS}_{\text{LC,WE}}$ - ergonomic light climate subsystem of the working environment, $\text{ESS}_{\text{LC,WP}}$ - ergonomic light climate subsystem of the workplace.

Principle of individualization could in practice bring complexity and high costs. Within simplification of operation and light climate on the workplace it is necessary to:

- find common, joint solutions for similar groups of work tasks (grade of work) and sort them on one workplace if it can be technologically applicable. On such workplaces it is appropriate to provide light e.g. by biodynamic systems ,
- allow individual solutions on the workplace (additional lighting, shielding, regulation of light intensity, etc.),
- create areas for resting also from visual aspect, it means there, where work task is carried out under artificial light, resting should be under daylight conditions. In other words, suitable is change of the light with different spectrums,
- it is suitable for visual heavy works to avoid sensorial fatigue by use various work techniques (job rotation, job enrichment) and change or rotate workplaces,
- secure visual contact not just from inside but into exterior, where is it possible.



Fig.1. An example of work space shielding by the mass of diagnostic machine

Proposed algorithm on the Fig. 2 is oriented to the human – worker as dominant part of the work system. Subsystem of the light climate should create conditions for optimal fulfillment of the work tasks by employee.

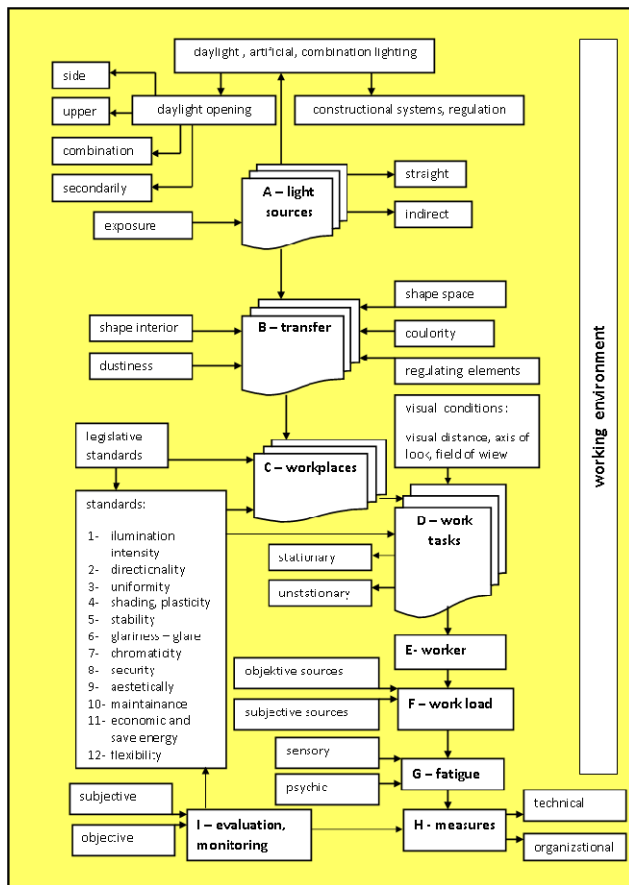


Fig.2. Example of general algorithm of light climate subsystem in workplace [1 ,2]

Conclusion

The need of continual monitoring and assessment of the light climate is stressed in this system approach by use of measurements or by assessment of the worker's health condition. Assessment has to be carried out after each 7 above mentioned changes. During periods in-between it is suitable to monitor eyesight of the workers by doctor and evaluate sensorial load by use of questioners – subjective assessment

Mentioned ergonomic subsystem should be examined also from worker position and movements towards light sources to ensure that shielding of the light is not happening during the work task (by own body or technology).

Manager approaches in this area should be focused on:

- inspection of technological state of transparent constructions and light systems,
- preventive maintenance of the light systems and cleanness of the light systems, windows and work places,
- informing of the workers with sensorial work risks,
- continual monitoring of the light climate quality and taking measurements for its optimization and save energy.[3, 4]

The outcome effect should be satisfaction of the employees with the work environment and achievement of required work tasks with acceptable health risks.

Mentioned system has to be elaborated to the specific conditions and should be implemented into ISO 9000, 14000 and 18000 quality systems within integral management systems in the particular company.

References

- [1] Chundela L., Ergonomie, ČVUT Praha (2005)
- [2] Flimel M., Systémové hodnotenie osvetlenia pracovísk denným svetlom, *Inovace* (2009) nr 3, 22 - 25
- [3] Gašparovský D., Smola A., Janiga P., Lieskovská L., Implementácia energetickej certifikácie osvetlenia v praxi, *Light Svetlo* 2009 (2009), 224 – 234
- [4] Darula S., Gašparovský D., Denné osvetlenie v budovách: Posúdenie podľa STN 73 0580 a STN EN 15 193., *Projekt a stavba* 1-2, (2008), 27 -34.

Author: asoc.prof, Ing. Marián Flimel, PhD.

Faculty of Manufacturing Technologies of Technical University of Košice with a seat in Prešov, Bayerova 1, 080 01 Prešov, Slovakia, e-mail: marian.flimel@tuke.sk

LED's spectral power distribution under different condition of operating temperature and driving current

Streszczenie. Jakość światła emitowanego przez LED-y zależy od wielu czynników. Największy wpływ mają temperatura oraz natężenie prądu pracy. W zastosowaniach oświetleniowych jednym z najważniejszych parametrów jest utrzymanie stałego strumienia świetlnego oraz barwy emitowanego światła. W artykule przedstawione zostały dane pomiarowe komercyjnie dostępnych diod elektroluminescencyjnych. Na podstawie tych danych przeanalizowana została możliwość uzyskiwania z LED światła o stałym strumieniu i barwie w zmieniającej się temperaturze otoczenia. (Analiza właściwości spektralnych LEDów z zależności od temperatury i natężenia ich prądu pracy)

Abstract. The quality of light emitted by LEDs depends on many factors. The most significant are ambient temperature and driving current. In lighting application the most important is to have light with constant value of luminous flux and color. In this paper some data taken from measurement of commercially available LEDs will be presented. Based on those data it is possible to make an analysis which can be helpful with getting constant output of LED luminous flux.

Słowa kluczowe: pomiary promieniowania optycznego, diody elektroluminescencyjne, rozkład widmowy mocy promieniowania optycznego, zależności temperaturowe.

Keywords: optical radiation measurement, light emitting diodes, spectral power distributions, temperature dependence.

Introduction [1]

The light-emitting diodes (LEDs) were discovered by British radio engineer Henry Joseph Round completely by accident. While investigating the electrical properties of a metal semiconductor SiC he witnessed the light emission from a solid-state material driven by an electrical current. Round reported this "curious phenomenon" of electroluminescence in 1907. Right now we can see the scientific and commercial significance of such a discovery, but the phenomenon of electroluminescence was forgotten for several years. However, in 1923 it was rediscovered by Russian scientist Oleg Vladimirovich Lossev. In 1924 he took the first photograph of electroluminescence from an LED and he carried out detailed measurements of the diode's current-voltage characteristics. Also he showed that the emission could be switched on and off very rapidly. In recognition of his accomplishments he was awarded the PhD degree in 1938. Lossev's was the first who did detailed study of semiconductor electroluminescence but he did not make a correct interpretation physical phenomena of light emission emitted by this kind of diode. The first correct interpretation of light emission from a p-n junction was provided by Kurt Lehovec and colleagues at the Signal Corps Engineering Laboratories in New Jersey in 1951.

The first commercial LED was introduced to the world only about 40 years ago. Since then, the performance of LEDs has been improved continuously with a breathtaking acceleration of progress in the last decade. These advances were kick started by replacing SiC with more efficient materials based on III-V compounds. Key milestones include the demonstration of single-crystal GaAs (Welker, 1952), which provides the ideal substrate for many devices. This platform was used for the initial development of GaAs LEDs. The first visible LEDs based on III-V materials were built in 1955 by Wolff and colleagues at the Signal Corps Engineering Laboratories. This orange-emitting GaP device generated light through the impact ionization of carriers at the metal-semiconductor junction. LED progress followed through the development of new red, yellow, orange and green emitting materials in the 1960s and 70s, which were made from III-V compounds, such as GaPAs, nitrogen-doped GaP, nitrogen-doped

GaPAs, and zinc and oxygen doped GaP. These LEDs were far more efficient than Wolff's metal-semiconductor structure but they still fall well short of the performance of today's high-power LEDs, which are based on AlGaAs and AlGaInP. But still there was lack of blue LEDs.

In 1969 Paul Maruska made a single-crystalline GaN film. However, these films were unintentionally n-doped and the addition of p-type dopant only produced insulating material. The lack of p-doped material led Maruska's team to build metal-insulator-semiconductor diodes, but such devices are inevitably inefficient and this project was abandoned in the early 1970s. However, in 1989 Isamu Akasaki and co-workers from Nagoya in Japan produced the first p-type doping and conductivity in GaN. An LED with 1% efficiency followed three years later, but this was soon surpassed by Shuji Nakamura from Nichia, who managed to fabricate blue and green GaInN double-heterostructure LEDs that were 10 times as efficient. Further improvements have continued to this day.

Current interest in single-color LEDs is overshadowed by their white cousins. One approach to producing white light involves the mixing of emissions from several different-colored LEDs. However, the dominant commercial method that was pioneered by Nichia, which is simpler and produces a high color rendering index, involves a yellow phosphor and a blue LED chip. The blue-emitting chip excites the yellow-emitting phosphor and white light is created from mixing these two sources.

Scientists and engineers that strive to control and tune all of the properties of an LED have the unprecedented challenge of constructing light sources that can be controlled in terms of spectrum, polarization, color temperature, temporal modulation and spatial emission pattern.

The physical mechanism by which semiconductor LEDs emit light [2]

The spontaneous recombination of electron-hole pairs and simultaneous emission of photons is the physical mechanism by which semiconductor LEDs emit light is. Spontaneous recombination has certain characteristics that determine the optical properties of LEDs. In an electron-hole recombination process is electrons in the conduction

band and holes in the valence band are assumed to have the parabolic dispersion relations.

$$(1) \quad E = E_C + \frac{\left(\frac{h}{2\pi}\right)^2 k^2}{2m_e^*} \quad (\text{for electrons})$$

and

$$(2) \quad E = E_V - \frac{\left(\frac{h}{2\pi}\right)^2 k^2}{2m_h^*} \quad (\text{for holes})$$

where m_e^* and m_h^* are the electron and hole effective masses, h is Planck's constant, k is the carrier wave number, and E_V and E_C are the valence and conduction band edges, respectively.

The requirement of energy and momentum conservation leads to further insight into the radiative recombination mechanism. It follows from the Boltzmann distribution that electrons and holes have an average kinetic energy of kT . Energy conservation requires that the photon energy is given by the difference between the electron energy, E_e and the hole energy, E_h , i.e.

$$(3) \quad h\nu = E_e - E_h \approx E_g$$

The photon energy is approximately equal to the bandgap energy, E_g , if the thermal energy is small compared with the bandgap energy $kT \ll E_g$. Thus the desired emission wavelength of an LED can be attained by choosing a semiconductor material with an appropriate bandgap energy. It is helpful to compare the average carrier momentum with the photon momentum. A carrier with kinetic energy kT and effective mass m^* has the momentum

$$(4) \quad p = m^*v = \sqrt{2m^* \frac{1}{2} m^* v^2} = \sqrt{2m^* kT}$$

The momentum of a photon with energy E_g can be derived from the de Broglie relation

$$(5) \quad p = \frac{h}{2\pi} k = \frac{h\nu}{c} = \frac{E_g}{c}$$

Calculation of the carrier momentum (using Eq. 4) and the photon momentum (using Eq. 5) yields that the carrier momentum is orders of magnitude larger than the photon momentum. Therefore the electron momentum cannot change significantly during the transition from the conduction to the valence band. The transitions are therefore "vertical" i.e. electrons only recombine with holes that have the same momentum or k value.

Using the requirement that electron and hole moment are the same, the photon energy can be written as the joint dispersion relation:

$$(6) \quad E = E_C + \frac{\left(\frac{h}{2\pi}\right)^2 k^2}{2m_e^*} - E_V + \frac{\left(\frac{h}{2\pi}\right)^2 k^2}{2m_h^*} = E_g + \frac{\left(\frac{h}{2\pi}\right)^2 k^2}{2m_r^*}$$

where m_r is the reduced mass given by:

$$(7) \quad \frac{1}{m_r^*} = \frac{1}{m_e^*} + \frac{1}{m_h^*}$$

Using the joint dispersion relation, the joint density of states can be calculated as:

$$(8) \quad \rho(E) = \frac{1}{2\pi^2} \left(\frac{2m_r^*}{(h/2\pi)^2} \right)^{3/2} \sqrt{E - E_g}$$

The distribution of carriers in the allowed bands is given by the Boltzmann distribution:

$$(9) \quad f_B(E) = \exp\left(-\frac{E}{kT}\right)$$

The emission intensity as a function of energy is proportional to the product of Eqs. (8) and (9),

$$(10) \quad I(E) \propto \sqrt{E - E_g} \exp\left(-\frac{E}{kT}\right)$$

The maximum emission intensity occurs at:

$$(11) \quad E = E_g + \frac{1}{2}kT$$

LED's photometric parameters under different condition of operating temperature

All LEDs photometric parameters could be derived based on measured SPDs. The LED spectral power distribution depends on many factors but most important is drive current and junction temperature T_j . As we can see based on Eqs.

(10) and (11) SPDs of an LED depend on junction temperature T_j . Also according to manufacturer data of high power LEDs, reported in Cree® XLamp® Long-Term Lumen Maintenance [3] there is additional factor that affects the rate of spectral power distribution and lumen depreciation for LED. This is the temperature T_A of the air surrounding the LED. For this reason is possible to say that LEDs SPDs depends on the operating temperature. The term operating temperature means that we take under consideration T_j and T_A .

All LEDs photometric parameters were measured according to recommendations given by CIE 127:2007 document. Figure (1) and (2) show the LEDs luminous flux relative value versus relative value of drive current. The measurements were taken at constant operating temperature. Under consideration [4] (Table. 1) were taken LEDs from blue to red.

Table 1. The LEDs taken under consideration

No.	λ_p [nm]	Part number
1	420.0	LEDREPS UVA-15N20K
2	472.5	SunLED Corporation XLBB12WH
3	504.4	Roithner Lasertechnik 383-2UBGC
4	587.7	LEDTRONICS INC, L200CY5B
5	633.9	LEDTRONICS INC, L200CWR3KH-30D
6	715.0	Roithner Lasertechnik ELD-720-524

The LEDs luminous flux relative value versus temperature are shown on Fig. (3) and (4). Figure 5 shows the LEDs spectral shift versus relative value of drive current at constant operating temperature. The biggest peak shift was observed for SunLED Corporation XLBB12WH blue and Roithner Lasertechnik 383-2UBGC green-blue LED. Figures (6) and (7) show dependence of the value of LEDs dominant wavelength versus temperature.

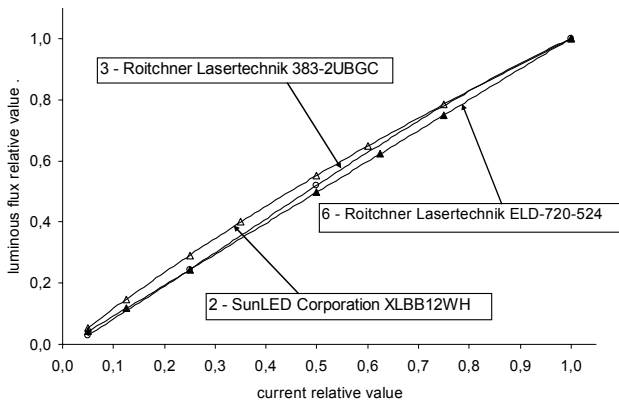


Fig. 1. The LEDs luminous flux relative value versus relative value of drive current [4]

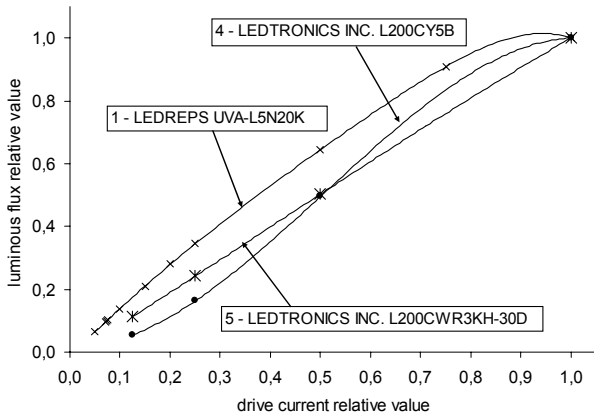


Fig. 2. The LEDs luminous flux relative value versus relative value of drive current [4]

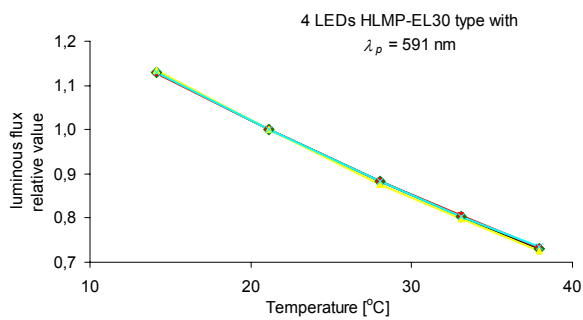


Fig. 3. The LED luminous flux relative value versus temperature [4]

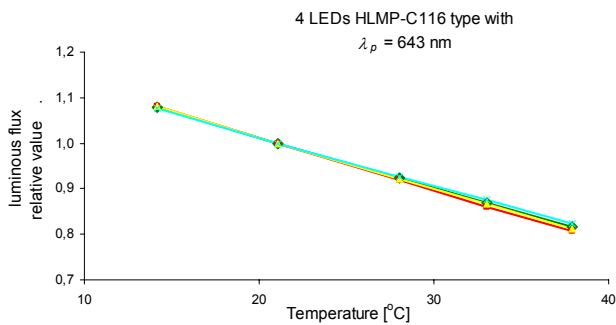


Fig. 4. The LED luminous flux relative value versus temperature [4]

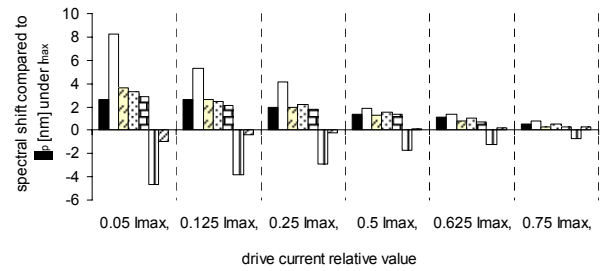


Fig. 5. The LEDs spectral shift versus relative value of drive current at constant temperature [4]

Dominant wavelength vs. temperature

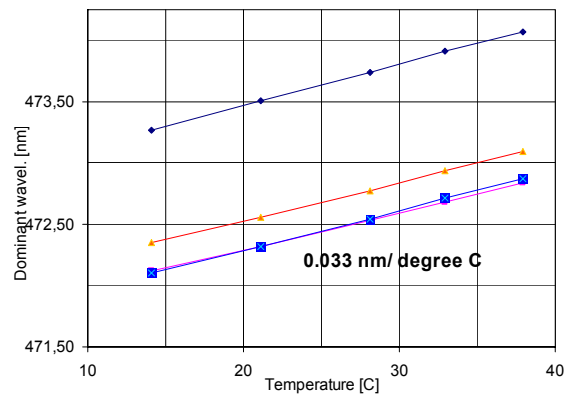


Fig. 6. The value of dominant wavelength of blue LED versus temperature

Dominant wavelength vs. temperature

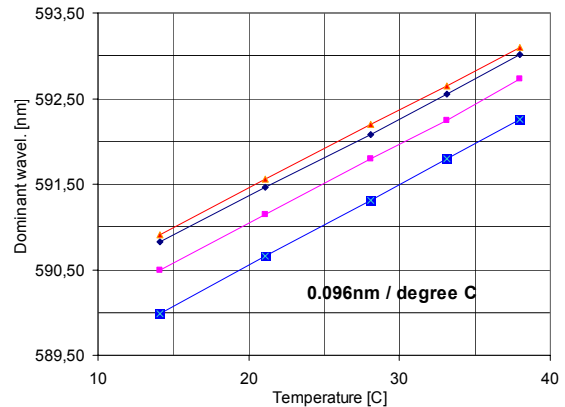


Fig. 7. The value of dominant wavelength of yellow LED versus temperature

The work was done in Bialystok University of Technology under grant S/WE/2/08.

REFERENCES

- [1] E. Fred Schubert and J.K. Kim, 100 years of LEDs, *Compound Semiconductors* (2007)
- [2] E. Fred Schubert, *Light-Emitting Diodes*, Cambridge University Press (2006)
- [3] Cree® XLamp® Long-Term Lumen Maintenance (2009)
- [4] I. Fryc, *Zrodlo swiatla o ksztaltowanej charakterystyce widmowej*, Bialystok University Press (2006)

Author: Irena Fryc, PhD, DsC, Bialystok University of Technology, Faculty of Electrical Engineering, Department of Optical Radiation, Wiejska 45d, 15-351 Bialystok, E-mail: fryc@pb.edu.pl;

EHB LiteCalc – a software tools for energy certification of lighting

Abstract. To support energy certification of lighting, a software tool EHB LiteCalc has been created, now already in version 3.0 with new features. Methodical calculation is based on the european standard EN 15193, however, completed by Slovak national methodology and legislative requirements valid on the territory of Slovak Republic. This version is prepared with several language mutations, changing the language also national calculation methods are used. To use this software in other countries is possible, besides general normative methodology also relevant national calculation methodologies are implemented. Localisation of the software is currently under development. The paper brings information on functions and features of the software and on general level it also discusses the creation of software for the field of EPBD including methodical problems and their solutions.

Keywords: EPBD, energy certification, lighting energy

Introduction

European Parliament and the Council adopted the Directive on Energy Performance of Buildings 2002/91/EC on December 16, 2002. Member countries was obliged to implement this important directive into national legislation not later than January 4, 2006. National Parliament of the Slovak Republic fulfilled its obligation by release of the Act No. 555/2005 on Energy Performance of Buildings, prepared by the Ministry of Construction and Regional Development of SR, under tight collaboration with experts responsible for individual energy systems concerned (1. thermal protection, 2. DHW/heating, 3. air conditioning, 4. electrical installations and built-in lighting systems). Requirements for lighting and issues relevant to lighting have been prepared by authors of this paper. The Act 555/2005, valid since January 1, 2006, came in force 1st January 2008. Basic methodological principles, having force of legislation, are given by the Ordinance No. 625/2006. Upon practical experience and identified problems and difficulties with certification, this document has been updated this year as Ordinance No. 311/2009 and is coming in force since October 1, 2009.

It is necessary to point out that the directive mentioned above can be seen as one element of the chain of documents oriented towards energy savings and climate protection, with focus to reduce greenhouse gases and to fulfil Kyoto criteria as the final effect. Following these aims, main goal of the directive is to improve the energy efficiency of buildings. Four main areas have been identified, where lighting systems play an important role – as in lighting there is a huge energy saving potential expected. While other sub-systems concentrate mainly on losses, lighting is a source of saving potential due to very fast technological development.

Based upon legislative documents, which give an overall framework, a set of technical standards have been also elaborated, translated, processed and released. For the field of lighting, undoubtedly the most important standard is: EN 15 193:2007 Energy performance of buildings — Energy requirements for lighting. This standard was put into usage in the territory of Slovak Republic as STN EN 15 193 in April 2008, interesting to say, 3 months after energy certification of buildings was launched from 1st of January. Delay is caused by elaboration of this standard on EN level.

Energy certification is compulsory for these building categories: offices and administrative buildings, education buildings, hospitals, hotels, restaurants, sports facilities, wholesale and retail services and manufacturing factories.

Energy certification process ends with graphical interpretation of results in a form of an energy label (see Fig.1). In Slovak Republic, energy classes are defined also for partial energy „consumers“, lighting as one of them.

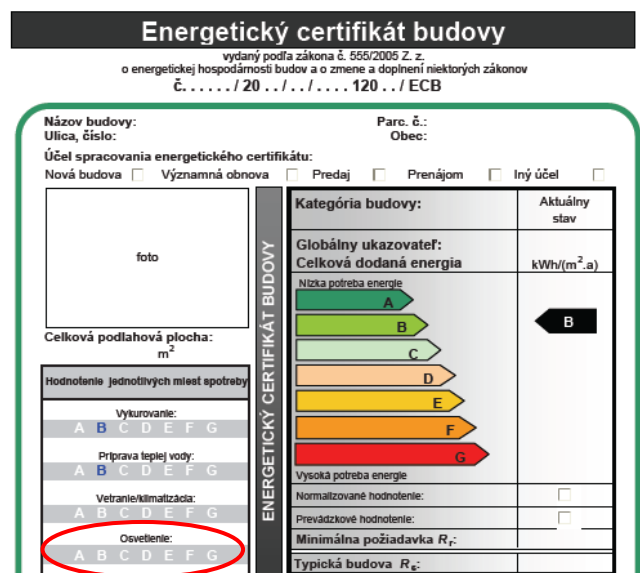


Fig.1. Energy label sample for a building (upper part), separate scale for lighting is highlighted by ellipse

Methodological background

The European Standard EN 15 193 was devised to establish conventions and procedures for the estimation of energy requirements of lighting in buildings, and to give a methodology for a numeric indicator of energy performance of buildings used for certification purposes.. It also provides guidance on the establishment of notional limits for lighting energy derived from reference schemes.

The standard can be used for existing buildings and for the design of new or renovated buildings. It also provides reference schemes to base the targets for energy allocated for lighting usage and also provides a methodology for the calculation of instantaneous lighting energy use for the estimation of the total energy performance of the building.

Having the correct lighting standard in buildings is of paramount importance and the convention and procedures assume that the designed and installed lighting scheme conforms to good lighting practices. For new installations the design should be in accordance with EN 12464-1.

However, in Slovak Republic this requirement is rarely fulfilled what causes serious problems in certification process. It seems that a methodology is needed to assess lighting systems not conforming to good lighting practice, including older lighting installations.

The standard offers three methods for estimation of lighting energy consumption:

1. Quick method: estimation of annual lighting energy consumption for typical building types, using standard values of parameters influencing to diminishing the installed lighting power. Quick method is intended for lighting design, not certification as many misunderstood.

2. Comprehensive method: the comprehensive method, intended for certification, allows for a more accurate determination of the lighting energy estimations for different periods (e.g. annual or monthly). This method may be used for any periods and for any locations provided that the full estimation of occupancy and daylight availability is predicted.

3. Lighting energy metering: this auxiliary method can bring the most accurate information on lighting energy consumption. However, this method is not supported by legislation, meets serious technical complications and requires long-term monitoring (one year minimum). So it can be used for continuous non-authorized lighting energy monitoring in order to collect information and propose energy rationalisation.

Energy consumption related to building area is defined as a Lighting Energy Numeric Indicator (LENI), which can be established using the following equation:

$$(1) \quad LENI = \frac{W}{A} \quad [\text{kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{year})]$$

where

W is the total annual energy used for lighting [kWh/year]
 A is the total useful floor area of the building [m²]

The total annual energy used for lighting consist of two parts:

$$(2) \quad W = W_L + W_P \quad [\text{kWh}]$$

where the lighting energy required to fulfil the illumination function and purpose in the building (W_L) shall be established using the following equation:

$$(3) \quad W_L = P_n F_C F_O (t_D F_D + t_N) \quad [\text{kWh}]$$

and estimate of the parasitic energy (W_P) required to provide charging energy for emergency lighting and for standby energy for lighting controls in the building shall be established using the following equation:

$$(4) \quad W_P = P_{PC} (t_Y - t_D - t_N) + P_{em} t_{em} \quad [\text{kWh}]$$

where

P_n installed power of the lighting system
 P_{PC} total installed parasitic power of the controls
 P_{em} total installed charging power of the emergency lighting luminaires
 F_D daylight dependency factor
 F_O occupancy dependency factor
 F_C constant illuminance factor
 t_D daylight time usage
 t_N non-daylight time usage

t_Y standard year time
 t_{em} charging time of emergency luminaires

Implementation of the methodology into software calculation tools

Complicatensness of methodology do not allow calculation other than by means of computer tools. Note, that all the procedure must be performed for each individual room. So parallel to the preparation and improvement of the methodology, also supporting calculation tools are being elaborated. Due to differences between national conditions, mainly country specific software is being created, however, there are rumours that common software is under preparation. Philosophy of these is based on idea of normative methodological core and adjustment of national databases and conditions (like e.g. climatotechnical data, energy efficiency classification etc.).

Another question is if there should be a common software for all sub-systems or three-four independent programs for experts active in their field. It seems, and first experience give a clear evidence of that, that independently acting experts have just a little chance to meet using one tool, what is unpractical and time consuming. So independent software are being prepared instead. In Slovak Republic the state of the art follows this philosophy and it is supposed to possibly tie these programs together in future via generally agreed data exchange format (first it just have to be proposed, some R&D work is still needed here).

Authorisation of software is also a matter of decision. The question is, if there should be a body responsible for verification of commercially manufactured software or there will be no guarantee for the software usage. Current decisions made in Slovakia follow the principle of liberal market without authorisation. It means, in fact, that software must be assumed as a tool for certificants, while certificants are fully responsible for they results. It practically means just one – certificants must be provided for all the preliminary results, they need to have an option to watch, check, inspect and modify every single result throughout the calculation procedure. And software have to allow this.

Up to now, for the field of lighting there are some software aids for certificants, made by TYPHOON (2007-2010):

EHB LiteCalc – core calculation tool for energy certification

EHB QuickCalc – a quick method version for designers

EHB PriceCalc – calculation of costs for price offer

EHB LiteForm – a set of table sheet forms for data collection during visual inspection

EHB LiteCalc
 Developed by **TYPHOON**



ENERGETICKÝ CERTIFIKÁT BUDOVY

Názov budovy: Administratívna budova **Parc. č.:** 1234
Ulica, číslo: Račianska 1 **Mesto:** 810 00 Bratislava
Kategória budovy: B8 Ostatné budovy

Začiatok užívania budovy: 2008

Osvetlenie		Hodnotenie	Výsledky normalizovaného/prevádzkového hodnotenia	
	kWh/(m ² .a)		Potreba energie na osvetlenie kWh/(m ² .a):	24
A	≤ 11	B	Požiadavka:	27
B	11 - 27		Spĺňa požiadavku (áno/nie):	áno
C	27 - 26			
D	26 - 32			
E	32 - 40			
F	40 - 48			
G	> 48			

Možná úspora energie po vykonaní navrhovaných úprav

Konštrukcia	Potreba tepla/energie - súčasný stav v kWh/(m ² .a)	Potreba tepla/energie - po realizácii navrhovaných úprav v kWh/(m ² .a)	Úspora tepla/energie v kWh/(m ² .a)	Úspora v %
na osvetlenie	24	20	4	16,7

Spracované programom LiteCalc 3.1, © Typhoon 2010

ENERGETICKÝ CERTIFIKÁT BUDOVY

Názov budovy: Budova banky **Parc. č.:** 1243/2
Ulica, číslo: Hlavná 1 **Mesto:** 810 01 Bratislava
Kategória budovy: B1

Osvetlenie

Spôsob hodnotenia: normalizované
Lokalita (zemepisná šírka a dĺžka): 48°11,88' ; 17°10,281'
Prevádzkový čas: 07:00 - 18:30
Typ budovy z hľadiska osvetlenia: administratívna budova

	Potreba energie na osvetlenie kWh/(m².a):	24
	Požiadavka:	20
	Spĺňa požiadavku (áno/nie):	nie

Meno a priezvisko oprávnenej osoby: Ing. Ján Svetkoš
Podpis:
Sídlo: Komárňanská 1, 810 01 Bratislava
Meno zhotoviteľa: Ing. Ján Svetkoš
Identifikačné číslo 123/45678 **Register:** **Č. zápisu:**

Popis aktuálneho stavu

Osvetlenie
Budova je bez okien a bez denného svetla. Osvetľovacia sústava je nová, s použitím účinných typov svietidiel. Riadenie osvetlenia je manuálne (R1). Vonkajšie osvetlenie je spínané súmrakovým spínačom. V miestnostiach sú použité aj núdzové svietidlá. Deficitom energetickej hospodárnosti sú chýbajúce okná, z čoho vyplývajú aj zvýšené nároky na dimenzovanie osvetlenia oproti podobným budovám s oknami.
Iné:

Popis navrhovaných úprav na zlepšenie energetickej hospodárnosti

Osvetlenie
Energetická hospodárnosť sa dá zlepšiť inštalovaním pohybových snímačov, t.j. riadením typu R6. Výsledné zatriedenie budovy sa zlepší o jeden stupeň - z triedy C do triedy B.
Iné:

Spracované programom LiteCalc 3.0, Typhoon 2009

Fig.2. EHB LiteCalc 3.1 – Energy Label Sheet

EHB LiteCalc (Fig. 1 - 4), actually in version 3 is based upon well known and highly accepted excel format what makes it very easy to use.

Názov budovy: Administratívna budova

Meno / Názov firmy	Mesto	PSC	Ulica, č.d.	Tel	Fax	E-mail
Majiteľ: Admin Invest, a.s.	Bratislava	810 00	Račianska 1			
Prevádzkovateľ: Admin Invest, a.s.	Bratislava	810 00	Račianska 1			
Objednávateľ: Admin Invest, a.s.	Bratislava	810 00	Račianska 1			

Lokalita: Zem.šírka: γ_1 (° ' ") 48° 10' Zem.dĺžka: γ_2 (° ' ") 19° 5' Parc. č.: 1234

Typ budovy: Kód: Slovo: A (m²) % t_{obj} (h:min) t_{obj} (h:min) C_{obj}:

Kód	Slovo	A (m ²)	%	t _{obj} (h:min)	t _{obj} (h:min)	C _{obj} :
B1	Administratívne budovy	180,00	37,5	7:00	16:30	5 / 7 = 0,71
B2	Školy a školské zariadenia					/ 7 =
B3	Nemocnice					/ 7 =
B4	Hotely					/ 7 =
B5	Reštaurácie					/ 7 =
B6	Športové zariadenia					/ 7 =
B7	Obchody	250,00	52,5	7:00	20:00	6 / 7 = 0,86
TOTAL:		480,00	100			

Voliteľný merania EI: Automaticky Počet overených miestností: Počet miest. s vyhovujúcim osvetlením: **WYHODNIE**

VÝSLEDKY

W: 9 355,42 kWh/a **MEŠAČIE PŘEROZDELENIE (kWh/m²/mes):**

LENI	1	2	3	4	5	6
W	23,34	743,8	707,5	670,9	656,8	662,3
%	0,07	665,8	661,8	701,4	740,8	824,8
						863,4

Energetická trieda: **B**

E	D	C	B	A

Osvetlenie

	kWh/(m ² .a)	Hodnotenie
A	≤ 11	B
B	11 - 27	
C	27 - 26	
D	26 - 32	
E	32 - 40	
F	40 - 48	
G	> 48	

Fig.3. EHB LiteCalc 3.1 – The summary sheet

Por	ČM	Názov	SPOTREBA ENERGIE			ČINITELE		
			W	W _e	W _p	F ₀	F ₀	F _C
			kWh/a	kWh/a	kWh/a	-	-	-
1	1	Obchod	6 883,6	6 883,6	31,4	0,65	1,00	1,00
2	2	Kancelária	493,6	462,2	12,6	0,80	0,90	0,85
3	3	Kancelária	861,1	798,3	62,8	0,68	0,90	0,85
4	4	Kopírka	750,0	105,0	12,6	0,80	0,70	1,00
5	5	Chodba	347,1	296,9	50,3	0,65	0,60	1,00

Fig.4. EHB LiteCalc 3.1 – Output Sheet (fragment)

Main features of the EHB LiteCalc 3.1:

- Number of rooms: dynamic assignment
- Number of types: 130 luminaire types, 52 window types
- Segmentation: calculation for single-sided continuous windows, one daylight zone
- Rooflights: geometry types according to EN 15193
- Windows: τ and coefficients k taken for prevailing window type
- Determination of F_A : manually
- Input verification: without verification of input data
- User interface: easy orientation in tables, input cells are highlighted, data groups are identified by colours
- Calculation of t_D and t_N : operation times for whole building and for individual rooms
- Setting of C_{we} : for whole building and for individual rooms
- Determination of MF: one input value without its components
- Determination of H_{AT} : manual input
- Determination of F_{DS} : standard values for Bratislava with possible manual modifications
- GDF: implemented
- Calculation of D_C : prevailing window type is determined from passport automatically
- Decimal numbers: fixed
- Monthly distribution: simple distribution without iterations
- Standard data: possible manual setting of global tables and standard data

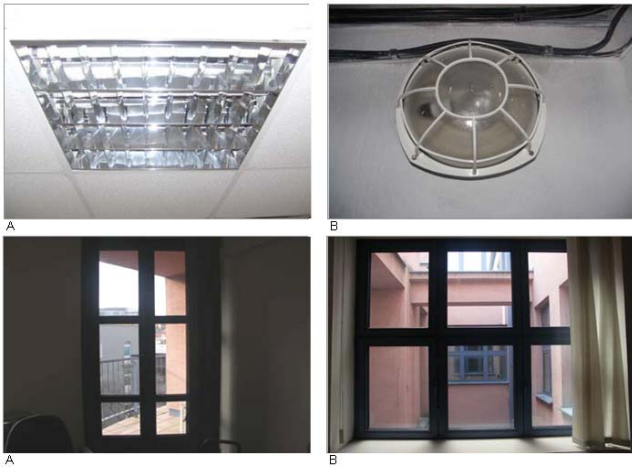


Fig.4. EHB LiteCalc 2.0 – Photodocumentation of luminaires (above) and windows (below) as an optional part of the software

Features of the EHB LiteCalc 3.1 calculation program

New version of the EHB LiteCalc is aimed to implementation of new conditions and requirements of the new ordinance No. 311/2009, improvements of calculation procedures and user environment. The new version should ease the work of certificant and to provide new options. New features can be listed in points as follows:

- new form of energy certificate according to the template published in new legislation
- tools for elaboration of protocols from orientational measurements of lighting parameters (required by new legislation)

- implementation of new national coefficients, operational times, energy class scales etc.
- selection and application of energy saving options
- drop-down windows to simplify selection of some parameters
- dynamic creation of tables (floating number of rooms in analyzed building)
- calculation of rooflights

References

- [1] Act No. 555/2005 of the National Parliament of Slovak Republic on the Energy Performance of Buildings
- [2] Ordinance No. 625/2006 of the Ministry of Construction and Regional Development of Slovak Republic
- [3] Technical standards EN 15 193:2007 and STN EN 15 193:2008
- [4] Preliminary standard prEN 15 193:2005
- [5] Slovak National Methodology on Energy Performance of Buildings
- [6] Software package EHB LiteCalc, EHB QuickCalc, EHB PriceCalc and EHB LiteForm, Typhoon 2008

Authors:

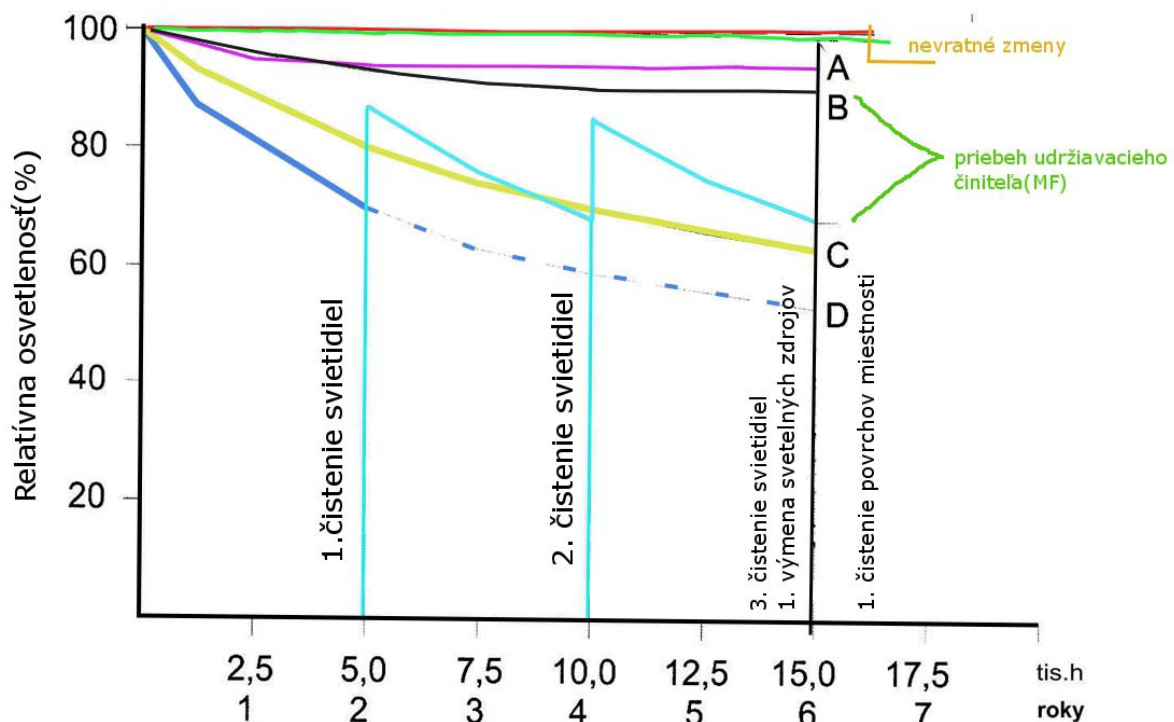
*Doc. Ing. Dionýz Gašparovský, PhD., Typhoon, s.r.o.
Obchodná 15, 811 06 Bratislava, Slovak Republic
tel.: +421 2 52444092, fax: +421 2 52444092
e-mail: mail@typhoon.sk*

*Ing. Emre Erkin, Istanbul Technical University, Ayazaga Kampusu,
34469 Maslak, Istanbul, Turkey, e-mail: erkinem@itu.edu.tr*

Zmena fotometrických vlastností svietidiel v dôsledku znečistenia prostredím

Problém znečistenia svietidiel

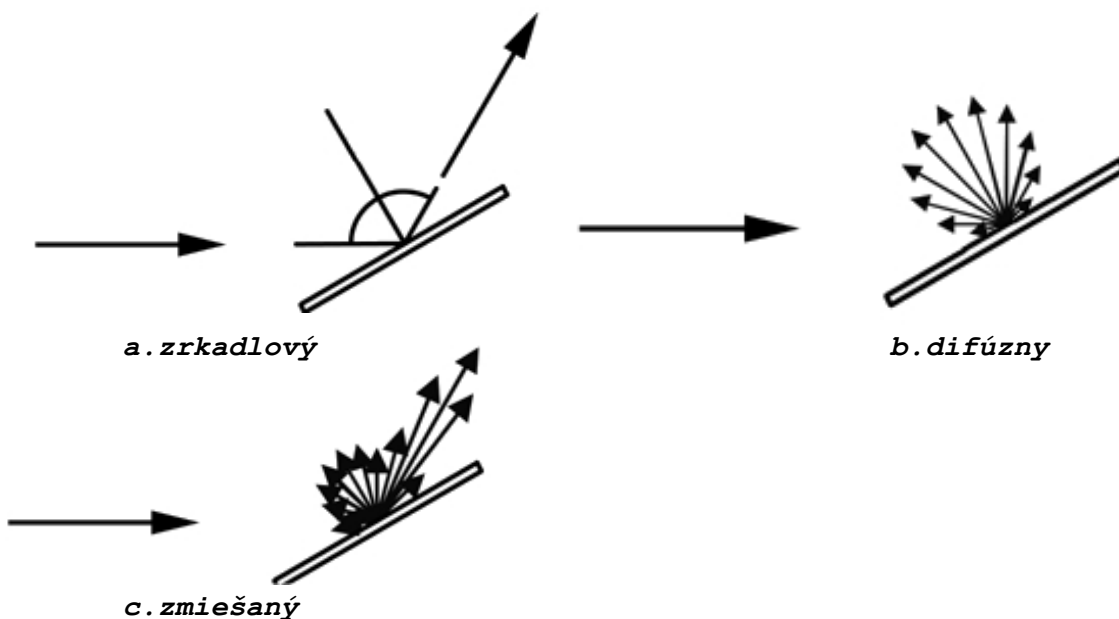
Osvetľovacie systémy navrhujeme, inštalujeme a používame v rôznych prostrediach. Základom dobre navrhnutej a dlhé roky spoľahlivo fungujúcej osvetľovacej sústavy je nielen správny výpočet počtu a rozmiestnenia svietidiel. Je to aj vhodné zvolený plán údržby svietidiel. Nepatrí do toho len výmena svetelných zdrojov ale aj pravidelné čistenie svietidla ako celku. Pokiaľ sa na túto veľmi dôležitú časť nedbá je pokles osvetlenia daného priestoru za obdobie 4 rokov na úrovni šesťdesiatich percent pôvodnej osvetlenosti (Obr.1). Účelom plánu údržby a jeho dodržiavanie je eliminovať pokles osvetlenosti v dôsledku nesprávnej údržby.



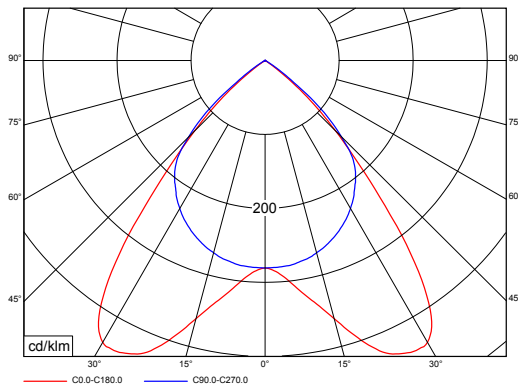
Obr.1 Zmena osvetlenosti v priebehu životnosti osvetľovacej sústavy

Existuje nespočetné množstvo aplikácií osvetľovacích sústav, v ktorých sú podmienky pre svietidlá rôzne. Patria medzi ne napríklad teplota okolia, vlhkosť miestnosti, prašnosť ale aj stavebné materiály a povrchové úpravy, ktoré boli použité.

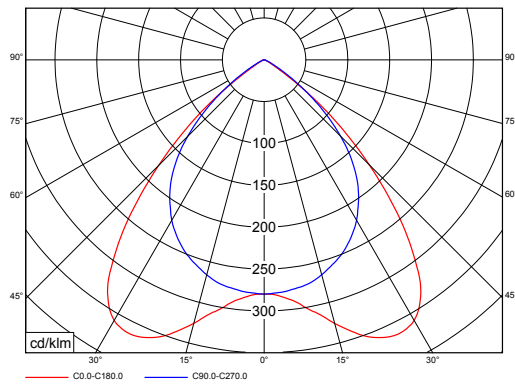
Všetky podmienky vieme viac či menej definovať až na jednu. Tá je veľmi dôležitá. Je to prašnosť prostredia. Práve prach, ktorý sa usádza vo svietidle je jedným z najdôležitejších faktorov, ktorý ovplyvňuje fotometrické vlastnosti svietidiel. Usádza sa nielen na telesa svietidla, predradníkoch, tlmivkách ale najmä na svetelných zdrojoch a svetelno-činných častiach. Ak sa prach usadí na svetelnom zdroji spôsobí pokles svetelného toku a celkovo zníži LOR svietidla. Avšak dramatická zmena fotometrických vlastností nastáva až vtedy až sa prach začne usádzať na svetelno-činných častiach. V niektorých prípadoch dochádza len k úbytku svetelného toku zo svietidla v iných prípadoch aj k deformácii krivky svietivosti. Typickým príkladom úbytku svetelného toku zo svietidla je usadený prach na opálových plastových difúzoroch či už z polykarbonátu, PMMA alebo polystyrénu. V tomto prípade nedochádza k výraznej zmene krivky svietivosti tá nastáva až keď sa prachové častice usádzajú na vysoko odrazových prvkoch optických sústav. Usadené nečistoty vytvoria na povrchu buď súvislú alebo miestami prerušovanú vrstvu. Táto vrstva spôsobuje nielen pokles množstva odrazeného svetelného toku ale aj ovplyvňuje výsledný charakter odrazeného svetla. Z plôch, ktoré mali vysoký podiel zrkadlového odrazu (Obr.2a) vytvorí zmes prachových častíc plochy so zmiešaným (Obr.2b) alebo doslova s difúznym odrazom (Obr.2c). Takáto zmena výrazne ovplyvňuje charakter krivky svietivosti svietidla.



Obr.2 Možnosti odrazov od materiálu



a. čisté svietidlo



b. svietidlo zanesené prachom

Obr.3 príklad deformácia krivky svietivosti pri mriežkovom svietidle

Činiteľ údržby osvetľovacej sústavy

Osvetlenosť¹, ktorá je odporúčaná v projekte osvetlenia daného priestoru vychádza z „udržovanej osvetlenosti“, čo je priemerná osvetlenosť za „určitú dobu“ používania, po jej uplynutí musí byť vykonaná údržba a je definovaná vzťahom

$$E_{maintained} = E_{initial} \times \text{udržiavací činiteľ}$$

Činitele, ktoré vplyvajú na starnutie osvetľovacej sústavy rozdeľujeme na vratné a nevratné. Vrstva prachu patrí práve medzi vratné činitele. To sú také, ktoré môžu byť zlepšené alebo odstránené pravidelnou údržbou sústavy.

$$MF = E_{maintained} / E_{initial}$$

Udržiavací činiteľ (MF) je definovaný pomocou viacerých zložiek

$$MF = LLMF \times LSF \times LMF \times RSMF^2$$

kde $LLMF$ je činiteľ starnutia svetelného zdroja,

LSF je činiteľ funkčnej spoľahlivosti svetelných zdrojov (používaný len pre skupinovú výmenu),

LMF je udržiavací činiteľ svietidla,

$RSMF$ je udržiavací činiteľ povrchov .

^{1,2} Zdroj: CIE 97-2005 Smernica k údržbe vnútorných osvetľovacích sústav[1]

Prach

Prach je všeobecné označenie pre pevné častice s priemerom menším ako 500 mikrometrov a všeobecne pre dobre rozdelenú hmotu. Prach na Zemi nachádzajúci sa v atmosfére pochádza z rôznych zdrojov. Prachom rozumieme aj drobné čiastočky pevných materiálov rozptýlené v ovzduší alebo usadené na predmetoch a stenách. Tieto čiastočky vznikajú aj pri ťažbe, vŕtaní, mletí a opracovávaní rôznych pevných materiálov. V prachom zamorenom ovzduší sa najdlhšie udržia čiastočky prevažne priemeru do dvoch mikrometrov. Tieto čiastočky sú z hygienického hľadiska najnebezpečnejšie, pretože prenikajú hlboko do dýchacích ciest a spôsobujú tak vážne ochorenia.[2]

Kategórie prostredia podľa čistoty

V súčasnosti poznáme tri kategórie čistoty prostredia.

1. veľmi čisté(VČ)³

Do tejto kategórie patria priestory nemocníc, výpočtových stredísk. Svoje zastúpenie má aj priemyselná oblasť a to napríklad výroba polovodičových súčiastok, kde sú nároky na čistotu prostredia veľmi vysoké.

2. čisté(Č)⁴

Čisté prostredie má zastúpenie v úradoch, školách a taktiež aj v areáloch nemocníc, kde sa na čistotu prostredia nekladú tak vysoké nároky ako vo veľmi čistých. Pre obe prostredia či už veľmi čisté alebo čisté je interval výmeny svetelných zdrojov rovnaký a to po troch rokoch.

3. normálne(N)⁵

Pod pojmom normálne prostredie rozumieme obchodné prostredie(obchody, obchodné domy), reštaurácie, montážne plochy. Našli by sme tu aj niektoré dielne alebo laboratóriá. V takýchto priestoroch je odporúčané meniť svetelné zdroje každé dva roky.

^{3,4,5} Zdroj: CIE 97-2005 Smernica k údržbe vnútorných osvetľovacích sústav[1]

4. špinavé(Š)⁶

Do kategórie špinavých prostredí môžeme zaradiť miesta s vysokou prašnosťou a nečistotami. Typickým príkladom sú oceliarne, chemické závody, zlievarne. Pracoviská kde sa zvara, leští alebo pracuje s drevom.

Cieľom je zistiť, predefinovať prostredia zo 4 základných na prostredia, pri ktorých budeme vedieť „koľko prachu“ sa usadí počas prevádzky osvetľovacej sústavy. Rozdiel v usádzaní prachových častíc bude aj v dôsledku použitých materiálov pre optické časti. Iným spôsobom bude usádzanie prebiehať na plastových materiáloch bez štruktúry(opálový difúzor) v porovnaní s prizmatickými a mikroprizmatickými difúzormi. Taktiež sa bude líšiť aj pri odrazových materiáloch ako sú vysoko-odrazové hliníkové plechy(lesklé, matné).

Tak isto ako nie sú rovnaké vlastnosti jednotlivých materiálov tak nie je ani rovnaký charakter prachu v jednotlivých prostrediach. Pre lepšiu predstavu a porovnanie majme nemocničné prostredie a drevospracujúcu výrobu. Dva extrémny. Nemocničné priestory s vysokou čistotou spadajúce do kategórie veľmi čistých prostredí. Drevospracujúca výroba kde pri každodennom spracovaní dreva pílením, brúsením, lakovaním sa nachádzajú jemné častice rôznych veľkostí a materiálov. Je viac než jasné, že vrstva, ktorá bude spôsobovať pokles svetelného toku a zmeny krivky svietivosti sa bude správať v oboch priestoroch inak. Zistiť zloženie tejto vrstvy, množstvo za časové obdobie a vplyv na zmenu fotometrických meraní bude predmetom ďalšieho skúmania.

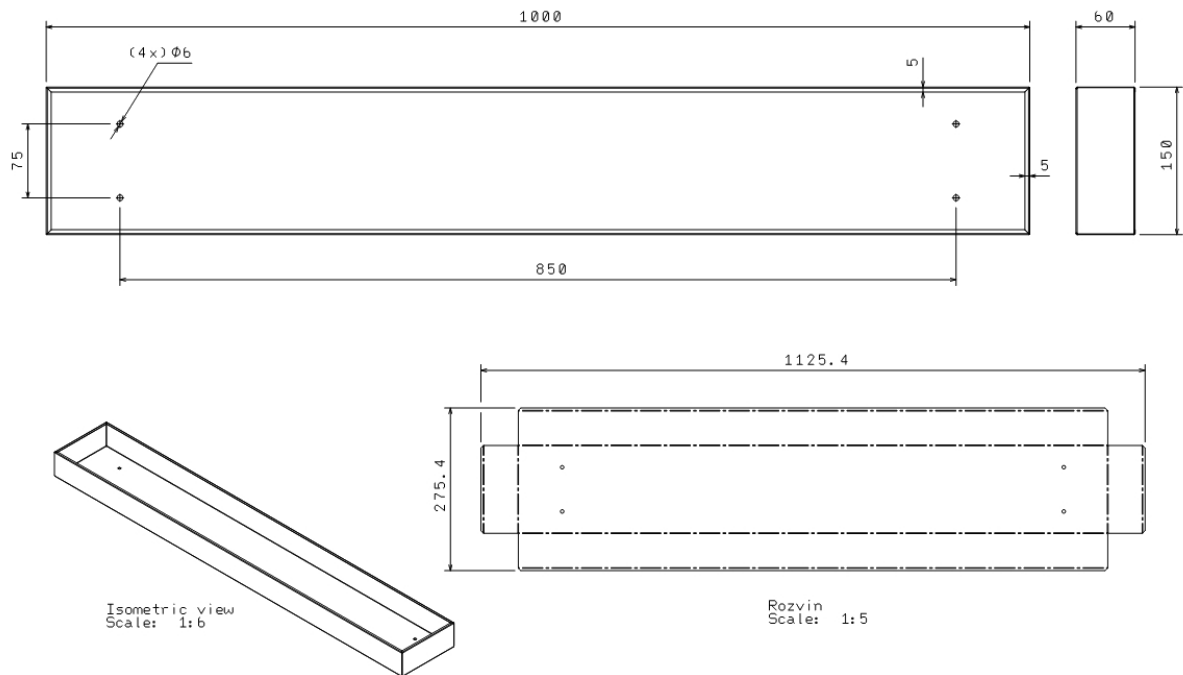
Spôsob zachytávania

Pre čo najviac objektívne zachytávanie prachu v jednotlivých priestoroch som navrhol špeciálne „lapače“(Obr.), ktoré budú zavesené v jednotlivých priestoroch ako klasické svietidlá. V každom z nich budú uložené materiály, ktoré sa najčastejšie používajú v danom priestore. To znamená, že pre kancelárie kde sa najviac používajú mriežkové svietidlá budeme zachytávať prachové častice na vysoko-odrazových hliníkových plechoch

⁶ Zdroj: CIE 97-2005 Smernica k údržbe vnútorných osvetľovacích sústav[1]

s rôznymi odrazovými vlastnosťami. Naopak v priestoroch nemocníc sa budeme sústrediť najmä na plastové difúzory.

Interval zberu vzoriek bude závislý nielen na pláne údržby osvetľovacej sústavy ale aj od aplikácie, v ktorej bude „lapač“ zavesený.



Obr.4 Technický výkres navrhnutého zariadenia na zachytávanie prachových nečistôt



Obr.5 Špeciálne zariadenie na zachytávanie usádzania prachu na optických častiach svietidiel spolu s mikroprizmatickým a opálovým difúzorom.

Použitá literatúra

[1] CIE 97-2005 Smernica k údržbe vnútorných osvetľovacích sústav

[10] Prach, dostupné z: <http://sk.wikipedia.org/wiki/Prach>

Matching algorithms during analysis of medical imaging parameters: possibilities and constrains

Abstract. The methods of medical objects imaging will be presented in this article using the enamel structure. Examined images were analysed by context, gradients filters and morphological transformations. Main limitations were unequivocal separation structures of image and measurement their geometric parameters without redundancy components. To decrease this limits were used selected morphological operations.

Keywords: imaging, electron microscope, enamel, analysis.

Introduction

Medical pictures made for various structures of the human body use various techniques. Some present soft structures containing more water, other bone structures containing a lot of calcium compounds. Most of those techniques generate pictures directly in digital format which enables precise and fast measurements of anatomical parameters.

Preparations isolated from chosen organs are special objects which require special picturing techniques because of their small dimensions. In many cases hundredfold or thousandfold magnifications are required. Basic techniques for picturing structures of objects do not allow such magnification. In such case, electron microscope technology is used.

Preparation that could be easily obtained in case of a human being are, for example, elements of teeth and their important component, enamel.

Enamel is the hardest, most wear-resistant and at the same time most brittle tissue from all tooth hard tissues. 96-98 % of enamel consists of mineral, with water and organic material composing the rest. The basic unit of enamel is called an enamel rod (prism), while the area around the enamel rod is known as interrod enamel. Single tooth includes 5-12 millions of rods [1].

In cross sections they have various shapes (e.g. oval, polygonal, and other) probably determined by growth (depending on the function of the tooth they are a component of).

Selected medical objects picturing methods

Preparations isolated from medical objects are most often observed using optical microscope. Picture is more detailed but in some cases available magnifications are not enough for the measurement of required parameters.

The newest method of observation is observation under electron microscope which is divided into common transmission electron microscope observation and scanning electron microscope observation. In the former, large area of the preparation is analyzed at the same time, in case of latter, electron beam of small diameter sweeps chosen rectangular area in a scanning movement.

In case of using transmission microscope, the analyzed sample is sprayed with a thin layer of metal, the original sample is removed and the picture of the replica is taken. In scanning microscope usage, the sample is also sprayed with metal, but the sample is not removed. Advantage of such modified samples is their stability and possibility of picture repetitions which is not always the case in other microscopic methods.

Electron beam generated in electron gun is accelerated in electrical field of 30 kV and focused in electromagnetic

lenses (Fig.1). Deflection coils produce the scanning motion [2].

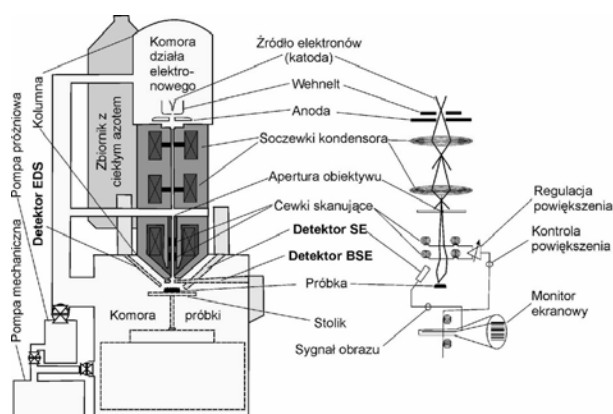


Fig. 1. Schematic diagram of an scanning electron microscope (SEM) [3], where e.g.: Zróżdło elektronów=Electron gun, Cewki skanujące=Scanning coils, Próbka=Sample

Different signals generated by the beam falling onto the sample are recorded by specific detectors and then converted into the sample picture or x-radiation spectrum. They could be secondary electrons (SE), back scattered electrons (BSE) and x-radiation (Fig.2).

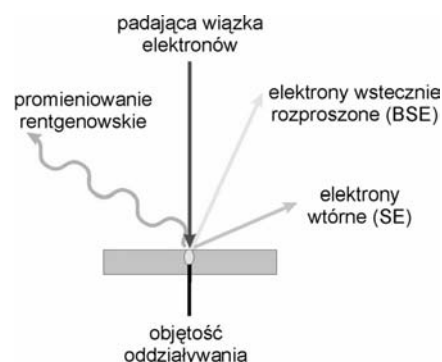


Fig. 2. Different signals generated by the beam [3], where e.g.: padająca wiązka elektronów=incident beam, promieniowanie rentgenowskie=x-radiation, objętość oddziaływania=sample (volume of interaction)

In the picture generated by secondary electrons, its contrast depends on the shape of the sample: protruding elements are brighter, whereas sunken darker. They look

similar to their counterparts seen in daylight. In BSE pictures, contrast results from the difference of average atomic number between the points of the sample. Sample areas containing nucleus of high atomic number elements scatter back more electrons giving in BSE pictures brighter readings.

Pictures generated by secondary electrons SE (Fig.3a) as well as by back scattered electrons BSE (Fig.3b) were used for next measurements and analysis.

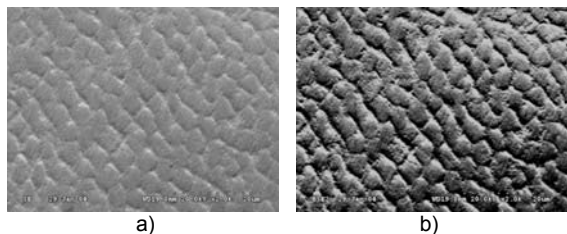


Fig. 3. Picture of enamel generated by: a) secondary electron detector SE, b) back scattered electrons detector BSE (magnification 2000 times)

Pictures generated by SE and BSE techniques were choice because of their accessible on Bialystok University of Technology. Scanning electron microscope Hitachi S-3000N is located in Faculty of Mechanical Engineering.

Methods and algorithms of medical pictures conversions

Digital pictures can be converted via various methods or filters. Very common are context filters that use the surroundings of every picture point individually and determined by conversion function: linear or non-linear. Used surrounding can be defined as four- or eight-connected. A good example of applied context filter here is median filter used in order to eliminate noise.

Another conversion group can be gradient filters, based on digital picture and defined mask convolution. It must be said, however, that no beneficial isolation effects were gained in the prism pictures. (Fig.4).

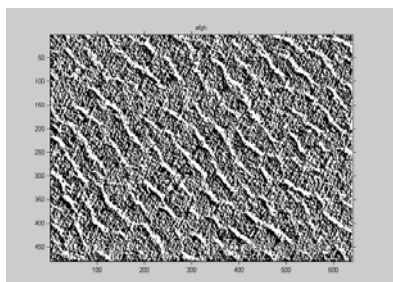


Fig. 4. Result of Sobel filter

Good digital pictures analysis and isolation results can be achieved using morphological operations which base on so called structural elements taking various dimensions.

Morphological operations can remove small particles, split some glued objects or fill small holes, isolate object edges or their frames, depending on their definition and application requirements [4].

Conducted research was based on specifically created enamel picture analysis and conversion program. It realizes the procedures of initial filtration removing noise and minor interferences, setting resolution of the read picture using located pattern (i.e. in case of this pictures the number of pixels per micrometer) which enables calculation of

selected geometrical parameters in absolute units, for example μm .

Then it carries out whole picture edge isolation operations and selected prism isolation and geometrical parameters calculations (Fig.5).

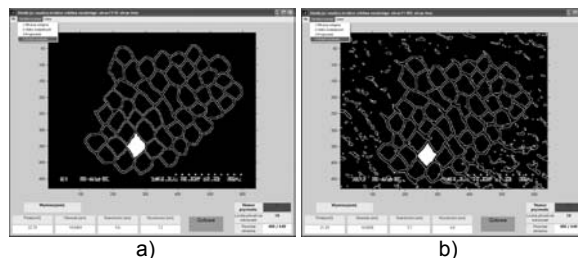


Fig. 5. Screens of program after isolation of selected rod using SE (a) and BSE (b) techniques

For each of 50 isolated prisms pictured using SE and BSE techniques individually, a few basic geometrical measurements were taken: area, perimeter, width and height.

Comparative analysis of the two enamel picturing techniques showed major differences between geometrical parameters of the same prism and significant differences within the same group [5].

It could be concluded that in most cases differences were not identical, for some parameters were positive, for others negative.

Within the same group the measurements based on the SE picture only in one case out of fifty were considerably different from others on the base of gross error. In case of BSE picture measurements, two out of fifty could be classified as gross error.

Tables 1 i 2 presented statistics of geometrical parameters of the rods. Values classified as gross error were marked on grey.

Table 1. Statistics of geometrical parameters of 50 rods generated by SE technique

	Area [μm^2]	Perimeter [μm]	Width [μm]	Height [μm]
Mean (m)	19,85	17,30	5,07	5,80
Standard deviation (SD)	4,535	2,485	0,636	0,986
m+3*SD	33,45	24,75	6,98	8,76
m-3*SD	6,24	9,85	3,17	2,85
Maximum	28,28	23,56	6,80	8,80
Minimum	10,85	12,96	3,70	3,80

Table 2. Statistics of geometrical parameters of 50 rods generated by BSE technique

	Area [μm^2]	Perimeter [μm]	Width [μm]	Height [μm]
Mean (m)	18,74	17,61	4,92	5,59
Standard deviation (SD)	4,315	2,556	0,671	0,941
m+3*SD	31,69	25,28	6,94	8,42
m-3*SD	5,80	9,94	2,91	2,77
Maximum	31,23	24,31	7,00	9,00
Minimum	10,10	12,56	3,50	3,50

To eliminate or limit such cases, it was necessary to create conversions depending on the kind of converted picture and the character of changes they bring about.

Image conversion matching algorithms

By comparing operations of some morphological conversions to geometrical parameters values of the analysed prisms, it was possible to select such that improved the geometrical parameters statistics (Fig.6)

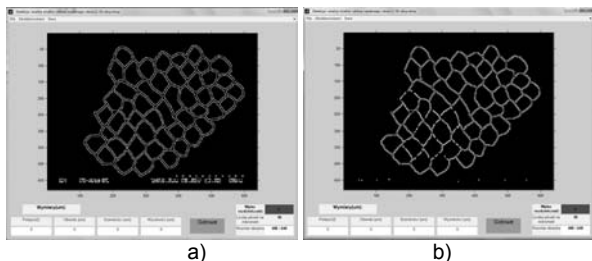


Fig. 6. Screens of program after matching of conversion for SE picture (a) as well as misfit (b)

Table 3. Statistics of geometrical parameters of 50 rods generated by SE technique after erosion operation using the structuring element size 5

	Area [μm ²]	Perimeter [μm]	Width [μm]	Height [μm]
Mean (m)	15,37	15,21	4,44	5,09
Standard deviation (SD)	3,883	2,368	0,616	0,938
m+3*SD	27,02	22,31	6,29	7,91
m-3*SD	3,72	8,11	2,60	2,28
Maximum	22,26	21,27	5,90	7,90
Minimum	7,48	10,87	3,30	3,20

Table 4. Statistics of geometrical parameters of 50 rods generated by SE technique after erosion and dilation operations using the structuring element size 3

	Area [μm ²]	Perimeter [μm]	Width [μm]	Height [μm]
Mean (m)	19,81	17,18	5,06	5,79
Standard deviation (SD)	4,518	2,437	0,628	0,983
m+3*SD	33,37	24,49	6,94	8,74
m-3*SD	6,26	9,87	3,17	2,84
Maximum	28,25	23,42	6,80	8,70
Minimum	10,85	12,96	3,70	3,80

By comparing statistics from Tables 3 and 4 to statistics from Table 1 it was possible to say that better matching has achieved after erosion and dilation operations using the structuring element size 3 (Table 4). They didn't insert fundamental differences to mean values of whole group in opposite to statistics in Table 3. However, they were eliminated gross error cases.

The method of feasible picture type recognition in the program turned out to be quite simple. By analysis of picture statistical parameters from SE and BSE groups, it was possible to observe separate value ranges.

For picture group analysed in SE technique, average values calculated for each picture separately from all brightness points values were between 118,59÷142,73, whereas for picture group analysed in BSE between 76,47÷105,54.

This made it possible to modify the program by adding initial detection of the kind of read picture and adaptation of the further conversions.

Conclusions

Imaging structures of medical or biological objects using scanning electron microscope is maybe difficult due to special sample preparation, but it enables great depth of field.

Judging by the collected pictures, it was possible to conclude that despite first initial favourable assessment of pictures offering better enamel structure reproduction using BSE technique, they were eventually pictures obtained from secondary electrons detectors that offered prism parameters measurements without redundant components thanks to the ability to match picture conversion processing.

This paper was prepared under S/WE/1/10 grant

REFERENCES

- [1] Lehmann K.M., Hellwig E., Propedeutyka stomatologii zachowawczej i protetyki, *Urban & Partner*, Wrocław, 1994
- [2] Barbacki A. Mikroskopia elektronowa, *Wydawnictwo Politechniki Poznańskiej*, Poznań, 2003
- [3] <http://www.chemia.uj.edu.pl/~lojewski/Techniki%20mikroskopo we.pdf>
- [4] Zieliński K.W., Strzelecki M., Komputerowa analiza obrazu biomedycznego, *Wydawnictwo Naukowe PWN*, Warszawa, 2002
- [5] Gilewska G.: Możliwości i potrzeby obrazowania oraz analizy parametrów szkliva nazębnego, *Przegląd Elektrotechniczny*, 85 (2009), nr.11, 257-260

Author: dr inż. Grażyna Gilewska, Politechnika Białostocka, Wydział Elektryczny, ul. Wiejska 45D, 15-351 Białystok, E-mail: gila@pb.edu.pl

A multichannel DC driver of power LEDs

Abstract. In this work is described an idea of DC multichannel driver of power LEDs. The main point of the solution is digital control method of LED constant currents. LEDs currents can be adjustable from 100 mA to 1000 mA of every channel. A scheme of realization the driver, laboratory tests and a comparison with similar circuits are included too. The driver can be an alternative to PWM based drivers in many fields of power LEDs applications.

Keywords: LEDs drivers, driving of power LEDs, digital control of LED light, frequency to voltage converter.

Introduction

The number of currently used methods and LED adaptors is really vast. It comprises both constant current and pulse circuits constructions. The pulse control based on PWM method, does not apply, however, to lighting and research equipment since it emits radiation. Due to this fact, one could recently observe steady development of LED constant current drivers. This group of devices features: constant current drivers, user-selected current amperage drivers, and digitally-selected current amperage drivers. The last type experiences the most dynamic growth due to the possibility of systematical current amperage control. Choice criteria is usually determined by their low price and small size.

The simplest constructions are based on applications with charge pump which have limited control of output current and considerable amount of ripple in the output signal [3].

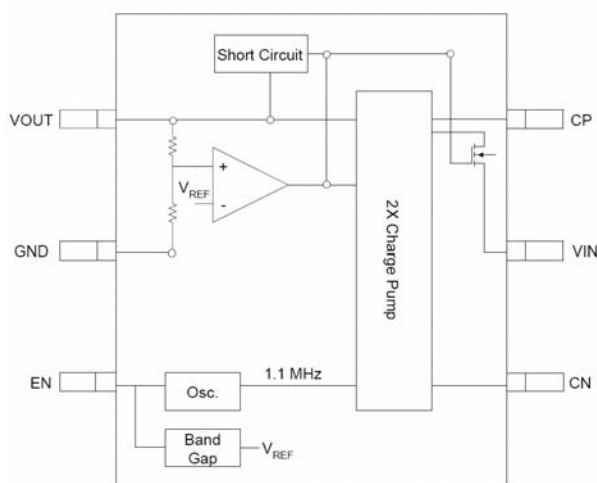


Fig.1. Functional diagram of a driver with a charge pump [3]

Additionally, a complete application requires the use of three exterior capacities. This allows to generate current powering LED of up to 150 mA. In multichannel power circuits, each channel may have its own independent control circuit.

More advanced constant current driver circuits are capable of simultaneous control of 16 independent channels. Depending on the number of controlled channels, power supply current ranges from a few to 200 mA. Current amperage values are set in individual channels during programming using SPI bus (fig.2). Practical realization of the above circuits contains different types of buses like: SPI, 1-wire or I²C. The drivers can be chain-linked in larger modules and their parameters changed in the course of

their operation. Their application possibilities are limited due to their inadequately small supply current values. Another disadvantage are their complex programming bus operation algorithms. Also, the driver construction does not allow to retain the settings after power-off which necessitates its re-programming after every power-on. Having the above limitations in mind, the further parts of this publication suggest new solutions concerning LED control circuit. It is digitally programmed in a vast range of output current.

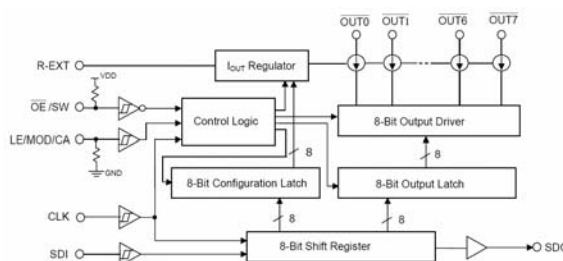


Fig.2. Modular diagram of programmable LED driver [4]

The concept of proposed driver design

Figure 3 illustrates proposed single channel high power LED driver. In case of multichannel operation, the circuit can be multiplied for the desired number of branches. It comprises 3 basic modules: galvanic isolation circuit U_1 , frequency-amperage transformation U_2 [5], and output amplification module U_3 . Controlling signal is digital rectangular wave of varied frequency sent to the circuit input. At the resistance R_5 current U_{R5} is generated proportionally to input signal frequency F . Voltage value is defined by the below equation:

$$(1) \quad U_{R5} = V_{CC} \cdot F \cdot C_2 \cdot R_4,$$

where: V_{CC} means power supply voltage U_2 , whereas the rest of the parameters correspond with the values of the elements from the diagram. Capacity C_1 and resistance R_2 serve as high-pass filter, separating at the same time constant component from output U_1 . Capacity C_3 connected in parallel with R_4 serves as voltage filter U_{R5} . and is decisive in the control of voltage ripple. Voltage drop at R_5 defines the value of the current flowing into current amplifier U_3 . It is the current flowing through LED D_1 , which is described by the below formula:

$$(2) \quad I_{D1} = ((U_{R5} - U_Z) / R_7) \cdot 100,$$

where: U_Z means voltage drop in input circuit U_3 , parameter 100 is voltage amplification of circuit U_3 . For the given elements values, laboratory tests gave input current

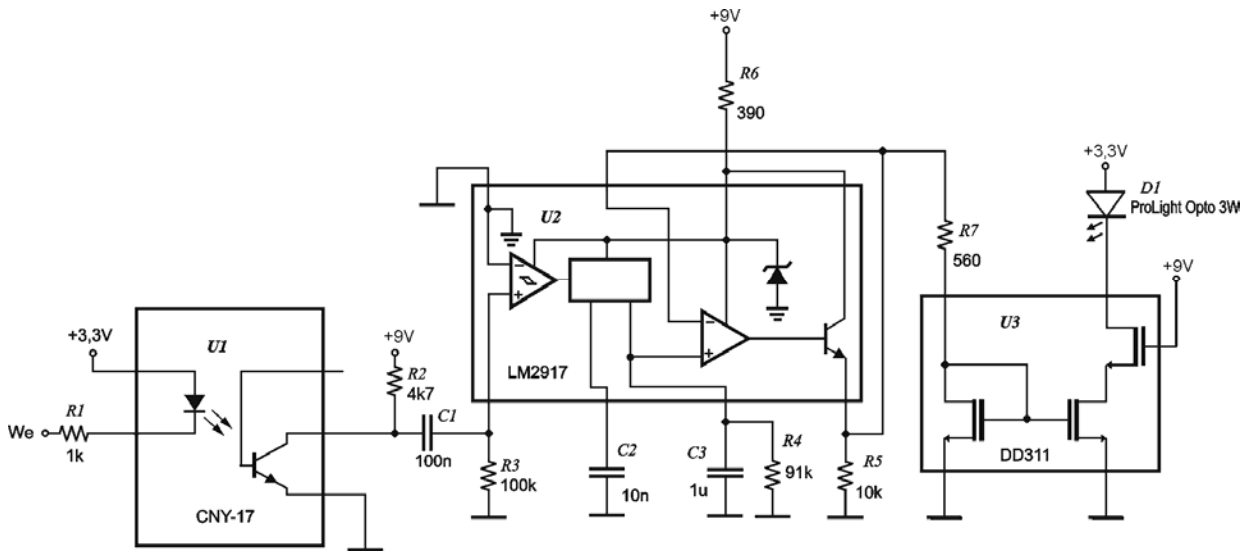


Fig.3. Schematic diagram of suggested design

regulation values from 2 mA to 400 mA. During this time, input signal frequency varied from 50 Hz to 850 Hz. Voltage drop at $R5$ and output voltage are limited by the acceptable input signal frequency. It depends mainly on capacity value $C2$ and supply voltage.

Output voltage amplifier $U3$ enables generation of LED voltage of up to 1 A. It is possible, though, to apply other versions of amplifiers generating higher voltage. The amplifiers could also be linked in parallel so the circuit's LED power supply voltage is practically limitless. Output voltage $U3$ acceptable value reaches 36V which makes it possible to connect branches of elements in series.

Next step is securing required range of LED voltage alteration. It may be achieved by increasing higher frequencies of the circuit or by proper choice of series resistance $R7$. First solution seems better because of higher accuracy in output signal regulation. Dealing with signals at the level of several kHz does not cause any major limitations.

Test results of the circuit chosen parameters

The circuit was tested using the following devices: tunable generator HM8130, digital multimeter V543 and oscilloscope TDS 714L. Variable rectangular signal was applied to the circuit input. The results were analyzed in chosen points with the oscilloscope and multimeter. Some characteristics are presented in the below illustrations. Illustration number four shows circuit's time characteristics for input signal frequency of 700 Hz.

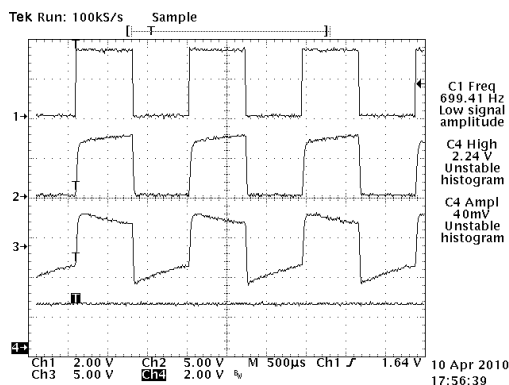


Fig.4. Chosen time characteristics of the circuit

First oscillation shows generator's output signal and the second the signal measured on the $U1$. There can be seen a visible optocoupler signal distortion which does not influence the quality of regulation. Third oscillation shows ripple component on the voltage amplifier input, behind $R7$ resistor. Apparently, the influence of the ripple component is insignificant, which is a proof of good input signal filtration.

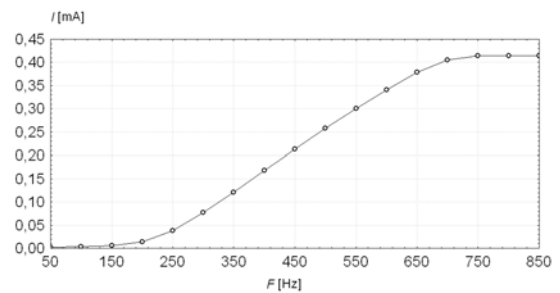


Fig.5. Regulation frequency characteristics

Next oscillation (fig.5 and table 1) is measured by regulation frequency characteristics of the suggested circuit. It presents changes in LED voltage in the function of the control signal frequency. In the illustration one can see linear regulation fragment from 250 Hz to 650 Hz. Slight nonlinearity in this range can be corrected using signal source control algorithm. Nonlinear fragment below 250 Hz is caused by voltage amplifier input nonlinearity.

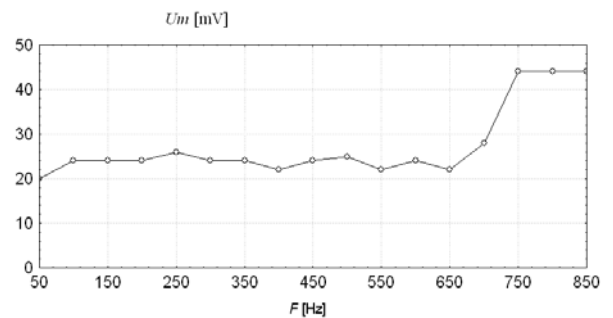


Fig.6. Frequency ripple characteristics of amplifier control voltage

Nonlinearity above 650 Hz results from upper limiting frequency of the circuit. The real upper limit of the regulation range is the value of admissible power U_3 .

Table 1. Frequency regulation characteristics

Frequency [Hz]	U_{rs} [V]	U_z [V]	I_{Dl} [mA]
50	0,401	0,389	2
100	0,849	0,828	4
150	1,272	1,241	5
200	1,681	1,598	14
250	2,030	1,831	37
300	2,392	1,963	77
350	2,663	1,984	111
400	2,979	2,040	168
450	3,272	2,081	213
500	3,501	2,055	258
550	3,791	2,109	300
600	4,020	2,110	341
650	4,222	2,101	379
700	4,471	2,202	405
750	4,490	2,171	414
800	4,490	2,171	414
850	4,490	2,171	414

The last characteristics presented in figure six is frequency dependence ripple component on the amplifier input. It can be seen that the current ripple is smaller than 30 mV in linear regulation range and increases in higher frequencies.

Summary

Presented LED control circuit enables obtaining constant current regulation range from several mA to 1 A. Circuit parameter change is based on the simplest method of digital control. It relies on control signal frequency change in the range below 1 kHz. The unit comprises three small circuits which makes it really compact. It is possible to obtain higher output voltage by specific choice of elements. Discussed controller construction enables powering individual LED, as well as in-series branches consisting of a dozen or so elements. Presented single channel concept must be multiplied for multi-channel purposes and a multi-channel digital signal source of varied frequency must be used. Natural choice in such case is CPLD/FPGA application. Below you can find fragment of VHDL code describing one channel operation of the generator.

```
library IEEE;
use IEEE.STD_LOGIC_1164.ALL;
use IEEE.STD_LOGIC_ARITH.ALL;
use IEEE.STD_LOGIC_UNSIGNED.ALL;
```

```
entity Generator is
Port ( SW : in STD_LOGIC_VECTOR (2 downto 0);
      Clk : in STD_LOGIC; -- input clock signal
      -- frequency
      -- 50 MHz
      Wy : buffer STD_LOGIC := '0');
end entity;
```

```
architecture Kod of Generator is
signal dzielnik : integer range 0 to 300000 := 50000;
begin
with SW select
dzielnik <= 250000 when "000", -- 100 Hz
125000 when "001", -- 200 Hz
83333 when "010", -- 300 Hz
62500 when "011", -- 400 Hz
50000 when "100", -- 500 Hz
41666 when "101", -- 600 Hz
35714 when "110", -- 700 Hz
31250 when others;-- 800 Hz
process(Clk,dzielnik)
variable czesto : integer range 0 to 100000 := 0;
begin
if (Clk'event and Clk = '1') then
czesto := czesto + 1;
if czesto = dzielnik then
czesto := 0;
Wy <= not Wy;
end if;
end if;
end process;
end architecture;
```

REFERENCES

- [1] Richardson Ch., LED Applications and Driving Techniques, *The Sight & Sound of Information*, (2007), www.national.com
- [2] Pan F., Samaddar T., Charge Pump – Circuit Design, *Professional Engineering 6X9*, (2006), McGraw-Hill
- [3] Macroblock Inc., Regulated Charge Pump, *Preliminary Datasheet MBI6501*, V1.0, (2007), www.mblock.com.tw
- [4] Macroblock Inc., 8-Bit Constant Current LED Sink Driver with Gain Control, *Datasheet MBI5170*, VA.02, (2005), www.mblock.com.tw
- [5] National Semiconductor, LM2917 Frequency to Voltage Converter, *Application Note*, (2008), www.national.com

Author: dr inż. Marian Gilewski, Białystok Technical University, Faculty of Electrical Engineering, 45D Wiejska Street, 15-351 Białystok, Poland Phone: +48 085 7469352, Fax: +48 085 7469400, e-mail: pbwemagi@pb.edu.pl.

This paper was prepared under S/WE/1/2006 grant

Valuation of road lighting parameters for luminaires with LED

Streszczenie. Ocena wpływu światła białego na warunki widzenia w oświetleniu zewnętrznym jest od wielu lat przedmiotem badań. Strumień świetlny lamp jest wyznaczany dla widzenia fotopowego, natomiast w wielu przypadkach poziom adaptacji wzroku odpowiada warunkom widzenia mezopowego. Dla takich warunków stosowanie lamp LED może być uzasadnione z powodu korzystniejszego rozkładu widmowego promieniowania. W artykule przedstawiono porównanie parametrów oświetlenia drogowego z lampami sodowymi i przykładową oprawą z diodami LED.
(Ocena parametrów oświetlenia drogowego dla opraw LED)

Abstract. Valuation of influence of white light in outdoor lighting has been tested for years. Usually luminous flux is determined for photopic vision, but in many cases for road lighting the level of adaptation for human eyes corresponds to mesopic vision. For such conditions using LEDs could be more useful from the point of spectral distribution of light. In the paper the results of comparison parameters of outdoor lighting will be presented for chosen LEDs.

Słowa kluczowe: oświetlenie drogowe, źródła światła, widzenie mezopowe, diody LED.

Keywords: road lighting, lamps, mesopic vision, LED

Introduction

In the outdoor lighting, there are mostly applied the low-pressure and high-pressure sodium discharge lamps, metal halide lamps and mercury discharge lamps.

The most frequently used light sources in the road and public places lighting installations are the high-pressure sodium discharge lamps. Their shear in the total number of the applied light sources results presently 70% - 75%. The shear of the commonly used until now mercury discharge lamps results approximately 25%. These lamps are presently applied in the lighting installations of the parks, local roads, estate roads, etc.

The main obstacle in the replacement of the mercury discharge lamps with another lamp type is the shortage of the substitutional product which respects the specific requirements concerning the energy saving and durability as well as the light quality, i.e. the light colour and light rendering [1].

The sodium discharge lamps are characterised by their high durability and luminous efficacy, however the colour features of their light do not correspond to the lighting needs, for example on the green and housing area.

The metal halide lamps, considering their quality of the light, more and more often replace the sodium discharge lamps. They are characterised by a lower durability and lower luminous efficacy. They are also more sensitive to the supply voltage variations. For that reason LEDs, more and more often used in the road and park luminaires, seem to be the solution that includes all required features of the lamps applied in the outdoor lighting. These features include: high durability, light colour and high luminous efficacy.

Parameters of luminaires with LEDs

Presently, the manufactured LEDs and luminaires optics with their application are characterised by better and better usable parameters. The luminous flux distribution of the road lighting luminaires is normally formed by the individual reflecting elements and lenses – single ones or a set of them in a form of a plate, positioned on the LED panel [2].

The distributions of the luminous flux are precisely adopted to the oblong shape of the illuminated surfaces. On the drawing 1, there has been presented the luminaire with LEDs and the view of the light spot obtained with use of the lenses system, shown on the drawing 2.



Fig.1. LED luminaire



Fig.2. Light spot of LED luminaire

The intense works on improvement of the LEDs production technology lead to a visible improvement of the light quality and increase of their luminous efficacy.

In the luminaire presented on the drawing 1, there have been applied the Cree LEDs having the power of 1W and colour temperature of 6500K. The luminous efficacy of LEDs without power supply system and lenses, measured in the laboratory conditions, results 78 lm/W. The luminous efficacy of LEDs with lenses themselves results 68 lm/W.

The complete luminaire has got the luminous efficacy resulting approximately 56 lm/W. These parameters are lower than for the sodium discharge lamps and luminaires but the obtained light colour quality is significantly higher. Colour rendering index Ra = 67.

The luminous efficacy of the luminaires with LEDs is presently lower than of the luminaires with the sodium discharge lamps. However, in case of LEDs the final illumination effect depends non only on the lighting equipment energetic efficiency but also on a better adaptation of the light characteristics to the sight adaptation in the mesopic vision conditions. The visual sensation depends on the spectral luminous efficacy that changes with the sight accommodation level variations [3].

The lighting levels applied in the outdoor illumination are contained within the range where the lamps luminous flux calculated for the photopic vision not always corresponds with the real visual perception.

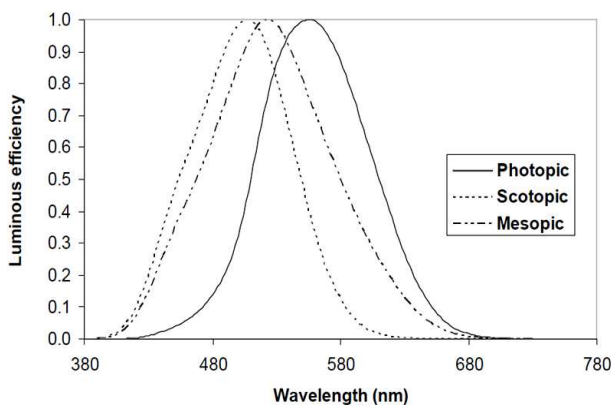


Fig.3. Photopic, scotopic and one mesopic luminous efficiency functions [4]

For the luminance level of 3 cd/m² the spectral sensitivity of the eye corresponds to the photopic vision. The scotopic, rods vision corresponds to the adaptation luminance level of 0,001 cd/m² that does not occur on the illuminated roads. For the intermittent luminance, the eye sensitivity changes and corresponds to the mesopic vision. In practice, it can be assumed that for the roads and streets having the high illuminating requirements the adaptation level corresponds to the photopic vision. For the low levels of the luminance the sight adaptation corresponds to the mesopic vision.

For the low levels of the illumination, the maximum of the eye spectral sensitivity shifts towards shorter waves. The eye responds stronger to the radiation within the short-wave part of the spectrum and it is exactly the feature of the radiation spectrum of typical LEDs. The radiation spectrum of the sodium discharge lamps does not have this feature.

For the mesopic vision the eye spectrum sensitivity has been described by the curve positioned between the curves for the photopic and scotopic vision – see drawing 3. In the subject literature [5] there has been described the simplified method of determining the “effective” luminance that corresponds to the present sight adaptation level. There is used the S/P parameter – i.e. the ratio of the lamp luminous fluxes recalculated for the eye adapted to the darkness (S) and to the brightness (P).

For a given spectral distribution of the lamp described with use of the S/P parameter and for a given adaptation luminance determined for the photopic vision, the “effective” luminance values are read from the table.

Table 1. Values of unified luminance for different base light levels and S/P ratios [5]

S/P	Base photopic luminance level cd/m ²					
	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6
0,25	0,0355	0,1009	0,2012	0,3250	0,4604	0,60
0,65	0,0747	0,1649	0,2659	0,3739	0,4862	0,60
1,05	0,1040	0,2054	0,3055	0,4047	0,5033	0,60
1,55	0,1330	0,2422	0,3402	0,4315	0,5182	0,60
2,05	0,1568	0,2705	0,3661	0,4512	0,5291	0,60
2,55	0,1770	0,2933	0,3865	0,4664	0,5375	0,60

Exemplary values S/P:

High pressure sodium lamp SON –T Plus 70W – **0,66**
LED luminaire - **2,1**

From the table 1 results that the visible differences in the luminance reception, depending on the spectral distribution of the lamp radiation, arise for the luminance lower than 0,6 cd/m² that is for the illumination levels of the roads and streets having the lower communication importance.

Calculations

For comparison of the sodium discharge lamps and lamps with LEDs application effects, there have been made measurements and calculations for an exemplary typical street and for various illumination requirements, including variable conditions for the sight adaptation.

The following data have been considered for calculation:
Width of the roadway – 7 m, height of the luminaires – 8 m, surface R3, luminaire location – over the edge of the road.
Luminaires:
SGS 103/70W SON-T Plus 70W
LLp-S60 LED 60W

There have been measured the distribution of the luminous flux of the LED luminaire LLp-S60 and the data have been introduced to the Relux Professional 2007 programme. The results of calculation have been compiled in the Table 2.

Table 2. Energy consumption of lighting system with use of the luminaires for the sodium lamps and LEDs for the various street lighting levels, including changes of the eye adaptation

Luminaires	Photopic luminance level cd/m ²		
	1,0	0,5	0,3
SGS 70W SON-T 70W	100%	103%	112%
Ref = 100% The luminaire SGS 103 with the sodium discharge lamps having the luminous flux determined for the photopic vision			
LLp-S60 LED 60W	114%	107%	94%

The calculation results indicate the sense of purpose the application of the luminaires with LEDs and in particular in the lighting of streets and places having the low lighting requirements.

For the residential streets, there are applied the lighting requirements basing on the illuminance level criterion while the luminance level is determinant for the adaptation conditions. The recalculation of the parameters basing on the illuminance into the luminance parameters requires to

be acquainted with the street surface reflection characteristics for typical observation conditions.

For valuation of the visual conditions variations on the local road – Fig.4, with the surface made of concrete blocks – Fig.5, there have been performed measurements of the luminance and illuminance.



Fig.4. Residential road



Fig.5. Typical concrete blocks

The luminance measurements have been performed for the observation distance of 20 – 30 m. For this observation (measurements) distance the measurements results gives average luminance coefficient q:

$$L/E = q = 0,06$$

The obtained measurements results have been utilised in calculations of the lighting parameters of the streets having the low lighting requirements (S - class). For the street shown on fig.4 and for various illumination requirements, there have been made calculations including variable conditions for the sight adaptation.

The calculation results have been shown in the table 3.

Table 3. Values of unified luminance for different S-classes lighting levels, for sodium and LED lamps

S	Base photopic luminance level cd/m ²					
	E [lx]	L= 0,06E	SON S/P = 0,66		LED S/P = 2,1	
S1	15	0,9	0,9	100%	0,9	100%
S2	10	0,6	0,6	100%	0,6	100%
S3	7,5	0,45	0,43	96%	0,49	109%
S4	5	0,3	0,27	90%	0,37	123%
S5	3	0,18	0,15	83%	0,25	139%
S6	2	0,12	0,09	75%	0,18	150%

The obtained results indicate the significant improvement of visual conditions on the local roads, illuminated with use of the lamps with LEDs in comparison with the sodium discharge lamps.

Conclusions

Basing on the shown calculation results there can be expected that in a short time the luminaires with LEDs shall find a broad application range in the outdoor lighting. It is a foregone effect resulting from the expected high luminous efficacy, advantageous radiation spectral distribution and significantly higher durability when comparing with the other lamps as well as practical independence of the operation parameters of the energy supply conditions.

It is necessary to elaborate simple methods basing on the equivalent levels of the luminance and illuminance determination that shall allow in designing practice to include variations within the eye spectral sensitivity.

There are also necessary the experimental research works concerning the visual conditions and operation features of the lighting systems with use of LEDs.

REFERENCES

- [1] P. Baranowski A. Stańczyk „Concavity and convexity of illumination” *Przegląd Elektrotechniczny* nr 8/2008
- [2] Górczewska M. Zastosowanie diod LED w oświetleniu zewnętrznym. *Przegląd Elektrotechniczny*, 11/2009, s.229-232.
- [3] Sagawa K. Vision of the elderly and visual impaired - for accessible design In light and lighting, *CIE Proceedings*, Pekin (2007), D1 62-65
- [4] Roadway Lighting. Lighting Research Center. Strona: <http://www.lrc.rpi.edu/programs>. 22.02.2010
- [5] Outdoor Lighting. January 2009. Lighting Research Center: <http://www.lrc.rpi.edu/programs>. 14.01.2010

Autors: dr inż. Małgorzata Górczewska, Politechnika Poznańska, Instytut Elektrotechniki i elektroniki Przemysłowej, ul. Piotrowo 3a, 60-965 Poznań, E-mail: luxel@hot.pl

mgr inż. Sandra Mroczkowska, Politechnika Poznańska, Instytut Elektrotechniki i elektroniki Przemysłowej, ul. Piotrowo 3a, 60-965 Poznań, E-mail: Sandra.Mroczkowska@put.poznan.pl

Constant-current Driving of the RGB LED

Abstract. LED RGB driving circuit should allow to stabilise the chosen colour of light according to the changing working conditions. Usually it is done by the PWM control of the monochrome diode components. Some new integrated circuits widen the methods of LED control. Those ICs, working under processor control, realise the constant-current supplying of LED diodes. The paper contains the description of main properties of such integrated circuits and some results of realised research works on their application features.

Keywords: constant-current LED RGB driving, LED group working, microcontrollers

LED RGB driving

The main aims of LED RGB driving circuit are the controlling the value of luminance flux and its colour. They are two basic features of LED RGB diode, as a light source illuminating architectural elements, art objects, etc. To achieve the changes of these parameters, the monochromatic components of RGB diode should be controlled. The main electrical factors deciding about the work of RGB diode are forward currents flowing by component diodes. By controlling of these currents we can:

- change the ratios between monochromatic luminance fluxes Φ_R, Φ_G, Φ_B to change the colour of resultant flux;
- change total luminous flux by simultaneous changes forward currents I_{FR}, I_{FG} and I_{FB} in component diodes;
- correct the influences on brightness and luminance colour such environment factors as ambient temperature or ageing the LED diode as a semiconductor devices.

Very popular method of LED luminance control is applying the pulse width modulation. It is based on human eyesight sense features: integrating light pulses and limited fast event notification. By appropriate selecting the duty cycle coefficients it is possible to control total luminance flux as the sum of monochrome component fluxes:

$$(1) \quad \Phi = \Phi_R + \Phi_G + \Phi_B$$

The same principle is used to control the LED RGB colour - the changes of ratios between component luminance fluxes Φ_R, Φ_G, Φ_B result in the colour changes.

PWM controlled LED RGB drivers can be built using analog circuits [1], microcontrollers [2] and even FPGA devices [3]. Unquestionable disadvantage of described above method is the necessity of simultaneous, multi-channel generating rectangle waveforms with suitable high frequency and adjustable duty cycle coefficients. Therefore, the appearance of new solutions in driving LED devices is worthy of notice.

Constant-current IC drivers - general characteristic

Texas Instruments offers a several ICs, dedicated to constant-current driving of 16 LED diodes, with separate forward current correction. There are the chips: TLC5922, TLC5923 and TLC5924. They have some common features [4, 5, 6], like:

- 16 output channels, each with controlled current source with the current range 0-80 mA and accuracy $\pm 1\%$;
- 7-bit current correction coefficient, separately for each channel;
- individual switching of output channels;
- IC supply voltage range: 3,0-5,5 V;
- LED device supply voltage up to 17 V, what allows to control LED connected in series;

- serial synchronous SPI interface, with speed up to 30 MHz, allowing supervising controller to control the work of IC driver;
 - input of common blanking all the output channels;
 - the possibility of cascading IC devices on SPI bus.
- Except the common features, presented ICs have some differences each other, as it is shown in table 1.

Table 1. Selected feature differences of TLC5922/23/24

Feature	TLC5922	TLC5923	TLC5924
operation temperature range	-20+85°C	-40+85°C	-40+85°C
LED open detection and indication	-	+	+
over-temperature indication	-	+	+
maximum LED supply voltage U_{LEDMAX}	17 V	17 V	16 V
pre-charge FET circuit	-	-	+

Autonomous work of IC drivers

Presented IC drivers are able to work autonomous, without supervising microcontroller, but in that case they would drive the LEDs with a stable forward current, the same for all output channels. Then, the only method of changing the forward currents is to change external resistor R_{REF} . That discrete element is placed between the power ground and built-in band gap with a typical value of 1,24 V. The maximum output current per channel can be calculated by formula 2.

$$(2) \quad I_{OUTMAX} = \frac{1,24V \cdot 40}{R_{REF}}$$

The value of R_{REF} should not be smaller than 600 Ω . The above relation is illustrated by figure 1.

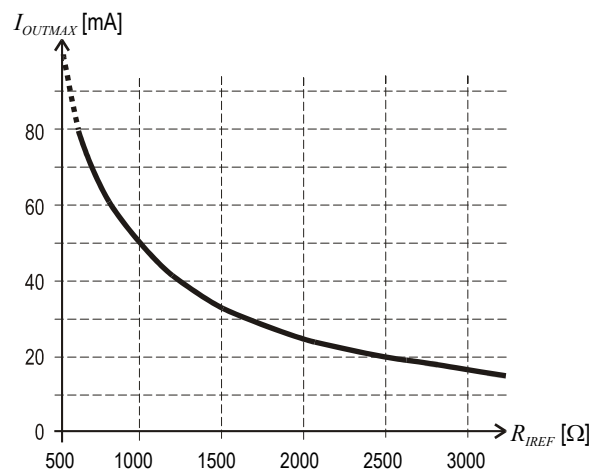


Fig.1. The relation between the value of external resistor R_{REF} and maximum output current I_{OUTMAX}

The second way of controlling the LED devices, connected to autonomous working IC driver, is the usage of input terminal BLANK, which high logic level switches off simultaneously all output channels.

In addition, TLC5923/24 devices have output signal XERR, informing about detection of their malfunction, like open LED circuit or over-temperature condition of IC.

TLC5924 chip has also built-in pre-charge FET circuit, that enables an improvement in image quality of the dynamic-drive LED display. That circuit uses LED supply voltage U_{LED} provided to selected terminal of driver package. If the current-carrying capacity of single output channel, equal 80 mA, is insufficient, there is a possibility of parallel connecting several outputs. That solution is recommended by manufacturer in one of the application notes [7]. In that case the resultant maximum current of paralleled outputs is calculated by formula:

$$(3) \quad I_{OUTN} = N \cdot I_{OUTMAX}$$

Because presented IC drivers have 16 current outputs each, then to drive POWER LED RGB, it is possible to group outputs into 3 groups, with 5 paralleled outputs per each group. In such circuit, the maximum forward current of monochromatic components would be equal 400 mA.

Co-operation with microprocessor system

The proper application circuit of TLC5922/23/24 devices uses the connection with supervising microcontroller. Allowable supply voltage of ICs (3.3V - 5V) lets for collaboration with either older or up-to-date microcontrollers. The example circuit, with AVR controller, is shown in figure 2. For co-operation between LED IC drivers and controller the built-in SPI-slave interface is used. Using this interface the supervising microcontroller can transfer to IC driver:

- 16-bit switching word, which bits switch on or off independently all output channels (Fig.3a);
- 112-bit word, called dot-correction word, containing sixteen 7-bit length coefficients DC_X , programming each of the 16 output current I_{OUTX} (Fig.3b).

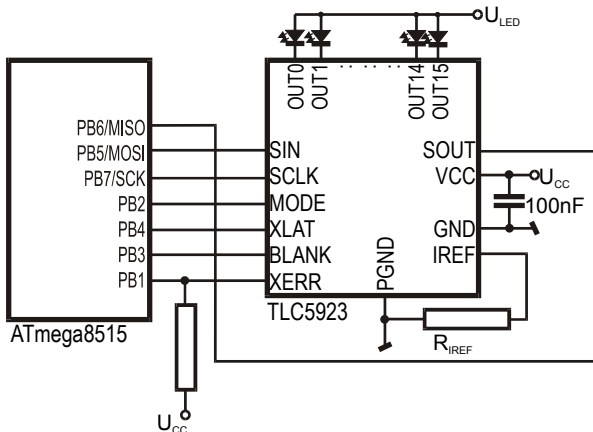


Fig.2. Typical application - connection with supervising microcontroller

For distinguishing those both transmissions the additional control input terminal, called MODE, is used. Each transfer ends with the pulse on latching input XLAT. The rising edge on XLAT input causes storing the serial transferred data in appropriate internal register. Moreover, TLC5923 and TLC5924 devices allow read out 16-bit error word. It depends on reading the states of LED open

detection circuits in output channels, during falling edge of XLAT signal into internal shifting register. That shifting register can be read via serial data output SOUT using sixteen clocking pulses on SCK input. According to SPI standard, the simultaneous writing of switching word and reading of error word is possible, too.

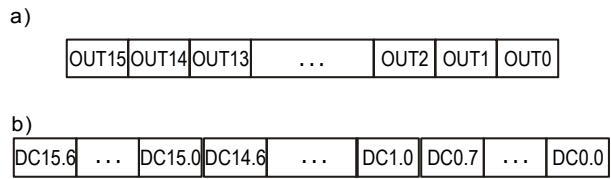


Fig.3. Control words for TLC5922/23/24 devices: a - 16-bit switching word; b - 112-bit dot correction word with coefficients DC_X

The open-drain (OD) output XERR is used to report detected malfunctions in TLC5923/24 chips. The circuit-break at least in one off enabled output channels or over-temperature condition of IC structure pulls down that output. Open-drain configuration allows to connect many such outputs to a single line, to inform the microcontroller about working errors of many LED drivers. This line can be either periodically checked by microcontroller or used as its external interrupt.

Especially useful, using supervising microcontroller, is the possibility of individual output current adjustment. Each of the 16 channel has its own 7-bit coefficient word DC_X , which value determines the actual output current of it. The current adjustment range is from 0 mA up to I_{OUTMAX} , defined by external resistor R_{REF} (formula 2). That adjustment range is divided into 128 equal steps. It means, that if I_{OUTMAX} is equal 80 mA the value of adjustment step is equal 625 μ A. This is a satisfied value for precise control of RGB LED component currents. By appropriate changes of coefficients DC_X , we can control the LED brightness with simultaneous stabilising the ordered colour of luminance. Because LED devices are non-linear semiconductor elements, brightness control can't be achieved by simple scaling of DC_X coefficients for monochrome components. In that case additional calculations, using working characteristics $\Phi = f(I_F)$ for each monochrome component, are necessary.

During driving POWER RGB LED with connected in parallel N output channels, due to higher working currents, we achieve very wide adjustment range of component currents I_{FR} , I_{FG} , I_{FB} . Because each of paralleled output currents I_{OUTX} , according to value of DC_X coefficient, can have independently any of 128 values from the range $<0 \text{ mA}; I_{OUTMAX}>$, the resultant currents can be adjusted in the range $<0 \text{ mA}; N \cdot I_{OUTMAX}>$, in $N \cdot 128$ steps each - formula 4.

$$(4) \quad I_{FR(GCB)} = \sum_{X=1}^N DC_X \cdot I_{OUTX}$$

Selected results of tests

Data sheets of presented IC drivers states, that maximum frequency of serial interface clocking signal is equal 30 MHz. In practice, data transfer can have either software or hardware implementation. The second one is possible, if used microcontroller have built-in SPI-master interface. The suitable testing software, written in machine language, had been prepared for test circuit from figure 2. Programmes were debugged and tested in IDE AVRStudio. The realised tests with supervising microcontroller ATmega8515, clocked frequency 10 MHz, allow to estimate

transfer execution times of most important control operations for TLC5922/23/24. The results are presented in table 2. The utilization of high level programming language (like C) can cause little longer service times. It depends on either applied programming techniques or selected compiler optimization options.

Table 2. Execution times of software and hardware implementations the main control operations for TLC5922/23/24 devices

Operation	Implementation	
	software	hardware
16b control word transfer	22,3 μ s	9,1 μ s
112b dot-correction word transfer	144,1 μ s	82,1 μ s
16b control word transfer with simultaneous read out the error word (doesn't match TLC5922)	25,7 μ s	9,7 μ s
switching the LED group using BLANK signal	0,3 μ s	0,3 μ s
minimum SPI clocking period	0,4 μ s	0,2 μ s

The analysis of the table 2 contents leads to a conclusion that: the usage of hardware SPI interface increases the LED driver speed twice. Using hardware SPI interface it's possible to update switching word to 100000 times per second, and current adjustment word can be transferred about 10000 times per second. There are quite satisfied values, according to human eyesight sense perception ability. So if we don't operate with maximum possible speed, we have free processor time, which can be used for additional calculations, needed for example to appropriate correction of current coefficients DC_X during brightness control.

The possible high speed of LED driver service via hardware SPI is an important observation due to sometimes a big number of controlled drivers. Microcontroller supervising of few or more drivers like TLC5922/23/24 becomes easier, because these chips can be cascaded on SPI bus, as it's shown in figure 4.

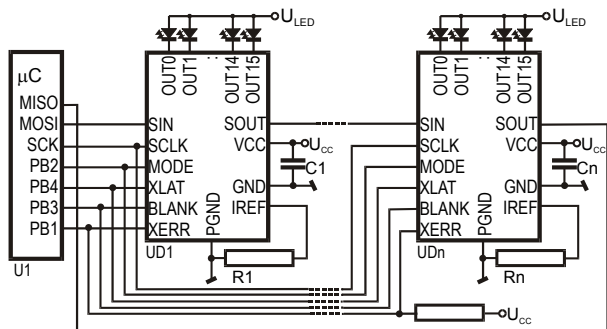


Fig.4. Cascading TLC5922/23/24 LED drivers on SPI bus

Conclusion

Constant current driving of LED RGB diodes becomes the alternative solution to the usually used driving circuits, like switching supplying or PWM control. It is possible due to new specialized integrated circuits - LED drivers, provided controllable constant current. Presented in the paper idea of adjusting monochrome component currents of RGB diode, can be also widened to quad-colour LEDs, which become to be more often applied in illuminating by the reason of better colour rendering. Presented in the paper ICs from Texas Instruments are not a unique devices, also other firms offer constant current drivers.

REFERENCES

- Gilewski M., Karpiuk A.: Elektroniczna stabilizacja parametrów świetlnych LED RGB. Przegląd Elektrotechniczny, nr 8, str. 194-198, 2008.
- Wojtkowski W.: Wykorzystanie sprzętowych bloków PWM mikrokontrolerów AVR do regulacji jasności świecenia diod LED dużej mocy. Przegląd Elektrotechniczny, nr 11, str. 306-309, 2009.
- Wojtkowski W.: Wielokanałowa regulacja jasności świecenia diod LED z wykorzystaniem układów programowalnych FPGA. Przegląd Elektrotechniczny, nr 11, str. 310-312, 2009.
- Texas Instruments: TLC5922 LED driver. Datasheets on www.ti.com. 2009.
- Texas Instruments: TLC5923 16-channel LED driver with dot correction. Datasheets on www.ti.com. 2005.
- Texas Instruments: TLC5924 16-channel LED driver with dot correction and pre-charge FET. Datasheets on www.ti.com. 2006.
- Day M.: LED driver - Paralleled Outputs Provide High-Current Outputs. Application report on www.ti.com. 2006.

Presented results are the part of research work No S/WE/1/06

Author: dr inż. Lech Grodzki, Politechnika Białostocka, Wydział Elektryczny, ul. Wiejska 45D, 15-351 Białystok, E-mail: lgrodzki@we.pb.edu.pl

Role of Illumination in Property Protection

The role of lighting nowadays is increased in property protection. This role is double. The aim of lighting is to see in dark hours, in addition to the illumination have to keep back the malicious man to penetrate into the establishment under protection and to give enough light for video systems to show the incident in the centre (this can be far away). Nowadays the lighting of industrial and commercial projects are planned considering many circumstances. The one of them at the present time is lighting demands of the property protection. The cost of lighting and protection system can be very high in industrial and commercial projects, this is why very important to coordinate the two systems. I try to show the lighting demands of property protection and present finished and operating systems.

We are collecting data of measurements. They are demonstrated in Brno.

A világítás szerepe a vagyonvédelemben

A világítás szerepe manapság erősen megnövekedett a vagyonvédelemben. Ez a szerep kettős, egyrészt a világításnak biztosítani kell a sötét időszakban a megfelelő látást, e mellett visszatartó hatással kell lennie a védett objektumba behatolni szándékozó személyre és elegendő világítást kell adnia a video rendszereknek ahhoz, hogy megfelelő képet továbbítsanak a kezelő központba (ami nagyon távol is lehet).

Manapság a nagy létesítmények világítását és biztonsági rendszerét számos körülmény figyelembevételével végzik. Ezek egyikét a vagyonvédelem világítási követelményei adják. A világítási és a biztonsági rendszer költségei ipari és szolgáltatói nagy beruházásoknál rendkívül nagyok lehetnek, ezért rendkívül fontos a két rendszer összehangolása már a tervezésnél.

Előadásomban összefoglalom a vagyonvédelmi rendszerek világítási igényeit és bemutatok néhány elkészült és jól együttműködő világítási és vagyonvédelmi rendszert.

Még gyűjtjük a mérési adatokat, amelyeket Brnóban mutatunk be.



Budoucnost veřejného osvětlení

Veřejné osvětlení se nachází na počátku nové epochy, od které lze očekávat řadu změn. Řešení soustav veřejného osvětlení bude stále více ovlivňováno jak novými technickými prostředky, změnami legislativních opatření, tak i novými koncepčními přístupy. Impulsem pro tyto změny bude nejen velmi rychlý vývoj v oblasti nových světelných zdrojů, optických systémů a svítidel, ale i způsobů napájení, ovládání a regulace osvětlovacích soustav. Neméně důležitý vliv budou mít též výsledky výzkumů zrakového výkonu v oblasti mezopického vidění.

Klíčová slova: veřejné osvětlení, světelné diody, mezopické vidění.

Úvod

Nové světelné zdroje, zvláště světelné diody, díky svým technickým parametrům do budoucna ovlivní nejen provozní náklady a energetickou náročnost osvětlovacích soustav veřejného osvětlení, ale také jejich životnost a spolehlivost. Současně se dá předpokládat, že dojde ke zvýšení kvality osvětlení, spojené s celkovou bezpečností provozu a zrakovou pohodou na pozemních komunikacích. Geometrické rozměry a charakter vyzařování nových světelných zdrojů budou mít rovněž vliv na vzhled svítidel a řešení optických systémů.

Rozvoj elektronických zařízení používaných k napájení a ovládání svítidel nabídne nové možnosti při napájení, spínání a regulaci osvětlovacích soustav.

Z řady aspektů, které budou ovlivňovat budoucí podobu osvětlovacích soustav veřejného osvětlení, je příspěvek zaměřen na spektrální vlastnosti světelných zdrojů.

Do současné doby byly spektrální vlastnosti osvětlení chápány pouze jako kvalitativní parametr, který s měrným výkonem nebo účinností osvětlovací soustavy souvisí jen minimálně. Nové technologie a postupy při výrobě světelných zdrojů a poznatky z oblasti zrakového vjemu v podmínkách mezopického vidění názorně ukazují, že spektrálními vlastnosti světla světelných zdrojů významně ovlivní nejen kvalitativní, ale také kvantitativní parametry osvětlení.

Spektrální vlastnosti a měrný výkon světelných zdrojů

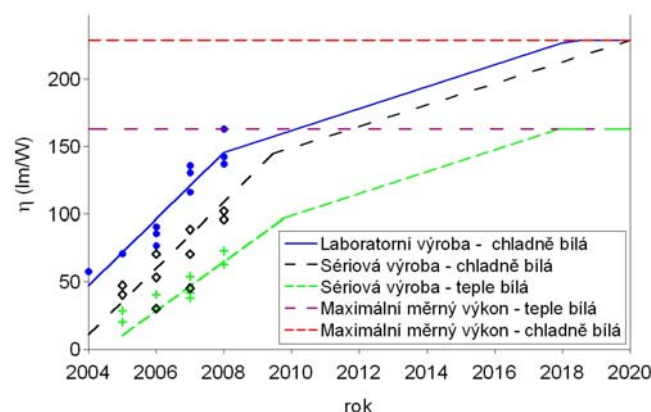
Spektrální vlastnosti světla světelných zdrojů se v běžné praxi popisují dvěma parametry; všeobecným indexem podání barev R_a (-) a teplotou chromatičnosti T_c (K). Všeobecný index podání barev charakterizuje věrnost vjemu barev ve světle posuzovaného světelného zdroje v porovnání s vjemem barev ve světle standardizovaného světelného zdroje světla (např. denní světlo). Všeobecný index podání barev je číslo v rozsahu od 0 do 100. Hodnota 0 popisuje situaci, kdy barvy nelze rozlišit vůbec a hodnota 100 vystihuje situaci s věrným vjemem barev.

Osvětlovací soustavy se světelnými zdroji, jejichž světlo je charakterizováno vysokým indexem podání barev, mají zpravidla větší energetickou náročnost.

Teplota chromatičnosti T_c , resp. náhradní teplota chromatičnosti T_{cn} , charakterizuje barevný tón vyzařovaného světla a udává se v Kelvinech (K). U běžných světelných zdrojů se pohybuje přibližně v rozsahu od 2 000 K do 6 500 K. Zdroje s teplým barevným tónem mají teplotu chromatičnosti do 3 300 K, zdroje s neutrálně bílým barevným tónem v rozsahu od 3 300 K do 5 000 K a zdroje s chladně bílým barevným tónem nad 5 000 K.

Vývoj technických parametrů světelných diod v předchozích letech původně ukazoval na významnou závislost měrného výkonu na náhradní teplotě chromatičnosti vyzařovaného světla.

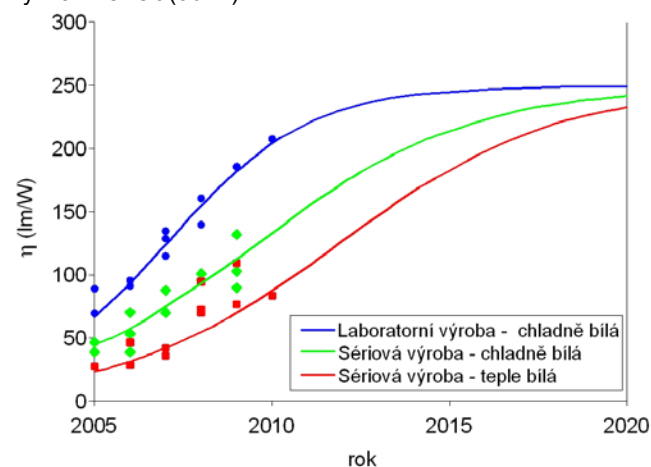
Tento předpoklad ovlivnil odhadované trendy vývoje měrného výkonu světelných diod (obr. 1)



Obr.1 Předpokládaný vývoj měrného výkonu η (lm/W) světelných diod (350mA) pro chladně a teple bílý barevný tón vyzařovaného světla uveřejněný na začátku roku 2009 [1].

V této souvislosti se začalo diskutovat jaká teplota chromatičnosti je ještě přijatelná pro určité třídy pozemních komunikací a kde je hranice mezi kvalitativními, v tomto případě spektrálními, vlastnostmi osvětlení a energetickou náročností osvětlovací soustavy.

Výsledky dalších výzkumů a teoretických prací publikovaných v průběhu let 2009 a 2010, zaměřené na teoretické maximum světelného účinku záření a prakticky dosažitelnou hodnotu měrného výkonu [3], však ukázaly, že zmíněná maxima měrných výkonů světelných diod s různými teplotami chromatičnosti vyzařovaného světla se při aplikaci moderních výrobních technologií nemusejí významně lišit (obr. 2).



Obr.2 Předpokládaný vývoj měrného výkonu η (lm/W) světelných diod (350mA) pro chladně a teple bílý barevný tón vyzařovaného světla uveřejněný na začátku roku 2010 [2].

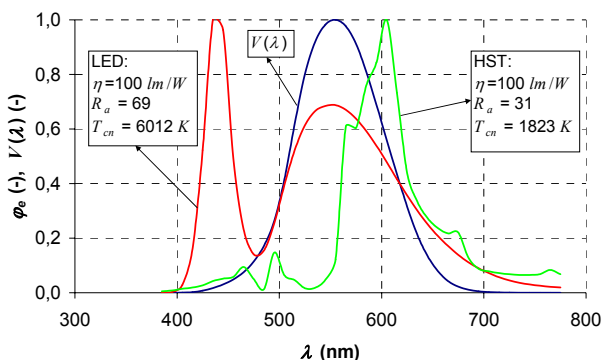
Současně se ukazuje, že ani všeobecný index podání barev nemusí mít výraznější vliv na měrný výkon. V tabulce 1 jsou uvedeny teoretické maximální a prakticky dosažitelné hodnoty měrných výkonů pro světelné diody vyzařující bílé světlo, vytvářené míšením tří základních barevných složek (RGB). Prakticky dosažitelná hodnota měrného výkonu, související s účinností přeměny elektrické energie na světelnou, odpovídá 67% jeho teoretického maxima [2].

Údaje v tab. 1 ukazují, že při teplotách chromatičnosti vyzařovaného světla v rozsahu od 2 700 K do 6 500 K se hodnoty prakticky dosažitelných měrných výkonů neliší o více než 15%. Při změnách indexu podání barev v rozsahu od 70 do 90 se hodnoty prakticky dosažitelných měrných výkonů neliší o více než 5%. Získává-li se bílé světlo světelných diod transformací záření z oblasti kratších vlnových délek do oblasti delších vlnových délek s využitím luminoforu, je předpokládána hodnota dosažitelného měrného výkonu okolo 250 lm/W [2].

Tab.1 Hodnoty teoreticky maximálních a prakticky dosažitelných měrných výkonů světelných diod v závislosti na náhradní teplotě chromatičnosti a všeobecném indexu podání barev [2].

T_{cn} (K)	Teoretická maximální hodnota η (lm/W)			Prakticky dosažitelná hodnota η (lm/W)		
	R_a (-)			R_a (-)		
	70	80	90	70	80	90
2700	433	424	416	290	284	279
4100	408	399	390	261	267	261
6500	366	358	349	245	240	234

Dosažení hodnot měrných výkonů uvedených v tabulce 1 přímo souvisí se spektrálním složením vyzařovaného světla. Čím lépe je průběh spektrální zářivé energie světelného zdroje přizpůsoben průběhu spektrální citlivosti lidského oka, tím je měrný výkon světelného zdroje větší (obr. 3).



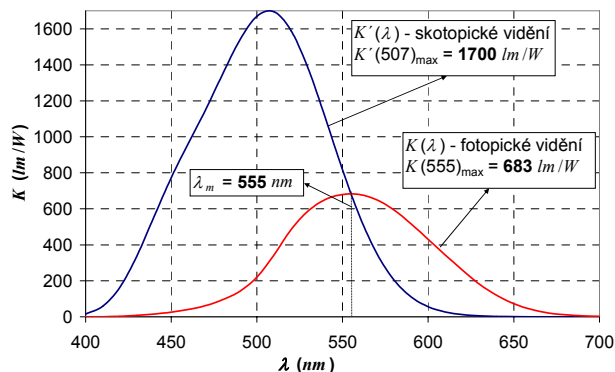
Obr. 3 Spektrální průběh citlivosti lidského oka pro denní (fotopické) vidění $V(\lambda)$ a poměrného zářivého toku vysokotlaké sodíkové výbojky (HST) a světelné diody (LED).

Současné výrobní technologie v oblasti výroby světelných zdrojů (zvláště u světelných diod) umožňují v podstatně větší míře vyzařované spektrum zářivé energie přizpůsobit průběhu spektrální citlivosti lidského oka. Tím lze docílit, ve srovnání ze stávajícími světelnými zdroji používanými ve veřejném osvětlení, zvýšení měrného výkonu, při současném zachování velmi dobrých barevných vlastností osvětlení.

Mezopické vidění a měrný výkon světelných zdrojů

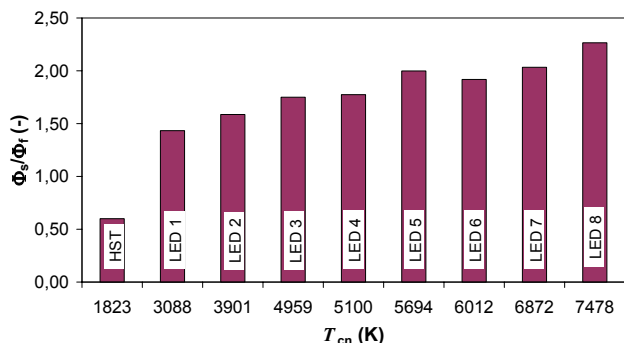
Vedle technologických hledisek zásadním způsobem ovlivňují podmínky zrakového vnímání v noční době adaptační procesy. V lidském oku se nacházejí dva typy fotoreceptorů s odlišnou spektrální citlivostí. Jejich funkce je

přímo spojená s hladinou okolního osvětlení, tedy s adaptačním jase. Při vysokých adaptačních jasech (např. osvětlení interiérů, denní světlo) se uplatňují převážně čípky, jejichž spektrální citlivost odpovídá poměrné spektrální citlivosti normálního fotometrického pozorovatele, charakterizované křivkou $V(\lambda)$. Naopak při velmi nízkých adaptačních jasech (např. noční vidění) se uplatňují převážně tyčinky, jejichž spektrální citlivost se popisuje křivkou $V'(\lambda)$ (obr. 4).



Obr.4 Absolutní průběhy spektrální citlivosti lidského oka při denní (fotopickém) a nočním (skotopickém) vidění.

Světelný tok světelných zdrojů se stanovuje zhodnocením spektrálního průběhu zářivého toku spektrální citlivostí zraku. Vzhledem k tomu, že spektrální citlivost lidského oka se pro fotopické a skotopické vidění liší (obr. 4), liší se také světelné toky odpovídající oběma případům. V podmínkách skotopického vidění roste spektrální citlivost lidského oka ke kratším vlnovým délkám (cca 450 nm až 550 nm) a tudíž se více uplatňují spektrální složky záření zdrojů v této oblasti. Rozdílné hodnoty fotopického Φ_f a skotopického Φ_s světelného toku vystihuje obr. 5, kde jsou graficky znázorněny podíly skotopického a fotopického světelného toku u různých typů světelných zdrojů (vysokotlaká sodíková výbojka a světelné diody s různým spektrem) v závislosti na náhradní teplotě chromatičnosti T_{cn} vyzařovaného světla.



Obr. 5 Závislost poměru skotopického Φ_s a fotopického Φ_f světelného toku na náhradní teplotě chromatičnosti T_{cn} pro vysokotlakou sodíkovou výbojku (HST) a světelné diody s různým spektrálním složením (LED).

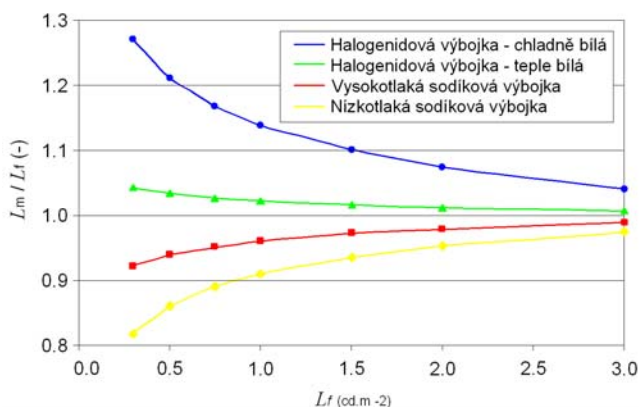
U uličního osvětlení se běžně setkáváme se situací, kdy se adaptační jasy pohybují v oblasti od 0,03 do 3,0 cd.m⁻² a zrak pozorovatelů se pak nachází v oblasti tzv. mezopického vidění. V tomto případě se uplatňují jak čípky, tak i tyčinky, a to v určitém poměru, v závislosti na adaptačním jasu pozorovatele.

V běžné praxi se však zmíněná rozdílnost adaptačních podmínek doposud nerespektuje a i v podmínkách

mezopického vidění se pracuje s fotometrickými veličinami stanovenými pomocí fotopické fotometrie.

Přestože výzkumy problematiky mezopické fotometrie probíhají již 70 let, teprve v posledním období se dospělo k určitému návrhu na řešení problému výpočtu průběhu poměrné spektrální citlivosti zraku pozorovatele v podmínkách mezopického vidění. V průběhu 90. let byly vytvořeny dvě základní metody pro popis mezopické fotometrie; evropský MOVE-system a americký USP-system. Oba přístupy jsou v současné době využity při návrhu nové metody, zpracovávané technickou skupinou TC1-58 Mezinárodní komise pro osvětlování (CIE), která by byla akceptovatelná na mezinárodní úrovni.

Výsledky dosavadních výzkumů ukazují, že zohlednění mezopické fotometrie v praxi může prokazatelně ovlivnit jak kvalitu zrakového vjemu, zrakový výkon, reakční dobu řidiče tak i energetickou náročnost venkovních osvětlovacích soustav.



Obr. 6 Závislost poměru mezopického L_m a fotopického L_f jasu na úrovni osvětlení vyjádřené hodnotou fotopického jasu pro světelné zdroje s různým spektrálním složením světla.

Vliv spektrálního složení záření různých typů světelných zdrojů na světelný tok v podmínkách mezopického vidění v závislosti na adaptačním jasu je patrný z obr. 6 [4].

Z průběhu na obr. 6 je zřejmé, že v oblasti nízkých adaptačních jasů existují poměrně velké rozdíly v poměru mezopického a fotopického jasu, resp. světelného toku u různých typů světelných zdrojů. S narůstajícími hodnotami adaptačního jasu se zmíněné rozdíly podstatnou měrou snižují.

Závěr

Výsledky publikovaných výzkumů [1,2,3,4] ukazují, že spektrální vlastnosti záření světelných zdrojů budou stále více ovlivňovat návrh a výslednou podobu uličních osvětlovacích soustav.

V oblasti výroby světelných zdrojů se bude klást větší důraz na přizpůsobování spektrálního rozložení zářivého toku spektrální citlivosti zraku pozorovatele, a to nejen ve fotopické, ale i mezopické oblasti vidění. To umožní další nárůst měrného výkonu světelných zdrojů při současném zachování kvalitativních parametrů osvětlení ovlivňujících zrakovou pohodu i zrakový výkon.

Oblast mezopické fotometrie v budoucnu ovlivní řešení osvětlovacích soustav veřejného osvětlení hlavně u nižších tříd komunikací s nižšími adaptačními jasy, kdy je vliv spektrálních vlastností použitých světelných zdrojů významný.

LITERATURA

- [1] Navigant Consulting, Inc., Radcliffe Advisors, Inc. a SSLS Inc., Solid-State Lighting Research and Development: Multi-year program plan FY'09-FY'15, March 2009
- [2] Bardsley Consulting, Navigant Consulting, Inc., Radcliffe Advisors, Inc. SB Consulting a Solid State Lighting Consulting Inc., Solid-State Lighting Research and Development: Multi-Year Program Plan, March 2010
- [3] Ohno Y., Improving the color spectrum to increase LED efficacy, 2010 DOE SSL Transformations in Lighting Workshop, Raleigh, NC, February 2. – 4., 2010,
- [4] Goodman T.: The CIE System for Mesopic Photometry: Development and Implementation, Proceedings of CIE 2010 "Lighting Quality and Energy Efficiency", 14-17 March 2010, Vienna, ISBN 978 3 901906 83 1

Autoři: prof. Ing. Jiří Habel, DrSc., ČVUT Praha, fakulta elektrotechnická, Technická 2, 160 00 Praha 6, E-mail: habel@fel.cvut.cz
Ing. Petr Žák Ph.D., ČVUT Praha, fakulta elektrotechnická, Technická 2, 160 00 Praha 6, E-mail: zak@etna.cz

Energetická náročnost osvětlovacích soustav

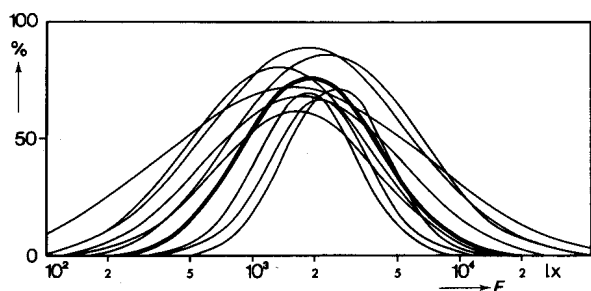
Problematice energetických úspor nejen v oblasti osvětlování, ale i řadě jiných oborů, je věnována pozornost již řadu let. Významným okamžikem v procesu řešení tohoto tématu bylo zahájení diskuze o globálním oteplení. Jedním z důsledků této diskuze je zvyšující se tlak na urychlené zavádění nových technologií, postupů i legislativy, které vedou ke snižování energetické náročnosti ve venkovních i vnitřních osvětlovacích soustavách. Příspěvek se věnuje vztahu mezi světelně technickými parametry a energetickou náročností osvětlení a popisuje možné směry v hledání energeticky účinných osvětlovacích soustav.

Klíčová slova: osvětlovací soustavy, energetická náročnost budov, úspory elektrické energie.

ÚVOD

V současné době je na nejrůznějších úrovních velmi diskutovanou otázkou problematika energetické náročnosti různých typů budov, zahrnujících objekty administrativní, průmyslové, zdravotnické, vzdělávací a další. Součástí této problematiky je i řešení energetické náročnosti osvětlovacích soustav zmíněných objektů. Pokladem k tomu je nově koncipovaná norma ČSN EN 15 193 Energetická náročnost budov – Energetické požadavky na osvětlení a technická normalizační informace TNI 73 0327.

Návrh osvětlení vnitřních i venkovních prostorů primárně vychází z jejich využití. Cílem návrhu osvětlení je vytvoření vhodných světelných podmínek pro danou zrakovou činnost (např. čtení, psaní, obrábění, lékařské zákroky apod.). Proto, aby bylo možné stanovit, jaké světelné podmínky jsou pro konkrétní zrakovou činnost dostatečné, byla uskutečněna řada odborných i vědeckých studií a experimentů. Na základě statistických vyhodnocení jejich výsledků byly pro jednotlivé zrakové činnosti stanoveny hodnoty světelně technických parametrů, které se pak staly součástí národních i mezinárodních norem. Důležitou skutečností je, že současné světelně technické parametry obsažené v normách a doporučeních nejsou hodnotami optimálními, ale jsou kompromisem mezi ekonomickými možnostmi společnosti a optimálními zrakovými podmínkami [1].



Obr. 1 Výsledky výzkumů subjektivního hodnocení hladin osvětlenosti ve vnitřních pracovních prostorech při zářivkovém osvětlení vyjádřené procentuálním počtem spokojených lidí v závislosti na hladině osvětlenosti.

Optimální hodnoty světelně technických parametrů v porovnání s normativními jsou výrazně vyšší. Na obr. 1 jsou uvedeny výsledky některých experimentů zaměřené na hodnocení dostatečné úrovně osvětlení ve vnitřních pracovních prostorech, určených pro obvyklé kancelářské práce. Zatímco doporučené hodnoty osvětlenosti v normách pro tyto zrakové úkoly se pohybují okolo 500 lx, optimální hodnoty jsou až okolo 2 000 lx.

CHARAKTER OSVĚTLENÍ

Pro návrh osvětlení jsou důležité nejen světelné technické parametry, ale také další hlediska, která je třeba zohlednit, aby výsledné řešení bylo funkční a kvalitní:

- Hledisko zrakové pohody - postihuje vizuální vzhled osvětleného prostoru, tedy světelnou atmosféru a vzhled osvětlovací soustavy, tedy pohledové uplatnění svítidel v daném prostoru.
- Hledisko světelně technické - zahrnuje volbu světelně technických parametrů podle účelu a využití řešeného prostoru. Tyto parametry primárně zohledňují fyziologické a bezpečnostní požadavky, ale také požadavky psychologické. V poslední době se začíná hovořit také o požadavcích biologických.
- Hledisko provozně technické - zahrnuje energetickou náročnost osvětlovací soustavy, její provoz a údržbu a také problematiku investičních i provozních nákladů.
- Hledisko vnějších vlivů - postihuje skutečnost, že osvětlení může mít vedle své primární funkce i vedlejší účinky, které mohou nepříznivě ovlivňovat řešený prostor, předměty v něm umístěné nebo prostory sousedící. Jde například o kontrolu UV záření při osvětlování citlivých exponátů v muzeích a galeriích, oslnění uživatelů sousedících prostorů apod.

Charakter osvětlení v řešeném prostoru se může lišit nejen podle využití prostoru, ale také podle toho, jakou roli hrají fyziologické či biologické požadavky pozorovatelů. Osvětlení, kde hlavní roli hrají fyziologická hlediska, vychází ze světelně technických parametrů uvedených v normách. Příkladem je osvětlení kancelářských prostorů, průmyslových objektů apod. Osvětlení, které je primárně založeno na psychologických hlediscích, slouží k vytvoření určité světelné atmosféry v daném prostoru a je zpravidla součástí výtvarného řešení interiéru. Takovýto charakter osvětlení se vyskytuje například ve společenských a kulturních prostorech jako jsou divadla, kina, restaurace apod. Poměrně složitá subjektivní povaha takového osvětlení neumožňuje zjednodušené objektivní vyjádření současnými světelně technickými parametry. Osvětlení, které vychází z biologických hledisek uživatelů, není primárně zaměřeno na vytvoření světelného prostředí pro určitý zrakový úkol, ale využívá osvětlení pro ovlivnění biologického systému člověka. Návrh tohoto typu osvětlení vychází z jiných požadavků, než jsou požadavky vizuální a energetická náročnost takovýchto osvětlovacích soustav je vyšší než energetická náročnost běžných osvětlovacích soustav.

Energetická náročnost osvětlení je při návrhu a posuzování osvětlovacích soustav až následným hlediskem, které lze formulovat tak, že požadované světelné technické parametry by měly být dosaženy energeticky co možná nejúčinnějším způsobem. Požadavky na nižší energetickou náročnost osvětlení nelze v žádném případě nadřazovat nad požadavky světelné technické.

ENERGETICKÁ NÁROČNOST OSVĚTLENÍ

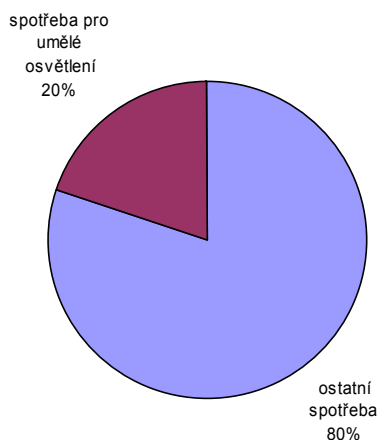
Přístup k úvahám o energetické náročnosti osvětlení se liší v závislosti na tom, zda se hodnotí navrhovaný, popřípadě nově realizovaný objekt nebo zda se posuzuje energetická náročnost stávající budovy.

V případě nového objektu je přesně znám instalovaný příkon osvětlovací soustavy, ale dobu využití a případně i skutečný provozní příkon, je třeba určit na základě informací o předpokládaném charakteru provozu daného objektu, (tzn. standardní provoz). Spotřeba elektrické energie je tedy stanovena odhadem.

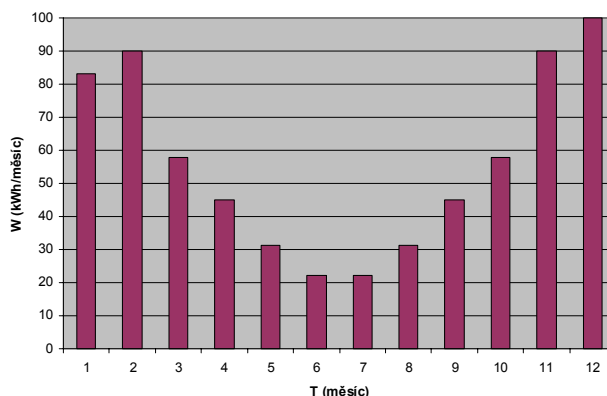
V případě stávajících budov lze energetickou náročnost osvětlení stanovit z naměřených hodnot spotřeby elektrické energie, ale vzhledem k tomu, že ve většině případů není měření spotřeby elektrické energie pro osvětlení samostatné, je třeba tento podíl spotřeby opět odhadnout (obr. 2). Následně je třeba se pokusit, na základě instalovaného příkonu a charakteru provozu objektu, stanovit, jaké je časové využití příkonu osvětlovací soustavy v průběhu určitého časového období, například roku.

V obou případech se tedy pracuje s přibližnými hodnotami. Při hledání úsporných opatření a stanovení jejich návratnosti je důležité určit míru nepřesnosti tohoto odhadu. Proto, aby v budoucnu bylo možné objektivně hodnotit energetickou náročnost osvětlení objektů, je třeba zajistit přímé měření spotřeby elektrické energie pro osvětlení (obr. 3). Pokud se požadují informace o využití dílčích částí osvětlovací soustavy, je třeba použít řídicích systémů osvětlení, které jsou schopné zaznamenat průběh spotřeby jak celé osvětlovací soustavy, tak i jednotlivých svítidel (obr. 4). Pro objektivnější hodnocení energetické náročnosti stávajících budov je třeba vytvářet soubory statistických údajů o využití a charakteru provozu v jednotlivých typech budov, které popisují chování uživatelů z pohledu ovládnutí osvětlení.

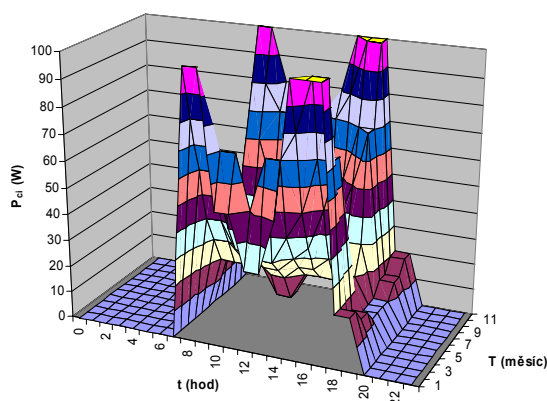
Energetické hodnocení osvětlovací soustavy má dvě základní úskalí. Prvním úskalím je to, že osvětlovací soustava nemusí být uživateli využívána podle standardních předpokladů a její spotřeba elektrické energie může být výrazně nižší, než jsou předepsané směrné hodnoty [2].



Obr. 2 Příklad odhadu energetické náročnosti umělého osvětlení, stanovené jako poměr z celkové spotřeby objektu za určité časové období (např. rok).



Obr. 3 Příklad podrobnějšího zpracování výsledků měření spotřeby elektrické energie pro umělé osvětlení v měsíčních časových intervalech ve sledovaném ročním období.



Obr. 4 Příklad podrobného zpracování výsledků měření skutečného příkonu P_{ci} (W) vybraného svítidla sledované soustavy umělého osvětlení.

To, ale nevylučuje možnost, že instalovaný příkon osvětlovací soustavy může být výrazně vyšší, než jsou předepsané směrné hodnoty pro instalovaný příkon [2], [3]. Pokud by došlo ke změně chování uživatelů, může dojít také k překročení směrných hodnot měrné spotřeby elektrické energie na osvětlení. Vždy tedy vyvstává otázka, zda případný návrh úsporných opatření, který se v závislosti na chování uživatelů buď projeví, nebo neprojeví, má význam. Druhým úskalím je složitost vzájemného oddělení skutečného provozního příkonu pro osvětlení a doby využití tohoto příkonu. Na této informaci závisí případná volba účinných úsporných opatření. Pokud tyto informace nebudou s dostatečnou přesností odlišeny, zvyšuje se míra nepřesnosti při stanovení účinnosti a návratnosti navržených úsporných opatření.

STRATEGIE ÚSPORNÝCH OPATŘENÍ

Pro volbu strategie při návrhu úsporných opatření lze vyjít ze základního vztahu vyjadřujícího spotřebu elektrické energie pro osvětlení za určité časové období, např. za rok:

$$W = P_p \cdot t_o \quad (\text{kWh/rok})$$

kde
 P_p je celkový provozní příkon svítidel (kW)
 t_o provozní doba (hod/rok)

Z uvedeného vztahu je zřejmé, že strategie hledání úspor ve spotřebě elektrické energie pro osvětlení může vycházet

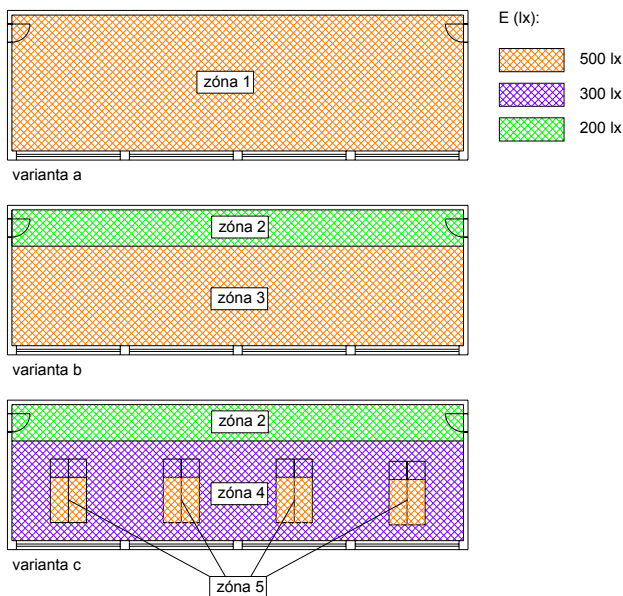
z hledání úspor v provozním příkonu nebo v době využití osvětlovací soustavy, popřípadě z kombinace obou parametrů. Úsporná opatření mohou být založena na následujících strategiích:

- volba osvětlovací soustavy;
- volba technických prostředků;
- kontrola dimenzování osvětlovací soustavy;
- využití denního světla;
- kontrola přítomnosti osob;
- využití časových režimů;

Posuzování energetické náročnosti osvětlení má smysl pouze v případě, že osvětlení a tedy i světelné technické parametry v daném prostoru odpovídají jeho účelu a využití. V projektové fázi jsou dokladem o parametrech osvětlení protokoly světelně technických výpočtů. U již realizovaných budov jsou dokladem protokoly o měření hladin osvětlenosti, popř. jasu provedené autorizovanou osobou.

Volba osvětlovací soustavy

Osvětlovací soustava pro umělé osvětlení je soubor technických zařízení (svítidla, světelné zdroje, předřadníky, řídicí systémy a příslušenství), která primárně slouží k vytvoření požadovaného světelného prostředí. Osvětlovací soustavy lze rozlišit podle jejich typu a podle jejich charakteru. Jak typ, tak i charakter osvětlovací soustavy ovlivňuje její energetickou náročnost. Hlavní osvětlení, které vychází z fyziologických požadavků uživatelů, lze realizovat třemi základními typy osvětlovacích soustav: celkovou soustavou, odstupňovanou soustavou a kombinovanou soustavou.



Obr. 5 Příklad půdorysu velkoprostorové kanceláře a jeho možného rozdělení do funkčně vymezených zón:
 varianta a – celková osvětlovací soustava;
 varianta b – odstupňovaná osvětlovací soustava;
 varianta c – kombinovaná osvětlovací soustava.
 Energetické náročnosti variant jsou v poměru 100% : 80% : 48%.

Možnosti využití jednotlivých typů osvětlovacích soustav souvisí s aplikační oblastí a charakterem osvětlovaného prostoru. Nejvyšší energetickou náročnost vykazuje celková osvětlovací soustava, nejmenší kombinovaná osvětlovací soustava. Celkové osvětlení zajišťuje požadovanou horizontální osvětlenost s předepsanou rovnoměrností v celém prostoru. Za požadovanou osvětlenost se v tomto případě považuje předepsaná osvětlenost pro nejnáročnější

zrakový úkol v řešeném prostoru. Návrh odstupňované soustavy vychází ze zónování vnitřního prostoru. Zóny jsou funkčně vymezené části prostoru, které se liší charakterem a náročností zrakových činností, které jsou v nich vykonávány (obr. 5). Každou funkčně vymezenou část je třeba přesně popsat z pohledu zrakové činnosti a požadovaných světelně technických parametrů. Jedním z pomocných parametrů, který může usnadnit toto zónování je rozložení denní osvětlenosti v prostoru. Příkladem aplikace zónování je velkoprostorová kancelář, jejíž prostor lze rozdělit na pracovní a komunikační zóny. Kombinovaná soustava je kombinací celkové nebo odstupňované soustavy a soustavy místního osvětlení. Kombinovaná osvětlovací soustava je energeticky neúčinnějším způsobem osvětlení. Hlavní oblastí použití této soustavy jsou prostory, kde se na velké ploše nachází relativně malý počet pracovišť nebo kde jsou pro daný zrakový úkol požadovány vysoké hladiny osvětlenosti. Na obr. 5 je uveden příklad velkoprostorové kanceláře o rozloze 20 x 6 m. Požadovanou osvětlenost 500 lx v místě pracovního úkolu, lze dosáhnout celkovou osvětlovací soustavou (varianta a), soustavou odstupňovanou (varianta b) nebo kombinovanou soustavou (varianta c). Již jen z jednoduché úvahy o osvětlovaných plochách zón a požadovaných hladinách osvětlenosti lze určit, že energetická náročnost kombinované osvětlovací soustavy je ve srovnání s celkovou soustavou osvětlení přibližně poloviční.

Z pohledu charakteru se osvětlovací soustavy dělí na přímé, přímo-nepřímé nebo nepřímé. Přímé osvětlení je z hlediska dosažení kvantitativních parametrů osvětlení energeticky neúčinnější, nepřímé osvětlení je nejméně účinné. Při úvahách o volbě nebo změnách charakteru osvětlení je třeba vzít v úvahu jeho vliv na vzhled osvětlovaného prostoru a kvalitativní parametry osvětlení.

Volba technických prostředků

Základními technickými prostředky, které tvoří osvětlovací soustavu a ovlivňují energetickou náročnost, jsou světelné zdroje, předřadné přístroje, svítidla a řídicí systémy.

Světelné zdroje se z hlediska energetické účinnosti přeměny elektrické energie na energii světelnou posuzují měrným výkonem η (lm/W). U skupiny světelných zdrojů s vlastním reflektorem, které se používají pro směrové osvětlení, například ve výstavních nebo obchodních prostorech, není pro posuzování jejich energetické účinnosti zásadní měrný výkon, ale osová svítivost a úhel poloviční svítivosti. Technické parametry, kterými se popisují světelné zdroje, se uvádějí pro definované podmínky okolí a jejich měření se provádí mimo svítidlo. Při provozu ve svítidle se parametry některých světelných zdrojů mění, například vlivem teploty (zářivky). Některé typy světelných zdrojů potřebují ke svému provozu předřadné přístroje, které umožňují start a stabilní provoz světelného zdroje nebo přizpůsobují napájecí napětí či proud. Podle konstrukce lze předřadné přístroje rozdělit na elektronické a elektromagnetické. Energeticky se předřadné přístroje popisují ztrátovým příkonem P_z (W). Příkony světelných zdrojů se obvykle uvádějí bez ztrát v předřadných přístrojích. Při porovnávání energetické náročnosti různých typů světelných zdrojů je proto třeba uvažovat nejen příkon samotného světelného zdroje, ale i příkon všech po provoz hodnoceného zdroje nezbytných předřadných zařízení.

Svítidla jsou technická zařízení, která svými optickými prvky rozdělují, filtrují nebo mění světlo vyzařované jedním nebo více světelnými zdroji. Kromě světelných zdrojů obsahují všechny díly nutné pro upevnění a ochranu světelných zdrojů, případně pomocné obvody, včetně prostředků potřebných pro jejich připojení k síti. Z pohledu energetického hodnocení svítidel je důležitá jejich účinnost

η_{sv} (%), která udává podíl výstupního světelného toku svítidla a světelného toku světelných zdrojů změřeného za stanovených podmínek mimo svítidlo. Druhým důležitým parametrem je charakter vyzařování svítidla. Tento parametr se popisuje křivkami svítivosti, které znázorňují prostorové rozložení vyzařovaného světelného toku. Při hodnocení energetické náročnosti technických prostředků pro konkrétní účel je nevhodnější posuzovat kompletní svítidla. Určitým vodítkem je měrný výkon svítidla označovaný LER (lm/W) [4], definovaný jako poměr výstupního světelného toku svítidla (lm) a elektrického příkonu (W) svítidla.



Obr. 6 Příklad osvětlení velkoprostorové kanceláře celkovou osvětlovací soustavou s podhledovými svítidly.

Obdobně lze hodnotit celé osvětlovací soustavy měrným výkonem (lm/W) osvětlovací soustavy, který se stanoví jako poměr světelného toku (lm) vyzařovaného všemi svítidly soustavy k jejich celkovému elektrickému příkonu (W). Na obr. 6 je znázorněno osvětlení velkoprostorové kanceláře podhledovými svítidly. V tab. 1 je uvedena energetická náročnost takové osvětlovací soustavy při použití různých typů podhledových mřížkových svítidel. V první variantě jsou použita svítidla $4 \times 18 W$ s elektromagnetickými předřadníky, ve variantě 2 a 3 jsou použita svítidla s elektronickým předřadníkem pro zářivky $4 \times 14 W$, resp. $2 \times 28 W$.

Tab. 1 Energetická náročnost osvětlení velkoprostorové kanceláře (obr.6) při stejné hladině osvětlenosti a různých typech svítidel.

svítidlo	počet (ks)	P_i (W)	P_1 (W/m^2)	P_2 ($W/m^2/100lx$)
$4 \times 18 W$	27	2 376	20	3,7
$4 \times 14 W$	27	1 755	15	2,7
$2 \times 28 W$	21	1 300	10	2

Při použití řídicích systémů k plynulé regulaci osvětlení dochází ke snižování měrného výkonu osvětlovací soustavy (lm/W). Je to dáno tím, že závislost mezi výstupním světelným tokem a příkonem soustavy není lineární. Při příliš velkém snížení světelného toku pomocí regulace na úroveň pod 20% maximální hodnoty je pokles měrného výkonu tak výrazný, že provoz takto nastavené osvětlovací soustavy je z pohledu energetické účinnosti nevhodný.

Kontrola dimenzování osvětlovací soustavy

Výsledné hladiny osvětlenosti na srovnávací rovině nebo v místech pracovních úkolů jsou na začátku provozu osvětlovací soustavy vždy vyšší, než jsou hodnoty uvedené v normách. Hlavním důvodem je, že požadované parametry osvětlení musí být dodrženy po celou dobu života osvětlovací soustavy. Vzhledem k tomu, že dochází ke stárnutí osvětlovací soustavy vlivem poklesu světelného toku světelných zdrojů, znečištění svítidel a poklesem činitelů odrazů vnitřních ploch místností, musí být osvětlovací soustava předimenzovaná. Dalším důvodem vyšších hodnot parametrů osvětlení je, že se světelné zdroje a svítidla

vyrábějí v určitých výkonových řadách, a proto zpravidla nelze přesně dosáhnout požadovaných světelně technických parametrů, ale je třeba zvolit nejbližší vyšší výkonový stupeň daného technického zařízení. V praxi se také vyskytují prostory s flexibilním dispozičním uspořádáním, například velkoprostorové kanceláře, u kterých lze vytvářet různé velké prostorové jednotky. Velkoprostorovou kancelář lze například změnit na řadu buňkových kanceláří a naopak. U takovýchto prostorů je třeba osvětlovací soustavu navrhnout na nejnepříznivější situaci. Pokud se prostorové uspořádání liší od této nejnepříznivější situace, dochází ke zvýšení hodnot světelně technických parametrů, a tím k dalšímu předimenzování osvětlovací soustavy. Popsané předimenzování osvětlovací soustavy lze eliminovat použitím stmívatelných svítidel připojených na řídicí systém osvětlení, který je schopen průběžný pokles světelného toku způsobený stárnutím osvětlovací soustavy vyrovnávat postupným zvyšováním příkonu svítidel nebo umožňuje nastavit světelný tok svítidel podle aktuálního dispozičního uspořádání prostoru.

Využití denního světla

Osvětlení prostoru i místa zrakového úkolu se neposuzuje podle toho, zda je dosaženo umělým nebo denním osvětlením. Proto dobře navržené denní osvětlení prostoru umožňuje snížit požadavky na dobu provozu soustavy umělého osvětlení. V případě dostatečného denního osvětlení v řešeném prostoru lze dosáhnout významných úspor kontrolou úrovně denního osvětlení prostřednictvím řídicího systému. Informace ze světelných čidel umožňují omezit dobu provozu soustavy umělého osvětlení, případně její výkon tak, aby nesvítila v době dostatečného denního osvětlení. Na základě informací ze světelných čidel může být osvětlovací soustava ovládána skokově nebo plynulým řízením výstupního světelného toku. Volba způsobu regulace souvisí s použitými světelnými zdroji a určuje technickou i finanční náročnost navrženého úsporného opatření.

Kontrola přítomnosti osob

Řada pracovních prostorů a pracovních míst není využívána po celou pracovní dobu. Často dochází k tomu, že v průběhu nepřítomnosti osob zůstává osvětlovací soustava zapnuta. Pokud uživatel je mimo místnost, nemá význam, aby osvětlovací soustava byla v provozu. Pro kontrolu přítomnosti osob se používají pohybová čidla. Na základě informací z pohybových čidel se pak zapínají/vypínají příslušná svítidla, osvětlovací soustava nebo její části, případně se omezuje jejich výkon. Základními technikami při tomto úsporném opatření je kontrola přítomnosti a kontrola nepřítomnosti osob [2].

Zavedení časových režimů

Osvětlovací soustavy plní svojí hlavní funkci zpravidla pouze po určitou část dne. Po skončení vymezené doby provozu přestávají plnit svoji funkci a je možné je vypnout nebo je přepnout do jiného režimu, ve kterém přejímají jinou funkci. Proto, aby osvětlovací soustava byla provozována pouze po definovanou dobu případně, aby se automaticky přepnula do jiného provozního režimu, slouží časové ovládací prvky. Ty mohou, dle nastavení, ovládat osvětlovací soustavu jednoduchým zapínáním nebo vypínáním, případně mohou být součástí řídicího systému, který na základě informace z časového ovládacího prvku spouští přednastavené světelné scény. Příkladem mohou být výlohy obchodů, ve kterých osvětlení slouží jako prostředek k propagaci určitého zboží. Tuto funkci plní do určité doby, například do půlnoci. Po této době je již účinnost osvětlení z pohledu obchodního minimální a proto je možné jej

vypnout, nebo přepnout do redukovaného režimu, který plní například funkci bezpečnostní.

ZÁVĚR

Záměrem autorů příspěvku bylo poukázat na poměrně komplikovanou problematiku posuzování energetické náročnosti budov z hlediska možnosti návrhu účinných osvětlovacích soustav. Upozorňuje nejen na důležitost výběru energeticky efektivních a přitom světelně technicky účinných světelných zdrojů a svítidel, ale i na velký význam rozboru časového využití dílčích osvětlovacích soustav a využívání denního světla v jednotlivých vnitřních prostorech.

LITERATURA

- [1] Habel J. a kol. Světelná technika a osvětlování, FCC Public, 1995
- [2] ČSN EN 15193 Energetická náročnost budov – Energetické požadavky na osvětlení
- [3] TNI 73 0327 Energetická náročnost budov - Energetické požadavky na osvětlení, únor 2009
- [4] National Electrical Manufacturers Association. 1993. Procedure for determining luminaire efficacy ratings for fluorescent luminaires, NEMA LE 5-1993. Rev. 1995. Washington, D.C.: National Electrical Manufacturers Association

Autoři: prof. Ing. Jiří Habel, DrSc., ČVUT Praha, fakulta elektrotechnická, Technická 2, 160 00 Praha 6, E-mail: habel@fel.cvut.cz Ing. Petr Žák Ph.D., ČVUT Praha, fakulta elektrotechnická, Technická 2, 160 00 Praha 6, E-mail: zak@etna.cz

LED modul

Abstract. LED modules are aimed for general interior and exterior lighting with the advantages of LED technology whereas they considerably facilitate implementation of LED into the traditional technology of lighting fixtures production. The lighting fixture equipped with LED module is still subjected to the certain challenges in the design of thermal management and optical system. Properly designed cooler ensures the guaranteed lifetime and properly designed reflector enables higher efficiency of optical system in comparison with conventional technology. Aim of the article is to present the Philips LED modules and its applications.

Abstrakt. LED moduly jsou určeny pro výrobce svítidel a osvětlovací techniky pro obecné vnitřní i venkovní osvětlení kombinující výhody LED technologie, přičemž výrazně usnadňují implementaci LED světelných diod do tradiční technologie výroby. Přesto v procesu návrhu svítidla s LED moduly jsou některé technické výzvy, jedná se především o volbu teplotního managementu a optického systému. Vhodně navržený chladič umožní garantovat dlouhou životnost a vhodně navržený reflektor umožní vyšší účinnost optického systému než je tomu u konvenční technologie. Cílem příspěvku je představit LED moduly společnosti Philips a jejich aplikace.

Keywords: Philips LED modul, Fortimo, Lexel

Úvod

Z příchodem nové éry obecného osvětlování pomocí polovodičových prvků – světelných diod (LED) – hledají výrobci svítidel a osvětlovací techniky nové možnosti využití těchto světelných zdrojů ve svém portfoliu svítidel. Světelná dioda jakožto elektronický prvek generuje světelné záření při průchodu proudu polovodičovým přechodem. Používá tedy jiný fyzikální princip než žárovky, zářivky nebo výbojky a má mnoho vlastností, kterými se od dosud konvenčních zdrojů světla zcela odlišuje. Nové výzvy jsou nejvíce patrné v konstrukci svítidel, a to především v oblasti teplotního managementu, optického systému, možnostech stmívání, plynulé změny teploty chromatičnosti osvětlení, apod.

Polovodičový přechod vyzařuje velmi úzké spektrum záření, které je v podstatě monochromatické. V současnosti jsou na trhu prvky všech potřebných barev. Bílou barvu lze vytvořit pomocí RGB čipy v jednom pouzdru nebo čipu s vrstvou luminoforu, který částečně převede záření na jiné vlnové délky viditelného spektra. Světelné diody se stávají vysoce účinným světelným zdrojem. Nejvíce zajímavé jsou nové aplikace v obecném osvětlování, kde se světelné diody začínají prosazovat namísto konvenčních světelných zdrojů v podobě LED modulů. Společnost Philips uvedla na trh několik typů LED modulů Fortimo, které umožňují tradičním výrobcům svítidel jednoduchou a spolehlivou adopci LED technologie s velkým výstupním světelným tokem, vysokým měrným výkonem a dlouhou životností.

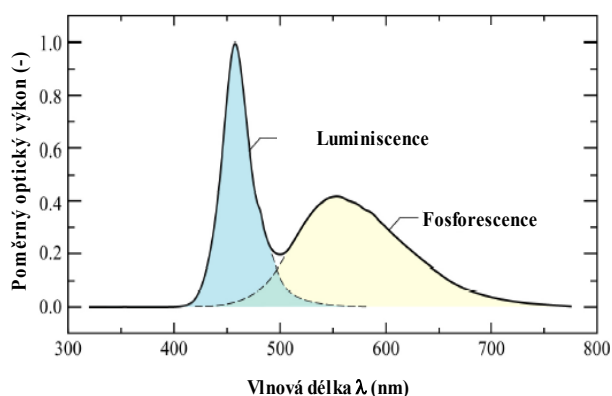
Bílé světlo LED

Světlo je vnímáno jako bílé, jestliže jsou tři typy čípků na sítnici oka vybuzeny v určitém poměru. V případě bílého světla jsou trichromatické složky lokalizovány v blízkosti centra diagramu chromatičnosti. Generovat bílé světlo pomocí LED zářičů je možné principiálně dvěma různými způsoby pomocí:

- mixování monochromatických LED zářičů
- konvertoru vlnových délek

Např. Fortimo LED DLM modul využívá druhého způsobu, kdy bílé světlo určité teploty chromatičnosti je vytvářeno pomocí modrých světelných diod, které vyzařují světelné záření na kratší vlnové délce, jeho část je absorbována ve vzdáleném konvertorovém materiálu a znovu vyzařena jako

světelné záření s delší vlnovou délkou. Vyzařované spektrum se skládá z luminiscence modrého světla a fosforescence světla žlutého. Jako vlnový konvertor se využívá fosfor obsahující anorganickou látku dotovanou opticky aktivním prvkem. Vyzařené absorpční a emisní spektrum LED diody s fosforem je znázorněno na Obr.1.



Obr.1: Emisní spektrum bílé LED diody založené na fosforové technologii

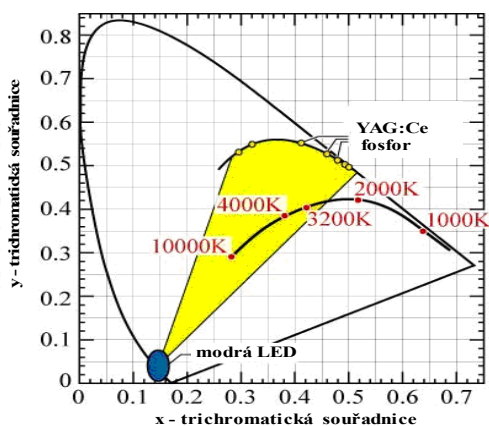
Teplotu chromatičnosti lze ovlivňovat množstvím fosforu. Lze vytvořit teple bílý zdroj, kde teplota chromatičnosti nepřesáhne 3200K, což odpovídá teplotě běžných inkandescenčních zdrojů (obr.2)

Philips FORTIMO LED

Skupina LED modulů Fortimo je určena pro obecné osvětlení ve svítidlech různých výrobců. Koncept je založen na LED modulu s konstatním jmenovitým tokem, garantovaným tvarem a rozměry, což vytváří stabilní platformu pro výrobce svítidel ve vztahu k jejich současnému i budoucímu portfoliu svítidel. Fortimo LED moduly jsou určeny pro obecné osvětlení v profesionálních aplikacích, jako jsou:

- kancelářské prostory (reprezentativní prostory recepce, zasedací místnosti, restaurace apod.),
- veřejné budovy (kina, divadla, plavecké bazény, výstavní haly),
- hotelová lobby a recepce,

- obchody (high-end obchody, supermarkety - sekce řeznictví, pečiva, atd.),
- venkovní osvětlení (pozemní komunikace, residenční oblasti, parky).



Obr.2 Fosforová technologie v trichromatických souřadnicích

Fortimo LED modul (kromě verze SPOT) je založen na speciální patentované technologii vzdáleného fosforu zajišťující velký měrný výkon systému. Na desce plošných spojů jsou alokovány vysokovýkonové modré světelné diody. Modré světlo prostupuje mixovací komorou a částečně je transformováno do žlutého spektra na vzdáleném fosforovém difuzoru vyznačujícím se lambertovskou vyzářovací charakteristikou. Takto koncipovaný modul přináší výrobcům svítidel svobodu nejen v návrhu optického systému, ale celého svítidla. Skupina modulů FORTIMO LED se postupně rozšiřuje v závislosti na rychle se zvyšující účinnosti LED diod. V současnosti jsou na trhu následující moduly FORTIMO:

- DLM
- SPOT (SLM)
- TWISTABLE (TDLM)
- LINEAR (LLM)
- FOOD
- LEXEL

FORTIMO LED DLM

Fortimo LED DLM systém se skládá z downlight modulu a předřadníku (Obr.3). V současnosti dosahuje měrný výkon systému včetně ztrát v předřadníku až 77 lm/W, přičteno-li vysokou účinnost optického systému (až 95%) dosahuje celková účinnost celého svítidla výrazně vyšších hodnot ve srovnání s konvenčními technologiemi kompaktních světelných zdrojů. Rozsah jmenovitého světelného toku se pohybuje v současnosti mezi 1100 až 3000 lm.



Obr.3 Philips LED modul DLM

Měrný výkon LED se rychle mění, proto je zvolena jmenovitá řada dle světelného toku, nikoli příkonu světelného zdroje. Každá nová generace přináší snížení příkonu modulu a měrný výkon se tím zvyšuje. LED modul zajišťuje konzistentní teplotu chromatičnosti během životnosti světelného zdroje ve dvou provedeních 3000K a 4000K.

Multiwatový předřadník umožňuje automatické rozpoznání potřebného příkonu pro jmenovitou řadu modulu. Čtvercová podstava modulu zaručuje optimální odvedení tepla ve třech směrech s podporou pasivního nebo kompaktnějšího aktivního chladiče, který je možné uchytit k modulu pomocí šroubů nebo speciálních drážek pro nasunutí. Aktivní chladič je možné napájet přímo z předřadníku, který je vybaven 12V výstupem. Příklad svítidla s aktivním chlazením je uveden na Obr. 4 a Obr.5.

Pro optimální teplotní management modulu lze využít speciálně vyvinuté chladiče společnosti Nuventix nebo AVC a pro optimální distribuci světelného toku lze využít reflektorů společnosti Alux Luxar, ACL, Jordan reflectors. Servisní doba života modulu je stanovena na 50 000h při teplotě na kontrolním bodu $T_c = 65^\circ$.



Obr.4 Přímé svítidlo typu downlight s modulem FORTIMO DLM (foto společnost OMS)



Obr.5 Přímé svítidlo typu downlight s modulem FORTIMO DLM (foto společnost Halla)

Předřadník je instalován do přímého svítidla typu downlight, nicméně v současnosti je k dispozici i nezávislý předřadník Fortimo LED DLM Independent, který je určen k instalaci v určité vzdálenosti od svítidla, vykazující flexibilitu, kompaktní návrh a jednoduchou instalaci. Možnost stmívání LED modulu je zajišťována stmívatelným předřadníkem

Fortimo LED DLM TD, který je možné ovládat pomocí řídicí fáze Touch&Dim nebo DALI protokolu. Jednoduše lze tak LED modulový systém využít v kombinaci s řídicími jednotkami Occuplus nebo Actilum (více viz. článek tohoto sborníku "Řízení osvětlovacích soustav na základě proměnných veličin"), které zajišťují maximální energetickou úsporu pomocí senzoru denní osvětlenosti a pohybu osob. V režimu stmívání se navíc zvyšuje měrný výkon až o 30%. Novinkou je kompaktnější předřadník Xitanium driver pro verzi 1100lm. V následující Tab.1 je přehled aktuálních modulů Fortimo LED DLM.

Fortimo LED DLM system	Power	Light Output	Module Efficacy	System Efficacy Includes driver	Colour Temperature	Colour Rendering	Lifetime 70% lm
	(W)	(Lm)	(Lm/W)	(Lm/W)	(K)	(Ra)	(hrs)
Fortimo LED DLM 1100/840	16/17*	1100	90	75/77*	4000	80	50000
Fortimo LED DLM 1100/830	17/19*	1100	81	67/70*	3000	80	50000
Fortimo LED DLM 2000/840	32	2000	79	70	4000	80	50000
Fortimo LED DLM 2000/840	36	2000	70	62	3000	80	50000

* First figure is with Fortimo 1100-2000 driver, second figure with Xitanium 25 W driver.

Tab.1 Přehled Philips Fortimo LED DLM modulů (17.5.2010)

FORTIMO SPOT

Fortimo LED SLM modul je kompaktní systém určený pro akcentové osvětlení s vysokou energetickou účinností a dlouhou životností (Tab.2), ideální pro osvětlení v obchodech, restauracích, hotelích, muzeích, galeriích, apod.

Modul je charakteristický kruhovou základnou osazenou bílými LED diodami s vyzařovacím úhlem 15D, 25D, 40D s mírně nižším měrným výkonem oproti modulům s technologií vzdáleného fosforu (Obr.6). Svým výkonem ovšem v současnosti konkuruje kompaktní halogenidové výbojce 20W či halogenovým žárovkám do 75W. Fortimo SPOT je provozováno s předřadníky pro modul DLM nebo v kombinaci s konvenčním elektronickým předřadníkem Xitanium 20 W. Příklad lištového systému se svítidlem osazeným SLM modulem je uveden na Obr.7.



Obr.6 Philips LED modul SLM

Fortimo LED SLM system	Power	Light Output	Module Efficacy	System Efficacy	Colour Temperature	Colour Rendering	Lifetime 70% lm
	(W)	(Lm)	(Lm/W)	(Lm/W)	(K)	(Ra)	(hrs)
Fortimo LED SLM 1100/830	18	1100	61	53	3000	>80	50000
Fortimo LED SLM 1100/835	18	1100	60	53	3500	>80	50000
Fortimo LED SLM 1100/840	17	1100	67	56	4000	>80	50000
Fortimo LED SLM 2000/830	33	2000	61	56	3000	>80	50000
Fortimo LED SLM 2000/835	33	2000	60	56	3500	>80	50000
Fortimo LED SLM 2000/840	31	2000	65	60	4000	>80	50000

Tab.2 Přehled Philips Fortimo LED SLM modulů (17.5.2010)



Obr.7 Svítidlo s LED SLM modulem na liště

FORTIMO LED TWISTABLE

Fortimo LED TDLM systém je kompaktní miniaturizovaný LED modul s integrovaným předřadníkem s patentovanou technologií vzdáleného fosforu (Obr.8), který je určen pro obecné osvětlení především v obchodech, restauracích, hotelích, muzeích, galeriích, zdravotnických pracovištích, apod.

V současnosti představuje konkurenci pro svítidla s halogenovými žárovkami do 50W a tradičními přímými svítidly typu downlight s kompaktními zářivkami 2x18W, a to díky vysokém měrném výkonu systému včetně předřadníku (až 62lm/W) a účinnosti optického systému. Výjimečný design LED modulu zajišťuje garantovanou životnost mezi 25 000h až 50 000h v závislosti na teplotním zatížení. Speciální patice vyvinutá ve spolupráci s BJB zajišťuje snadnou výměnu při servisní zásahu nebo při požadavku na změnu teploty chromatičnosti osvětlení.



Obr.8 Philips LED modul TDLM

Jmenovitý světelný tok 1100lm a index barevného podání 80 s teplotou chromatičnosti 2700K, 3000K a 4000K vybízí k náhradě halogenových zdrojů typických přímých svítidel. Běžně se návratnost Fortima LED Twistable pohybuje kolem 2 let ve srovnání se svítidly osazenými halogenovými zdroji.

Fortimo LED Twistable system	Power	Light Output	Module Efficacy Includes driver	Colour Temperature	Colour Rendering	Lifetime 70% lm
	(W)	(Lm)	(Lm/W)	(K)	(Ra)	(hrs)
Fortimo LED TDLM 1100/840	18	1100	62	4000	80	25000
Fortimo LED TDLM 1100/830	20	1100	55	3000	80	25000
Fortimo LED TDLM 1100/827	20	1040	52	2700	80	25000

Tab.3 Přehled Philips Fortimo LED TDLM modulů (17.5.2010)

FORTIMO LED LINEAR

Fortimo LED LLM je modul určen primárně pro venkovní svítidla v aplikacích, jako je osvětlení residentních oblastí, městských center, náměstí, parků, architektonického osvětlení budov. S příchodem nové generace s vyšším jmenovitým světelným tokem 3000lm a 4500lm umožní osvětlit pozemních komunikací s vyšší třídou osvětlení.



Obr.9 Philips LED modul LLM

Hlavní charakteristikou modulu je řízený konstantní světelný tok v průběhu životnosti, což umožňuje úsporu elektrické energie již od počátku své instalace oproti konvenčním technologiím, které vyžadují návrh osvětlovací soustavy s udržovacím činitelem světelného zdroje. Tvar a rozměry modulu umožňují přesnější distribuci světelného toku na osvětlovanou oblast pozemní komunikace. Ve spojení s vhodnou optikou svítidla lze tak výrazně ovlivnit redukci rušivé světla omezením světelného přesahu do míst mimo zrakový úkol. Světelný tok LED modulu je možné snížit při menším zatížení komunikace dopravou v nočních hodinách. Zajistíme další úsporu elektrické energie a omezíme rušivý jas noční oblohy.



Obr.10 Philips LED modul LLM

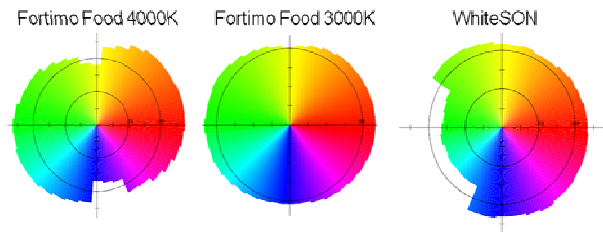
Jmenovitý světelný tok modulu v současnosti dosahuje 1100 - 4500lm v teplotě chromatičnosti 3000K a 4000K, garantovanou životností 50 000h při vysokém indexu barevného podání 75 (Tab.4).

Fortimo LED LLM system	Power (W)	Light Output (Lm)	Module Efficacy (Lm/W)	Colour Temperature (K)	Colour Rendering (Ra)	Lifetime 70% lm (hrs)
Fortimo LED LLM 1100/730	17	1100	64,7	3000	75	50000
Fortimo LED LLM 1100/740	15,5	1100	71,0	4000	75	50000
Fortimo LED LLM 1800/730	28	1800	64,3	3000	75	50000
Fortimo LED LLM 1800/740	25	1800	72,0	4000	75	50000

Tab.4 Přehled Philips Fortimo LED LLM modulů (17.5.2010)

FORTIMO LED FOOD

Fortimo LED DLM Food je modul určen pro speciální aplikace pro osvětlování v potravinovém průmyslu. Výrobci svítidel využívají v současnosti pro tuto speciální aplikaci tzv. bílou vysokotlakou sodíkovou výbojku - Philips WhiteSON - s vysokou schopností prokreslit barvy ovoce, zeleniny, masa, apod. Následující grafy (Obr. 11) ukazují saturaci různých barev pomocí Fortimo Food a WhiteSON. Saturace barev je určena kombinací intenzity osvětlení a jejího rozložení ve vyzařovaném spektru vlnových délek. Důležitá je především schopnost zvýraznění červené složky potravin.



Obr.11 Saturace barev Fortimo LED FOOD a White SON

Výbojka ve srovnání s modulem Fortimo LED DLM Food je charakterizována vyšší spotřebou energie a častým relampingem. Výhodou modulu je i to, že nevyzařuje v ultrafialové ani ultračervené oblasti spektra, což umožňuje lepší kontrolu nad teplotou okolí osvětlovaných potravin. Pro optimální barevné podání je modul vybaven speciálním senzorem a řídicí jednotkou pro kontrolu teploty chromatičnosti během provozu. Současné portfolio modulů Fortimo LED DLM Food je uvedeno v Tab.5.

Fortimo Food system	Power (W)	Light Output (Lm)	Module Efficacy (Lm/W)	System Efficacy (Lm/W)	Colour Temperature (K)	Colour Rendering (Ra)	Lifetime 70% lm (hrs)
Fortimo LED DLM 1800/Food30	50	1800	60	52,6	3000	>70	50000
Fortimo LED DLM 2000/Food40	50	2000	63	55,1	4000	>70	50000

Tab.5 Přehled Philips Fortimo LED FOOD modulů (17.5.2010)

LED LEXEL

Tisíce odstínů bílého nebo barevného světla, tak lze označit LED modul umožňující vytvoření odpovídající atmosféry změnou teploty chromatičnosti v závislosti na požadavku uživatelů v rozsahu 2700 - 6500K. LED modul, respektive jeho tvar, velikost, jmenovitý světelný tok (Tab.6), jak je tomu ostatně u všech modulů, je garantován i do daleké budoucnosti. Modul je stmívatelný pomocí rozhraní DMX/RDM nebo DALI. LED modul nevyzařuje žádné ultrafialové ani ultračervené záření, což zamezuje degradaci osvětlovaného předmětu. V současnosti jsou dostupné dvě verze LEXEL DLM (obr.12) a LEXEL SLM.



Obr.12 Philips LED LEXEL DLM modul

Philips Lixel LED system	Power (W)	Light Output (Lm)	Module Efficacy (Lm/W)	System Efficacy (Lm/W)	Colour Temperature (K)	Colour Rendering (Ra)	Lifetime 70% lm (hrs)
Lixel LED DLM 1000	40	1000	n.a.	25	2700-6500	>80	35000

Tab.6 Přehled Philips LED LEXEL modulu (17.5.2010)

Pro řízení LED modulů (spínání, stmívání, změny teploty chromatičnosti, atd.) je určena nová moderní řada tlačítek ToBeTouched na platformě řídicího protokolu DALI, DMX nebo IR (Obr.13).



Obr.13 Philips řídicí tlačítka ToBeTouched

Závěr

FORTIMO LED moduly jsou jako produkty OEM určeny pro české a slovenské výrobce svítidel a osvětlovacích systémů. Stávají se požadavkem architektů a investorů,

stejně jako inspirací pro projektanty a elektromontážní společnosti v projektech osvětlovacích soustav.

Literatura a odkazy

- [1] Philips OEM Portal, webové stránky určené pro výrobce svítidel;
- [2] Light Emitting Diode, E.F.Schubert, Cambridge University Press, 2006

Authors: Ing. Luděk Hladký, PhD., Key account manager OEM CZ&SK, email: Ludek.hladky@philips.com; Libor Štědroň, Sales manager OEM CZ&SK, email: libor.stedron@philips.com; Philips česká republika s.r.o., Šafránkova 1, 155 00 Praha 5

Řízení osvětlovacích soustav na základě proměnných veličin

Abstract. Different kind of lighting systems are controlled based on different types of variable quantity. Control of lighting systems in the interiors is performed on parameters as daylight level, presence of persons, personal settings or function of the illuminated space. The aim of use of lighting controls is to increase the energy savings, get flexibility of lighting systems according to the user's needs or adaptation of functional changes in the space solution.

Abstrakt. V různých typech osvětlovacích soustav lze řídit osvětlení na základě různých proměnných veličin. Řízení osvětlení v interiéru provádíme především na základě parametrů jako je denní osvětlenost, přítomnost osob v místnosti, osobního nastavení nebo funkce osvětlovaného prostoru. Cílem je především úspora elektrické energie či flexibilita osvětlovacího systému z pohledu osobních potřeb uživatelů nebo změny funkčnosti prostoru.

Keywords: Philips lighting controls, Occuplus, Actilume, Luxsense, Occuswitch, Actilume color, ToBeTouched

Úvod

V různých typech osvětlovacích soustav lze řídit osvětlení na základě různých proměnných veličin a dosáhnout tak nejen energetických úspor, ale i změny v požadované funkčnosti nebo atmosféry prostoru. Osvětlení lze řídit manuálně nebo pomocí inteligentních řídicích systémů, které mohou uspořit až 70% elektrické energie pomocí regulace (stmívání) osvětlení, nebo automaticky nastavit osvětlení dle požadavku uživatele. Řízení osvětlení provádíme především na základě:

Denního osvětlení

Osvětlovací soustava bývá v provozu na plný výkon často při dostatečném denním světle. Pomocí čidel reagujících na úroveň osvětlení v příslušném prostoru lze při nárůstu denního osvětlení stmívat umělé osvětlení tak, aby byla zachována požadovaná hodnota osvětlenosti. Tímto způsobem lze stmívat umělé světlo až do jeho vypnutí při dostatečném denním světle. Dosažená úspora elektrické energie může dosáhnout až 35% v závislosti na lokalitě, orientaci prostoru a ročním období.

Přítomnosti osob

Dle renomovaných výzkumů se odhaduje, že osvětlovací soustavy v interiéru jsou v provozu asi o 20 % delší dobu, než je nutno z důvodu momentální nepřítomnosti osob v osvětlovaném prostoru. Pomocí senzorů, které reagují na pohyb osob, lze světelný tok osvětlovací soustavy snížit, nebo úplně vypnout v případě nepřítomnosti osob.

Stáří osvětlovací soustavy

Vzhledem k tomu, že světelné zdroje stárnou a jejich světelný tok se během jejich života snižuje, používá se při návrhu osvětlení tzv. činitel údržby v hodnotách obvykle 0,6 až 0,8. To znamená, že v osvětlovacím systému s novými zdroji, nebo po provedení pravidelné údržby při činiteli údržby 0,7 je počáteční hladina osvětlenosti vyšší o 30 %. Jakmile světelný zdroj dosáhne konce ekonomického života, hladina osvětlení se vyrovná projektované úrovni. Udržováním konstatní osvětlenosti po celou dobu trvání jejího života lze ušetřit přibližně 10 % elektrické energie.

Funkčnosti prostoru

Každý osvětlovaný prostor má svou funkci a slouží uživatelům k různým typům činnosti. Nejčastěji se řídicí systémy využívají v kancelářích, chodbách, školních učebnách, toaletách, konferenčních místnostech, apod. Řízení umělého osvětlení lze automaticky naprogramovat

dle optimálních provozních charakteristik v těchto prostorech. Funkční změna prostoru často nastává v budovách s flexibilními příčkami mezi kanceláři nebo pracovišti například v důsledku restrukturalizace společnosti. Při změně funkce prostoru je nutné přeprogramovat i nastavení osvětlení, které reaguje na nově vzniklé požadavky dispozice prostorů a jejich uživatelů.

Osobního nastavení

Uživatelé různých vnitřních prostor mají své individuální potřeby na kvalitu i kvantitu osvětlení během své činnosti. Osobní komfort uživatelů umožňuje nastavit pohodlné ovládání osvětlovací soustavy. Komfort spojený s kvalitou řízení osvětlovací soustavy se dosahuje použitím senzorů a dálkových ovládaní nebo ovládacích tlačítek propojených s řídicí jednotkou osvětlovacího systému.

Atmosféry prostoru

Změnou intenzity osvětlení nebo teploty chromatičnosti během provozního cyklu v místnostech, jako jsou kanceláře nebo učebny škol, lze efektivně podpořit pracovní nasazení zaměstnanců nebo aktivitu žáků při procesu výuky, a to v souladu s biorytmem lidského těla. S příchodem nových technologií jako je LED nebo řídicích systémů pro barevné zářivky lze měnit atmosféru místnosti. Z kanceláře ředitele se tak může stát, například po úspěšné akvizici nové společnosti, zábavný prostor plný barev a emocí.

Moderní řídicí systémy zvyšují komfort osvětlovací soustavy a přinášejí významné úspory ve spotřebě elektrické energie a kvalitě osvětlení v osvětlovaném prostoru. Současnost je charakterizována digitalizací a adresací jednotlivých funkčních prvků osvětlovací soustavy (svítidel, světelných zdrojů, řídicích jednotek, rozšiřujících senzorů, apod.). Za významný krok při zavádění řízení je možno považovat digitální řídicí protokol DALI. Inteligentní řídicí systémy využívají světelné senzory k automatické regulaci umělého osvětlení. Světelné senzory snímají intenzitu osvětlení v místnosti. Získané informace zpracuje řídicí systém a nastaví velikost regulace. Světelné senzory používají pro snímání intenzity osvětlení především fotodiod a nebo fototranzistorů. Některé typy senzorů mohou přímo ovládat stmívatelné elektronické předřadníky, přičemž nastavení referenční hodnoty osvětlenosti se provádí přímo na senzoru. Napájení senzoru se provádí přímo z předřadníků nebo z řídicích jednotek.

Dále jsou podrobněji představeny řídicí systémy z portfolia OEM Philips s ohledem na funkčnost, technické parametry a aplikační oblasti.

Luxsense je základní řídicí jednotkou pro regulaci světelného toku svítidla nebo osvětlovací soustavy na základě *denního osvětlení* a *stáří osvětlovací soustavy*, která se vyznačuje jednoduchou instalací přímo nakliknutím na zářivkovou trubici T8 nebo T5, osazením na lamelu mřížky svítidla nebo integrací do rámu svítidla (Obr.1).

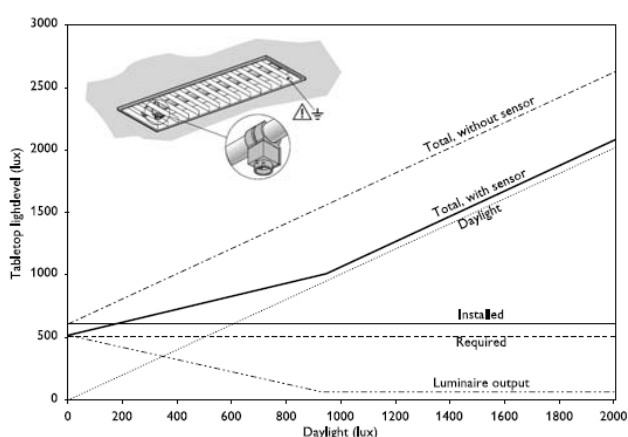


Obr.1: Řídicí jednotka Luxsense

Senzor řídicí jednotky monitoruje osvětlenost povrchu místnosti v dolním poloпростoru a na základě této informace reguluje světelný tok světelného zdroje. Jednotka je nastavena defaultně na udržovanou osvětlenost 600lx při průměrné odraznosti povrchů 0.3, referenční hodnota je přitom libovolně nastavitelná rotačním tlačítkem. Energetická bilance úspor je závislá na lokalitě a sezóním období, typické hodnoty jsou uvedeny v Tab. 1. Kompenzace umělého osvětlení denním je zobrazena na Obr. 2. Se zvyšující se úrovní denního osvětlení se snižuje příspěvek umělého osvětlení.

Období	Umístění	Jih	Sever
letní	na straně oken	55%	45%
	na straně chodby	35%	25%
zimní	na straně oken	45%	35%
	na straně chodby	25%	15%

Tab. 1: Energetický potenciál úspor s využitím Luxsense



Obr. 2: Graf typické kompenzace umělého osvětlení denním

Samotná jednotka může ovládat až 20 stmívatelných elektronických předřadníků HF-R s řídicím rozhraním 1-10V. Ideální aplikace jsou kanceláře nebo učebny, kde se vyskytují řady svítidel, které lze ovládat jednou řídicí

jednotkou. Luxsense je vhodný pro jednoduchou implementaci do stávajícího portfolia výrobců zářivkových svítidel a jsou také určeny pro velkoobchodní prodej.

Occuswitch je řídicí jednotka se senzorem pohybu pro spínání osvětlovací soustavy na základě *přítomnosti osob* spínající fázi se svítidly osazenými neregulovatelnými elektronickými předřadníky. Occuswitch umožňuje spínat zátěž do 6A v typických aplikacích, jako jsou kanceláře, toalety, chodby a sklady. Zpravidla je upevňován jako přisazený nebo zapuštěný s možností paralelní spolupráce s dalšími 10 jednotkami Occuswitch instalovanými v různých fázích rozvodu tak, aby bylo zajištěno optimální pokrytí větších prostor. Instalaci lze zjednodušit a urychlit využitím Wieland kabelů. Časový interval lze nastavit tak, aby osvětlovací soustava byla vypnuta od 1 do 30 min. po poslední detekci osob v prostoru. Dále lze nastavit úroveň denní osvětlenosti, při které je řídicí jednotka neaktivní, tzn. že při dostatečné úrovni denního osvětlení nezapíná osvětlovací soustavu, což přináší další úsporu elektrické energie. Occuswitch lze ovládat i bezdrátově pomocí IR snímače dálkovým ovladačem. Occuswitch je vhodný pro jednoduchou implementaci do stávajícího portfolia výrobců svítidel nebo pro velkoobchodní prodej.



Obr. 2: Occuswitch a zapojení v typické kanceláři 20m²

Actilum je optimální nástroj vestavěný ve svítidle pro řízení osvětlovací soustavy na základě *denního osvětlení* a *stáří osvětlovací soustavy*, *přítomnosti osob*, *funkčnosti prostoru*, *osobního nastavení*. Philips Actilume řídicí systém se skládá z malého senzoru, pomocí kterého se reguluje úroveň osvětlení podle denního osvětlení a přítomnosti osob, a řídicí jednotky určené pro snadnou instalaci do svítidla. Systém je založen na DALI komunikaci se stmívatelnými elektronickými předřadníky. V osvětlovací soustavě se tak běžně využívá master-slave konceptu, kdy svítidlo vybavené řídicí jednotkou (master) může řídit dalších 10 svítidel (Slave) osvětlovací soustavy viz Obr. 3.



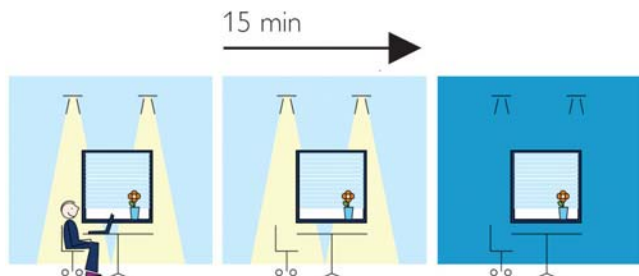
Obr.3: Sestava řídicího systému Actilum

System Actilume je určen pro osvětlovací soustavy kancelářských prostor, malých konferenčních místností, učeben, hal, chodeb, apod. System umožňuje maximální komfort a energetickou úsporu až do 75% ve srovnání s provozem ekvivalentní osvětlovací soustavy bez řídicího systému. Výhodou systému je jednoduchá instalace a provoz bez složitého programování (Plug & Play). System se skládá ze tří integrovaných sensorů a řídicí jednotky, které jsou zabudovány ve svítidle a připraveny k okamžitému provozu ihned po instalaci. Sensor osvětlenosti monitoruje denní osvětlenost v místnosti, sensor detekce pohybu monitoruje přítomnost osob a IR přijímač umožňuje řízení pomocí dálkového ovládání. Osvětlení lze řídit také manuálně pomocí spínání řízené fáze (Touch and Dim). Využitím 10 předprogramovaných módů lze optimálně nastavit provozní režim pro daný typ osvětlovaného prostoru včetně praktické implementace požadavků normy ČSN EN 12 464.

Mód 2 umožňuje v moderních otevřených kancelářích stmívat soustavu na základě denní osvětlenosti na minimální hodnoty umělé osvětlenosti, přičemž v místech, kde se nenachází žádní pracovníci, dojde po nastaveném čase k dalšímu snížení na předem nastavenou hodnotu. Úplné vypnutí těchto svítidel v nočních hodinách by vytvořilo nepříjemnou atmosféru (černé díry), proto se tyto svítidla jen stmívají. Zaměstnanci pracují v příjemném světelném prostředí a provozovatelé mohou ušetřit náklady na spotřebu elektrické energie. Součástí kombinovaných sensorů jsou IR přijímače určené pro dálkové ovládání osvětlovací soustavy s cílem zvýšení komfortu ovládání. Předprogramované módy jsou následující:

- Mode 1: Kanceláře
- Mode 2: Otevřené kanceláře
- Mode 3: Školy/učebny
- Mode 4: Komfortní mód EN 12464 pro otevřené kanceláře
- Mode 5: Komfortní mód EN 12464 pro kanceláře
- Mode 6: Chodby
- Mode 7: Toalety
- Mode 8: Zasedací místnosti (s možností světelných scén)
- Mode 9: Otevřené kanceláře s trvalým okolním osvětlením
- Mode 10: Komfortní mód EN 12464 s trvalým okolním osvětlením

Na Obr. 4 je znázorněn mód 1 zajišťující maximální komfort v kombinaci s maximální úsporou energie v klasické kanceláři. Řídicí jednotka Philips Actilume zapne všechny svítidla automaticky na základě prezenze osob v místnosti. Pokud není detekován pohyb po dobu 15 min., systém osvětlení vypne.



Obr. 4: Mód 1 – detekce osob

Úroveň osvětlení v relevantní oblasti je nezávislá na denním osvětlení, sdružené osvětlení je konstantní (Obr. 5.). Defaultní nastavení referenční osvětlenosti je 600lx při průměrné odraznosti povrchů místnosti 30%. Nastavenou hodnotu lze jednoduše překalibrovat dle potřeby a místní odraznosti povrchů.



Obr.5: Mód 1 – regulace na základě denní osvětlenosti

Philips Actilum představuje pro výrobce svítidel výraznou přidanou hodnotu svítidel zajišťující energeticky úsporné řešení.

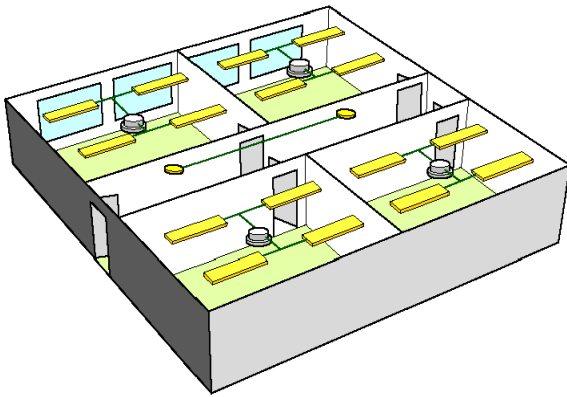
Occuplus je autonomní řídicí jednotka kombinující snímač osvětlenosti, snímač pohybu a IR čidla umožňující řídit stmívatelné elektronické předřadníky s DALI rozhraním (Obr. 6). Osvětlovací soustava je řízena na základě *denního osvětlení a stáří osvětlovací soustavy, přítomnosti osob, funkčnosti prostoru, osobního nastavení*, čímž lze dosáhnout úspory elektrické energie až o 75%.

Ačkoli je OccuPlus navržen pro kancelářské prostory o ploše 20 - 25 m², nebo učebny o ploše kolem 40 m², lze relevantní oblast zdvojnásobit nebo i ztrojnásobit pomocí rozšiřujícího snímače pohybu. Celkem lze ovládat až 15 svítidel jednou řídicí jednotkou Occuplus. Odnímatelný kabelový konektor umožňuje snadnou instalaci a montáž. Pro dosažení snadnější a rychlé instalace lze použít samostatně dodávané kabely Wieland.



Obr. 6: Řídicí jednotka Occuplus

Při paralelním zapojení až 22 jednotek modulů OccuPlus Advanced lze ve speciálním režimu "otevřeného prostoru" dosáhnout pokrytí větších oblastí, například pracovišť s otevřeným prostorem, a zajistit tak maximální komfort a úspory energie. Model Occuplus BMS lze propojit s většinou systémů distribuovaného řízení a monitorování budov (BMS) nebo jiných řídicích systémů používajících rozhraní DALI. Toto řešení umožňuje vytvoření jednoduchých a zároveň velmi efektivních scénářů řízení osvětlení v kancelářských budovách a školách, včetně chodeb, konferenčních místností, apod. (Obr. 7). Modul je optimalizován pro přisazenou nebo zapuštěnou stropní montáž ve výšce mezi 2,5m a 4m. Využitím 10 předprogramovaných módů (obdobných jako u systému Actilum) lze optimálně nastavit provozní režim pro daný typ osvětlovaného prostoru, včetně praktické implementace požadavků normy ČSN EN 12 464. Occuplus je vhodný pro jednoduchou implementaci do projektů, umožňuje rychlou reakci výrobců svítidel nebo elektromontážních firem na požadavek vybavení objektu energeticky úspornou osvětlovací soustavou.



Obr. 7: Typická aplikace systému Occuplus v kanceláři

Actilum color je řídicí jednotka určena pro management statických a dynamických barevných světelných scén umožňující změnu *atmosféry prostoru*. Systém se skládá z kontroleru, který je určen pro snadnou instalaci do speciálního svítidla zajišťující optimální snížení světelného spektra vyzařovaného světelného toku (Obr.8). Systém je předprogramován v 10ti módech, ovšem pomocí Actilum Color Studio softwaru lze naprogramovat vlastní barevné sekvence. Ovládání je zajištěné dálkovým ovládáním nebo přes DMX rozhraní pomocí DMX tlačítka.



Obr. 8: Prvky systému Actilum color

Actilum Color je využíván především v aplikacích v nákupních centrech, malobchodních prodejnách nebo v hotelích jako dynamicky se měnící barevné osvětlení výklenků, stěn, stropů, apod. Řídicí jednotka ovládá až 10 svítidel s RGB zářivkovými trubicemi, rozsáhlejší sítě lze vytvořit kaskádovým propojením řídicích jednotek Actilum color nebo zapojením v DMX síti. Navíc lze připojit do společné sítě i svítidla s LED moduly (například Lexel) a harmonizovat dynamické barevné sekvence svítidel s RGB zářivkami a RGB LED moduly. Philips Actilum color nabízí pro výrobce svítidel výraznou přidanou hodnotu svítidel, která umožňuje zajistit efektivní změnu světelné atmosféry v nákupních centrech, obchodech, lobby, recepcích hotelů, apod. (Obr. 9).



Obr. 9 Actilum color v akci (foto společnost Halla)

Pro systémy Actilum, Occuplus, Actilum Color je určena nová řada moderních tlačítek ToBeTouched s IR, DMX, DALI rozhraním (Obr.10). Pomocí těchto tlačítek lze jednoduše provádět spínání, stmívání, nastavení teploty chromatičnosti a uložení aktuálního nastavení.



Obr. 10 Tlačítková řada ToBeTouched pro DMX, DALI a IR ovládání

Závěr

Řídicí systémy jsou nástrojem pro úsporu elektrické energie, flexibilitu osvětlovacího systému z pohledu osobních potřeb uživatelů nebo změny funkčnosti prostoru a přispívají celkové automatizaci a komfortu osvětlení. Uvedené řídicí systémy společnosti Philips jsou určeny pro vytvoření přidané hodnoty svítidel a osvětlovacích systémů českých a slovenských výrobců svítidel. Mohou se stát požadavkem architektů a investorů, stejně jako inspirací pro projektanty a elektromontážní společnosti v projektech osvětlovacích soustav.

Literatura a odkazy

- [1] Philips OEM Portal, web stránky určené pro výrobce svítidel;
- [2] Inteligentní řízení osvětlovacích soustav vnitřního osvětlení, Prof. Karel Sokanský a kolektiv, Česká společnost pro osvětlování, Ostrava 2003;

Authors: Ing.Luděk Hladký,PhD.,Key account manager OEM CZ&SK, email: Ludek.hladky@philips.com; Libor Štědroň, Sales manager OEM CZ&SK, email: libor.stedron@philips.com; Philips česká republika s.r.o., Šafránkova 1, 155 00 Praha 5

Warunki oświetleniowe w mieszkaniach – wyniki badań ankietowych

Streszczenie. W artykule przedstawiono wyniki badań ankietowych, mających na celu rozpoznanie w jaki sposób oświetlane są polskie mieszkania, jakie są zwyczaje, upodobania i odczucia mieszkańców w zakresie oświetlenia we wnętrzach mieszkalnych, co stwarza największy problem w kreowaniu optymalnych warunków oświetlenia we własnym mieszkaniu oraz jak może ono wpływać na samopoczucie i zdrowie mieszkańców.

Abstract. In the article the results of surveys were shown, which had the aim to determinate the lighting conditions in the Polish apartments, inhabitants' habits, fancy and feelings in scope of rooms lighting, the biggest problems with creation of optimal lighting conditions in own flat and the influence on the mood and health of inhabitants. **(The lighting conditions in the flats – surveys results)**

Słowa kluczowe: mieszkanie, oświetlenie, praca wzrokowa, samopoczucie

Keywords: apartment, lighting, visual work, mood

Wstęp

Jednym z czynników kształtujących warunki życia w mieszkaniu jest oświetlenie. Oświetlenie w mieszkaniu powinno umożliwiać mieszkańcom bezpieczne przemieszczanie się i sprawne wykonywanie różnorodnych czynności oraz zapewniać odpowiedni klimat świetlny. Do problematyki higienicznego oświetlenia mieszkań nie przywiązuje się zbyt dużej wagi, zazwyczaj pozostawiając mieszkańcom wolną rękę w kształtowaniu warunków oświetlenia w ich mieszkaniach. W artykułach prasowych omawiane jest najczęściej wzornictwo opraw oświetleniowych czy energooszczędność nowoczesnych źródeł światła, brakuje natomiast przystępnie napisanych poradników o zasadach i praktycznych sposobach realizacji prawidłowego oświetlenia w mieszkaniach.

Nie ma w Polsce normy dotyczącej oświetlenia pomieszczeń mieszkalnych światłem elektrycznym. Jedynie w wycofanej niedawno normie PN-84/E-02033 [1], obok zaleceń dotyczących oświetlenia stanowisk pracy zawodowej, podane były zalecenia dotyczące oświetlenia wnętrz mieszkalnych. Zgodnie z zapisem wspomnianej normy, średnie natężenie oświetlenia powinno wynosić co najmniej:

- w przedsiionkach, bramach, sieniach: 20 lx,
- w korytarzach, przejściach, na schodach: 50 lx,
- w pokojach mieszkalnych (jadalniach, sypialniach, gabinetach pracy, bawialniach, pokojach dziecięcych, bibliotekach): 100 lx – w całym pomieszczeniu, 200 lx – przy czytaniu i pisaniu okolicznościowym, 300 lx – przy czytaniu i pisaniu długotrwałym, 500 lx – przy długotrwałych pracach z rozróżnieniem drobnych szczegółów,
- w pomieszczeniach sanitarnych: 100 lx,
- w kuchniach: 200 lx,
- w pralniach, suszarniach, spiżarniach: 100 lx.

Ponadto w cytowanej normie zapisano uwagę, iż w domach zamieszkiwanych przez osoby starsze w miejscach przeznaczonych do pracy należy stosować wyższe natężenia oświetlenia (zgodnie ze wskazaniem normy).

O ile na stanowiskach pracy dąży się do zapewnienia stałych w trakcie dnia pracy warunków oświetlenia, umożliwiających sprawne spostrzeganie i motywujących do aktywności, to w przypadku oświetlenia mieszkań powinno to być oświetlenie dobrane do danej sytuacji tzn. odpowiednie dla rodzaju (przeznaczenia) pomieszczenia, wykonywanych w nim czynności oraz aktualnych stanów emocjonalnych mieszkańców np.

potrzeby odpoczynku [2]. A zatem, oświetlenie mieszkania powinno być użyteczne i w dużym stopniu dopasowane do potrzeb i indywidualnych upodobań mieszkańców. Jest to o tyle trudne, iż możliwa jest nawet taka sytuacja, że w jednym pomieszczeniu mieszkalnym może przebywać w tym samym czasie kilka osób o odmiennych upodobaniach względem oświetlenia, wykonujących różne prace wzrokowe. Dlatego do oświetlenia danego wnętrza mieszkalnego, wskazane jest zastosowanie co najmniej kilku źródeł oświetleniowych, odpowiednio rozmieszczonych i wykorzystywanych zależnie od sytuacji.

Oświetlenie mieszkania powinno składać się z rozproszonego oświetlenia ogólnego (tzw. podkładowego) oraz kierunkowego oświetlenia miejscowego (tzw. zadaniowego), można też stosować punktowe akcenty świetlne (mające raczej charakter dekoracyjny). Poprzez odpowiednie rozmieszczenie źródeł i opraw tych trzech rodzajów oświetlenia oraz dobór ilości i barwy zastosowanego światła można kreować warunki świetlne o pożądanym przez mieszkańców parametrach. Potrzebna jest do tego wiedza o zasadach oświetlania wnętrz, a także o zapotrzebowaniu na światło poszczególnych mieszkańców.

Aby dowiedzieć się, w jakim stopniu społeczeństwo radzi sobie z powyższą problematyką, w Instytucie Medycyny Pracy i Zdrowia Środowiskowego w Sosnowcu, przeprowadzono badania polegające na rozpoznaniu: rozwiązań oświetleniowych stosowanych w polskich mieszkaniach, zwyczajów, upodobań i odczuć mieszkańców w zakresie oświetlenia, stopnia wiedzy mieszkańców o zasadach oświetlania mieszkań oraz o oddziaływaniu oświetlenia w mieszkaniach na zdrowie i samopoczucie człowieka.

Materiał i metody

Badania polegały na przeprowadzeniu ankiety wśród mieszkańców Śląska. Ankieta składała się z 30 pytań zamkniętych oraz 2 pytań otwartych, dotyczących warunków oświetlenia mieszkań oraz problemów z nim związanych.

Badaniami objęto grupę 240 osób, w tym 172 kobiety i 68 mężczyzn. Wśród respondentów osoby w wieku do 24 lat stanowiły 27%, w wieku 25-44 lat – 36%, 45-64 lat – 26% i powyżej 64 roku życia – 11%. 162 osoby (68%) z ogółu badanych zamieszkiwało duże miasto, 52 osoby (22%) mieszkało w małym mieście, a 26 osób (11%) mieszkało na wsi. W grupie ankietowanych 128 osób (53%)

było mieszkańcami bloków, 18 osób (8%) – kamienic, a 94 osoby (39%) zamieszkiwało w domach jednorodzinnych. Dobrą sytuację finansową deklarowało 89 osób (37%), przeciętną 141 osób (59%), niekorzystną – 10 osób (4%).

Uzyskane wyniki badań (odpowiedzi na pytania ankiety) poddano opracowaniu statystycznemu, a następnie analizie merytorycznej.

Wyniki

Mieszkania, których dotyczyły badania różniły się między sobą powierzchnią, ilością pomieszczeń, sposobem użytkowania. Najczęstszy skład mieszkania to: kuchnia, pokój gościnny, łazienka, przedpokój, sypialnia.

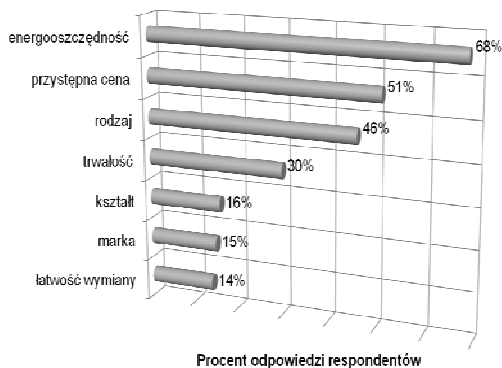
Do oświetlenia powyższych pomieszczeń mieszkańcy używają najczęściej żarówek i świetlówek kompaktowych, rzadziej żarówek halogenowych (Tab.1).

Tabela nr 1 Częstość stosowania źródeł światła

Wnętrze	RODZAJ ŹRÓDŁA ŚWIATŁA			
	żarówka konwencjonalna	żarówka halogenowa	świetlówka kompaktowa	świetlówka liniowa
kuchnia	**		***	
salon / pokój gościnny	***		**	
gabinet/ pokój z biurkiem	***		**	
łazienka	**	***		
sypialnia	***		**	
pokój dziecięcy	***		**	
korytarz ze schodami	***		**	

*** - najliczniejsze odpowiedzi respondentów, ** - liczne odpowiedzi

Przy zakupie źródeł światła mieszkańcy kierują się przede wszystkim ich energooszczędnością i ceną (Rys. 1).



Rys. 1 Cechy źródeł światła brane pod uwagę przy ich zakupie

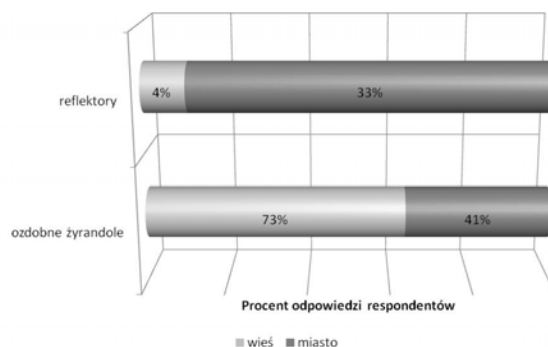
Najpopularniejszymi oprawami oświetleniowymi w polskich mieszkaniach są żyrandole oraz klosze kierujące światło w dolną półprzestrzeń (Tab.2). Powszechnie stosowane są również lampy przenośne (najczęściej w pokojach z biurkiem i pokojach dziecięcych) oraz kinkiety naścienne (najczęściej w korytarzach i łazienkach). Ozdobre żyrandole częściej spotykane są w domach jednorodzinnych (w 60% domów) niż w mieszkaniach w bloku (w 38% mieszkaniach). Ponadto żyrandole częściej spotkać można w domach wiejskich niż miejskich. Stwierdzono również, że w mieszkaniach osób

deklarujących niekorzystną sytuację finansową rzadko stosuje się lampy przenośne (tylko 10% domostw o niskim dochodzie).

Tabela 2 Częstość stosowania opraw oświetleniowych

Pomieszczenie	RODZAJ OPRAWY							
	reflektor	sufit podwieszany	kinkiet	klosz – światło w górę	klosz – światło w dół	żyrandol	klosz zamknięty	lampa przenośna
kuchnia		**		***				
salon					**	***		
gabinet					**			***
łazienka		***	**				*	
sypialnia						***		**
pokój dziecięcy					**			***
korytarz ze schodami			***				**	

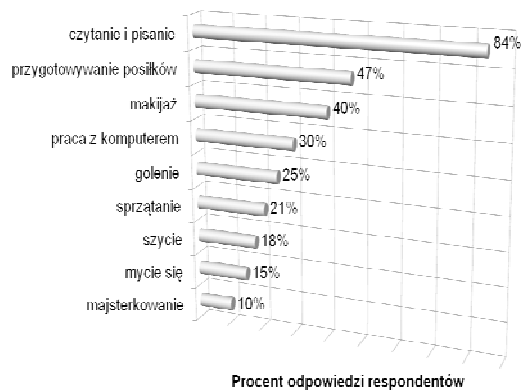
*** - najliczniejsze odpowiedzi respondentów, ** - liczne odpowiedzi
* - sporadyczne odpowiedzi



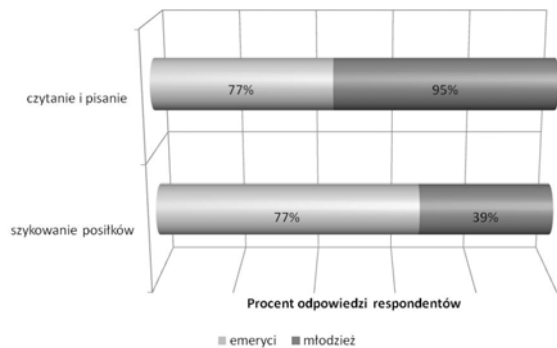
Rys.2 Różnice w powszechności stosowania wybranego rodzaju oprawy oświetleniowej w domach miejskich i wiejskich

Według mieszkańców najważniejsze jest dla nich dobre oświetlenie kuchni (śr. 74% respondentów), pokoju z biurkiem (56% respondentów) i łazienki (53% respondentów), przy czym najbardziej potrzebne jest ono: przede wszystkim podczas czytania i pisania, pracy z komputerem, przygotowywania posiłków, wykonywania makijażu i golenia się (Rys.3).

Pewne różnice w powyższych wypowiedziach zauważono między najmłodszą i najstarszą grupą respondentów. Dla osób w wieku poniżej 24 roku życia ważniejsze jest dobre oświetlenie pokoju z biurkiem (73% młodych respondentów, 38% starszych respondentów) i łazienki (56% młodych respondentów, 38% starszych respondentów). Dla osób powyżej 64 roku życia najważniejsze jest dobre oświetlenie kuchni (85% starszych respondentów, 63% młodych respondentów). Także przy wskazywaniu czynności przy których te dwie grupy wiekowe potrzebują najwięcej światła ujawniły się pewne różnice (Rys.4).

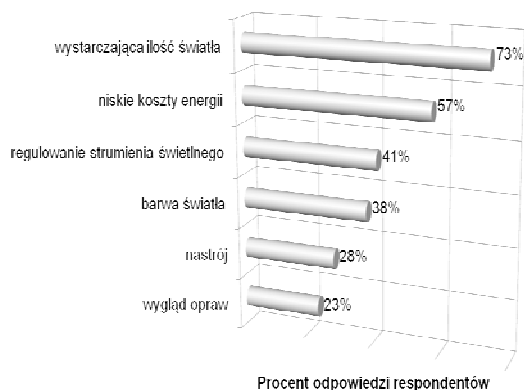


Rys. 3 Czynności domowe przy wykonywaniu których odpowiednie oświetlenie jest najbardziej potrzebne



Rys. 4 Istotność światła przy wykonywaniu różnych prac wzrokowych w opinii osób młodych i starszych

Najbardziej pożądanymi dla mieszkańców cechami oświetlenia w mieszkaniu – niezależnie od płci, wieku czy miejsca zamieszkania - okazały się: wystarczająca ilość światła, niskie koszty energii oraz możliwość regulacji strumienia świetlnego (Rys.5).



Rys.5 Najistotniejsze cechy oświetlenia mieszkania w opinii mieszkańców

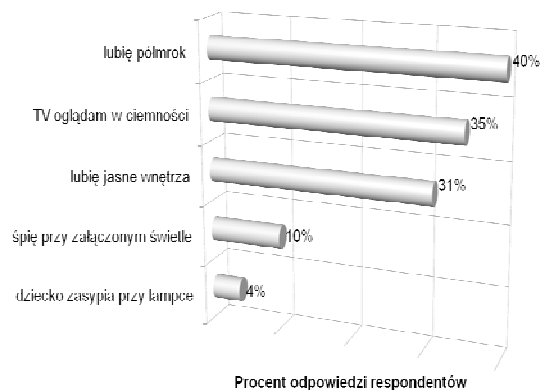
Najczęściej mieszkańcy skarżyli się na: niemożność regulacji strumienia świetlnego, niedoświetlenie pomieszczeń i złe usytuowanie źródeł światła (Rys.6). Stwierdzono, że na występowanie

niedoświetlenia częściej skarżyły się osoby po 64 roku życia (42% starszych respondentów) oraz kobiety (38% kobiet).



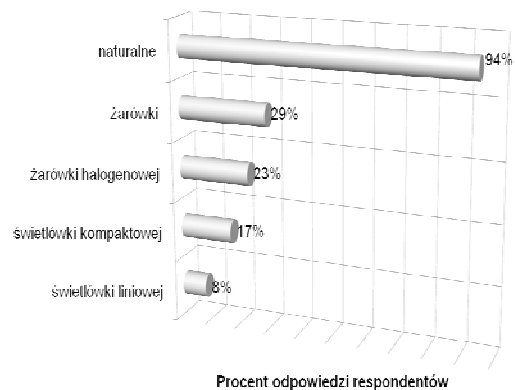
Rys. 6 Wady oświetlenia w mieszkaniu w opinii domowników

Jednocześnie stwierdzono, że niejednokrotnie mieszkańcy potrzebują dostosowania natężenia oświetlenia w mieszkaniu do aktualnego stanu emocjonalnego m.in. potrzeby relaksu, poczucia bezpieczeństwa (Rys.7).



Rys. 7 Upodobania i zwyczaje związane z oświetleniem

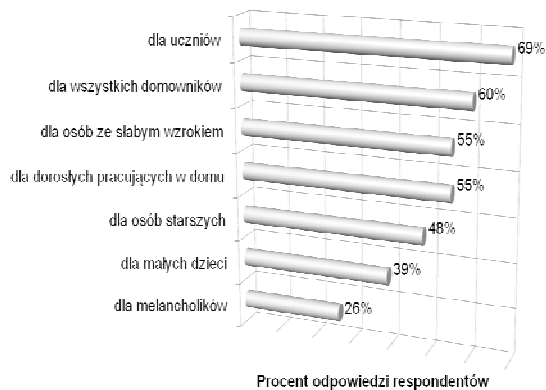
Dalsze odpowiedzi dotyczące oświetleniowych upodobań mieszkańców wykazały, iż preferowanym światłem podczas wykonywania pracy, jak i odpoczynku jest światło naturalne i światło żarówek (Rys.8).



Rys. 8 Ulubiony przez mieszkańców rodzaj światła

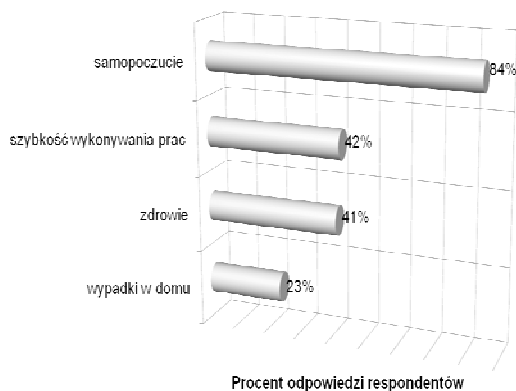
Okazało się także, że respondenci dostrzegają ważność oświetlenia dla każdego domownika, ale w

szczególności dla uczących się dzieci, dla osób z wadami wzroku oraz dla osób wykonujących pracę w domu (tzn. czynności domowe takie jak np. szycie, sprzątanie, prasowanie, ale niejednokrotnie także kontynuowaną w domu pracę zawodową) (Rys.9).



Rys. 9 Kategorie domowników, dla których oświetlenie jest szczególnie ważne

Wg badanych, warunki oświetlenia mają przede wszystkim wpływ na samopoczucie mieszkańców i szybkość wykonywania czynności domowych, a nawet na zdrowie (Rys.10).

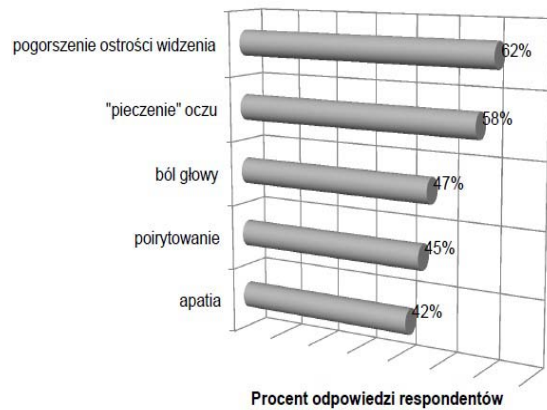


Rys. 10 Opinia respondentów na temat wpływu warunków oświetleniowych na funkcjonowanie mieszkańców

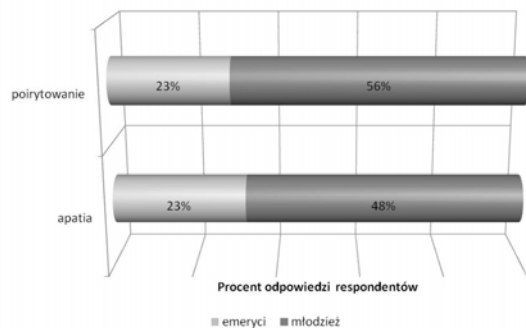
Wśród objawów zdrowotnych kojarzonych z negatywnym oddziaływaniem niekorzystnych warunków oświetlenia w mieszkaniu, wymieniano najczęściej: pogorszenie ostrości widzenia (62% respondentów), „pieczenie” oczu (58% respondentów) i ból głowy (48% respondentów) (Rys.11).

Stwierdzono, że wpływ oświetlenia na samopoczucie w większym stopniu odczuwają najmłodszy respondenci (Rys.12).

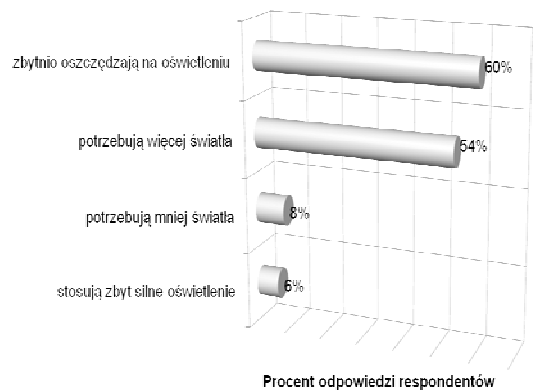
Ponadto respondenci upatrują w złym oświetleniu mieszkań przyczyny pojawiania się u dzieci wad refrakcji (67% respondentów), a także ich niechęci do nauki i odrabiania lekcji (42% respondentów). Natomiast, co warto jest podkreślić, respondenci świadomi są większego zapotrzebowania na światło osób starszych oraz zbytniej oszczędności w tym zakresie tych osób (Rys.13).



Rys.11 Negatywny wpływ oświetlenia mieszkań na kondycję psychofizyczną mieszkańców



Rys.12 Wpływ oświetlenia na samopoczucie w ocenie starszych i młodszych respondentów

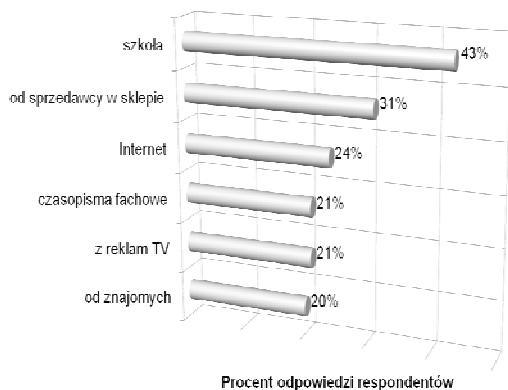


Rys.13 Osoby starsze a oświetlenie mieszkania

Końcowe pytania ankiety zawierały prośbę o ocenę swojej wiedzy z zakresu sposobów prawidłowego oświetlenia mieszkań. Większość respondentów uważała, że ich wiedza na temat oświetlenia mieszkań jest powierzchowna (60% respondentów), po 13% respondentów twierdziło, że posiada taką wiedzę lub, że niestety nie posiada takiej wiedzy, lub że w ogóle nie interesuje ich ta tematyka. Wśród osób nie zainteresowanych, aż 38% stanowiły osoby powyżej 64 roku życia, i tylko 9% spośród osób poniżej 24 roku życia. Znaczna część ankietowanych osób stwierdziła ponadto, że

tylko w niewielkim zakresie mogą sami kreować w mieszkaniu warunki oświetleniowe (42% respondentów).

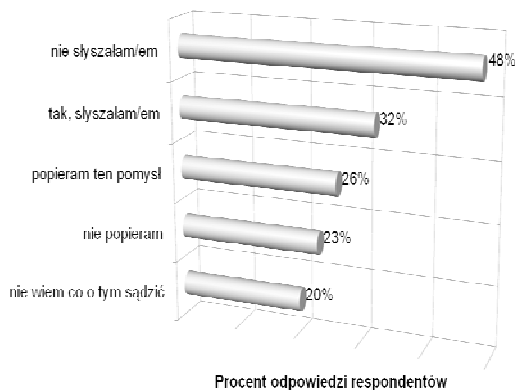
Osoby, które deklarowały posiadanie wiedzy na temat oświetlania mieszkań wskazały źródła pochodzenia takiej wiedzy, które przedstawia rysunek 14.



Rys. 14 Źródła wiedzy mieszkańców na temat oświetlania mieszkań

Odpowiedzi z najmłodszej i najstarszej grupy wiekowej różnią się nieco. Osoby starsze wskazują na główne źródło wiedzy o oświetleniu sprzedawcę w sklepie elektrycznym, reklamy oraz znajomych, a młodzież wskazuje na szkołę, internet i reklamy.

Prawie 50% respondentów nie słyszało o rozpoczętym w 2009 r. – zgodnie z rozporządzeniem Unii Europejskiej - wycofywaniu żarówek konwencjonalnych z produkcji i rynków zbytu, a zatem i z powszechnego użytkowania (Rys.15).

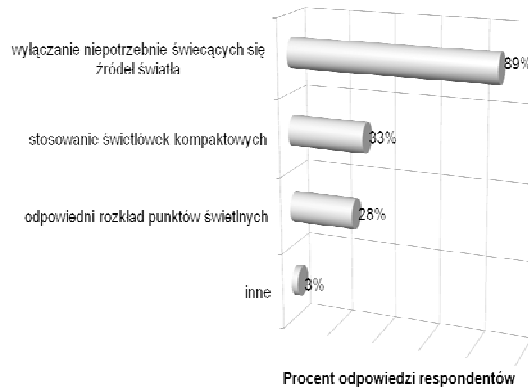


Rys.15 Wiedza i opinia mieszkańców na temat wycofywania żarówek z powszechnego użytkowania

Co ciekawe, aż 68% ankietowanych osób poniżej 24 roku życia nie słyszało w wycofywaniu żarówek z powszechnego użytkowania oraz o przesłankach takiego postanowienia Unii.

Ankietowani, zapytani o możliwe sposoby oszczędzania energii elektrycznej zużywanej przez instalację oświetleniową w mieszkaniu wskazywali przede wszystkim na wyłączenie niepotrzebnie świecących się źródeł światła (aż 89% respondentów), a tylko 33% respondentów proponowało zamianę żarówek na świetlówki kompaktowe, przy czym bardziej przychylni świetłówkom

kompaktowym byli mężczyźni (43% mężczyzn i 29% kobiet) (Rys.16).



Rys.16 Najskuteczniejszy sposób oszczędzania energii elektrycznej pobieranej przez instalację oświetleniową w opinii mieszkańców

Omówienie wyników badań

Jak ujawniły przeprowadzone badania, w polskich mieszkaniach w chwili obecnej nadal najczęściej stosowane są żarówki konwencjonalne oraz świetlówki kompaktowe. Ciągła powszechność stosowania żarówek na pewno w dużej mierze wynika z przyzwyczajenia społeczeństwa do tego źródła światła, z łatwości jego użytkowania, przystępnej ceny, a także, jak wykazały badania, z faktu, iż światło żarówki - zaraz po świetle naturalnym - jest światłem najbardziej ulubionym przez respondentów, zarówno podczas wykonywania prac, jak i odpoczynku. Z kolei do świetlówek kompaktowych prywatnych użytkowników przekonuje deklarowana przez producentów i media - dużo większa energooszczędność i trwałość tych źródeł światła, mimo wyższej ceny w porównaniu z ceną żarówek. Praktycznie nie spotyka się w mieszkaniach świetlówek liniowych czy innych rodzajów źródeł światła (np. źródeł LED, których zalet i wad społeczeństwo jeszcze nie zna).

Powyższa sytuacja niebawem się zmieni, ponieważ od 1 września 2009 roku obowiązuje narzucony Dyrektywą Unii Europejskiej zakaz produkcji żarówek matowych i przezroczystych [3, 4].

Jak ujawniły badania ankietowe, prawie połowa respondentów nie słyszała o powyższych postanowieniach (szczególnie osoby młode), a wśród tych którzy słyszeli - około 43% nie popiera tego planu lub nie wie co o nim sądzić. Nadal istnieją wątpliwości czy zastąpienie żarówek świetłówkami kompaktowymi przyniesie globalne oszczędności energetyczne, czy spełnią się deklaracje odnośnie trwałości użytkowania świetlówek przy ich częstym załączaniu i wyłączeniu, oraz czy będzie możliwa wydajna utylizacja tych rtęciowych źródeł światła.

Respondenci deklarowali, iż przy zakupie źródła światła kierują się jego energooszczędnością (co przemawia na korzyść świetlówek kompaktowych), jednak kolejną wymienianą cechą jest przystępna cena i rodzaj, a te cechy przemawiają za dobrze znanymi żarówkami.

Badania ujawniły, iż w przypadku oświetlenia w mieszkaniu ważny jest dla respondentów czynnik ilościowy (wystarczająca ilość światła), ekonomiczny (niskie opłaty „za światło”) oraz psychologiczny (możliwość kreowania nastroju).

Ponieważ okazało się, że najistotniejsze dla mieszkańców jest prawidłowe oświetlenie kuchni, pokoju z biurkiem i łazienki, oznacza to, że najbardziej potrzebują oni wystarczającej ilości światła podczas wykonywania precyzyjnych prac wzrokowych (jakimi są czytanie, pisanie, praca z komputerem, szykowanie posiłków, wykonywanie makijażu, golenie się), co potwierdziły wyniki ankiety.

Najczęstszą wadą oświetlenia w mieszkaniach wg respondentów jest występowanie niedoświetlenia w pewnych pomieszczeniach lub obszarach pomieszczenia oraz niemożność regulacji strumienia świetlnego.

Istnienie takich niedogodności w mieszkaniach respondentów wynika prawdopodobnie z nie przywiązywania uwagi do prawidłowego oświetlenia domu lub z braku rozeznanie i praktycznych umiejętności zapewnienia sobie prawidłowych poziomów natężenia oświetlenia i jego regulacji w zależności od aktualnie wykonywanej pracy czy nastroju. Potrzebna byłaby mieszkańcom wiedza na temat jakie poziomy natężenia oświetlenia są wskazane w poszczególnych pomieszczeniach czy podczas wykonywania określonych czynności, jakie źródła światła i o jakich mocach są w stanie te poziomy zapewnić, w jaki sposób rozmieszczać punkty świetlne (w tym oświetlenie miejscowe), aby w danym miejscu stworzyć możliwość zmiany poziomu natężenia oświetlenia, w zależności od sytuacji.

Pytania o zwyczaje i upodobania mieszkańców w zakresie oświetlenia ujawniły, że ponad 30% respondentów najlepiej czuje się w silnie oświetlonych wnętrzach, 40% respondentów natomiast lubi przebywać w półmroku (prawdopodobnie chodzi o czas odpoczynku, relaksu) i często załącza tylko kinkiety lub lampki miejscowe. Ponad 30% respondentów ogląda TV w ciemnościach, a z kolei 10% z nich przyznaje się, że śpi przy załączonej lampce.

Niektóre przytoczone zwyczaje mieszkańców, a także niedoświetlenie lub np. oślnienie występujące w pomieszczeniach może niekorzystnie wpływać na zdrowie domowników. Jak sami respondenci stwierdzili, nieprawidłowe oświetlenie wpływa na ich samopoczucie (może np. irytować lub przyciemniać). Ponadto, wykonywanie pracy w warunkach zbyt niskiego poziomu natężenia oświetlenia może prowadzić – oprócz możliwości popełnienia błędów i spowolnienia pracy - do szybszego powstania zmęczenie ogólnego organizmu oraz zmęczenia oczu, które z kolei może skutkować generowaniem lub pogłębieniem się wad refrakcji.

Jest to szczególnie ważne dla uczących się dzieci i młodzieży oraz dorosłych osób wykonujących w domu wielogodzinną nieraz pracę wzrokową. Wg Słomskiej [5] nieprzebranie higieny wzroku polegające na zbyt intensywnej pracy wzrokowej w złym oświetleniu i znacznym pochyleniu głowy sprzyja powstawaniu krótkowzroczności.

Ważne jest to także dla osób starszych, które podczas nawet zwykłych czynności życiowych i prac domowych - z uwagi na zmiany anatomiczno-fizjologiczne w narządzie wzroku - wymagają wyższych poziomów natężenia oświetlenia [6]. W porównaniu z okiem dwudziestolatka do wnętrza oka osoby starszej dociera tylko 1/3 światła ze względu na mniejszą średnicę źrenicy i zmętnienie soczewki [7]. Ponad 50% respondentów ma tego świadomość, przy czym słusznie zauważają oni także, iż osoby starsze zbyt oszczędzają na oświetleniu i nie dbają o stworzenie sobie komfortowych warunków wizualnych w swoim własnym mieszkaniu, co znacznie wpłynęłoby na ich aktywność i jakość życia.

Niekorzystny dla oczu jest również wymieniony wyżej nawyk niektórych mieszkańców do oglądania telewizji przy zupełnie wyłączonym świetle. Występujący zbyt duży

kontrast luminancji ekranu telewizora i luminancji otoczenia prowadzi do nadmiernego wysiłku adaptacyjnego oczu, zmęczenia oczu, co z czasem także może prowadzić do powstania wady refrakcji. Spanie przy załączonym oświetleniu też nie jest korzystnym przyzwyczajeniem. Światło jest czynnikiem biorącym udział w rozwoju układu wzrokowego. Wg Czepity [8], u osób które do 2 roku życia spały przy włączonym świetle częściej występuje krótkowzroczność lub nadwzroczność (obecność światła wpływa na kształtowanie się gałki ocznej i rogówki). Spanie przy załączonym świetle osób dorosłych może przyczynić się do zaburzeń rytmu okołodobowego, wpływać na stężenie hormonów w organizmie człowieka i być czynnikiem chorobotwórczym [9].

Wnioski

Odpowiednio dobrane oświetlenie mieszkania ułatwia wykonywanie pracy, naukę, zabawę, odpoczynek i regenerację sił. Ponieważ oświetlenie w pomieszczeniach mieszkalnych może oddziaływać na samopoczucie, a nawet zdrowie człowieka, powinno się przywiązywać do niego większą wagę, uwzględniając potrzeby wszystkich mieszkańców.

Przeprowadzone badania ujawniły, iż większość osób zdaje sobie sprawę z istotności oświetlenia w mieszkaniu i chciałoby coś w tym zakresie zmienić, lecz nie posiada wystarczającej wiedzy na temat zasad i praktycznych sposobów prawidłowego i atrakcyjnego oświetlenia mieszkań. Wskazaniem byłoby dostarczenie takiej wiedzy społeczeństwu w formie publikacji, broszur, reklam.

Piśmiennictwo

- [1] PN-84/E-02033 „Oświetlenie wnętrz światłem elektrycznym.”
- [2] Bąk J., Oświetlenie mieszkań., WNT, Warszawa, (2000).
- [3] Dyrektywa 2005/32/WE Parlamentu Europejskiego i Rady z dnia 6 lipca 2005 r. ustanawiająca ogólne zasady ustalania wymogów dotyczących ekoprojektu dla produktów wykorzystujących energię oraz zmieniająca dyrektywę Rady 92/42/EWG oraz dyrektywę Parlamentu Europejskiego i Rady 96/57/WE i 2000/55/WE (Dz.Urz. Unii Europejskiej, 2005, 22, 7).
- [4] Rozporządzenie Komisji (WE) nr 244/2009 z dnia 18.03.2009 r. w sprawie wykonania dyrektywy 2005/32/WE Parlamentu Europejskiego i Rady w odniesieniu do wymogów dotyczących ekoprojektu dla bezkierunkowych lamp do użytku domowego (Dz.Urz. Unii Europejskiej 2009, 24, 7).
- [5] Słomska J.: Współczesne poglądy na etiopatologię i leczenie krótkowzroczności., Klinika Oczna, 3 (1994), 112-115.
- [6] Bouma H., Sagawa K.: Ageing effects on Visio., Conference Materials of CIE 24th Session in Warsaw, (1999), 368-370.
- [7] Fałkowska Z.: Okulistyka., PZWL, Warszawa, (1978), 167.
- [8] Czepita D.: Rola oświetlenia w patogenezie wad refrakcji., Klinika Oczna 1 (2002), 63-65.
- [9] www.jefferson.edu/facint

Autorzy: dr Elżbieta Janosik, dr Stanisław Marzec, mgr Marcin Łaciak, Instytut Medycyny Pracy i Zdrowia Środowiskowego, ul. Kościelna 13, 41-200 Sosnowiec., E-mail: e.janosik@imp.sosnowiec.pl, s.marzec@imp.sosnowiec.pl, m.laciak@imp.sosnowiec.pl

Taking Control of Your HID Lighting

Abstract. Ventronic electronic control gear lets you take control of your HID lighting. The new Ventronic offers numerous methods for dimming Metal Halide lamps including Wi-Fi, using 802.11b wireless networks. Provides superior light quality with increased lumen maintenance and increased lamp life over a wide range of supply voltages; optimized energy savings through excellent efficiency over the full dimming range.

Keywords: Control, HID, Dimming, Energy savings

Introduction:

Ventronic from Venture lighting, one of the world's leading names in advanced design and technology. With the Ventronic solution, you can determine the light levels you require at any given time, either manually or by programmable options.

With conventional control gear light is either ON or OFF. Your lamps will burn at full power – even when you don't need to. However using Ventronic, the lights can be dimmed when it's bright outside, and only revert to a higher power when necessary.

Daylight Harvesting, as this technique is referred to, is an excellent way of saving energy costs and extending the life of the lamp without compromising on light levels. As it takes into consideration and therefore makes use of natural ambient light, it can also make a very positive contribution to a company's environmental policies.

Improved Lamp Performance:

Using the Ventronic ballast can improve the performance of the lamp in a number of ways. Because of the much higher frequency of operation, the lamps electrodes are kept at a constant temperature, thus providing for more Stable Colour, Longer Lamp Life and Improved Lumen Maintenance.

By utilising Resonant Start technology the Ventronic ballast provides a controlled starting sequence that is "kind" to the electrodes with no effect on lamp life by the number of switches made. The higher frequency of low voltage pulses and the gradual increase of resonant voltage prepare the electrode for a "sputter free" ignition. Unlike conventional starting methods, this Soft Start causes no damage to the electrodes and subsequently does not blacken the arc tube thus resulting in greater lumen maintenance.

With Ventronic, the Optimum Electrode Temperature is reached much faster. Typically, Ventronic offers a warm up time of 30-40 seconds rather than 2-3 minutes. Again, this leads to better Lumen Maintenance and Longer Lamp Life.

Constant output power to the lamp over a wide range of input voltage variations means that there is no change in light output or colour even with an unstable supply voltage. Even as the lamp ages there is no change in lamp power due to the regulation by the Ventronic.

The Ventronic will sustain lamps with exceptionally high lamp volts, thus extending lamp life. Overall this gives 90% maintained lumens. Increased lamp warranties are available.

Superior light quality:

The Ventronic ballasts high operating frequency totally eliminates lamp flicker to such an extent that it supports the use of high speed camera filming, including CCTV. High frequency equals less "Dark" time. This benefit applies even at the lowest dimming levels.

Ventronic Simplicity:

Despite all its benefits, Ventronic is actually significantly lighter than most conventional control gear, in turn making the fitting lighter. This lends itself to ceilings with lighter load-bearing.

Ventronic is Class A rated for noise – which means it's completely silent in operation so, there's no distracting buzz or hum, not even during start up.

Due to the resonant start technology used, Ventronic can be installed up to 30 metres from the lamp allowing for much easier installation and maintenance. The ballast is designed to offer special protection against shorting the output or reversed input/output lead due to incorrect installation. Also included is an improved input protection against dropped neutral line faults.

Energy Savings:

The Ventronic ballast has been optimized to give excellent energy efficiency of >93% over the full range of dimming. With conventional control gear, you would expect a power factor of around 0.85. With Ventronic this is significantly improved to near unity whilst enjoying the further benefit of a low Total Harmonic Distortion (THD) of less than 10%. This allows the use of lower cost, smaller cable sizes during installation.

Dimming and Control:

Ventronic dimming is fully programmable from 100% down to 50% or better, depending on each lamps capability. A special Economy operating mode provides operation at 85% of its maximum power. Light intensity remains very close to that of full power – and yet with an energy saving of 15%.

Economy mode = 15% Energy saving (see fig 1)

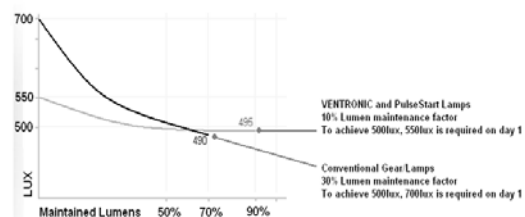


Fig 1: Economy mode Example

Dimming and control Continued:

The same number of fixtures in the scheme can be operated in Economy mode for a continuous additional energy savings without compromising the scheme's required light level.

By use of a control signal, the ability to dim to a very low level and then to immediately revert to full power allows significant energy savings in certain applications. One example would be a warehouse or another such area, where there is no reason to have the lights at full power until that area becomes occupied and full light levels are required.

Dimming and control is supported by a wealth of flexible options:

Dimming and Control Options:

Stepped Dimming with the Ventronic can be initiated by a simple single control wire which can be connected to; Photocells that can be used for Daylight Harvesting, Passive infrared sensors for occupancy detection, timer switches where lighting requirements are known or even a simple manual light switch. A combination of any of the above can also be used.

Another option is the industry standard 0-10V where the light output can be varied between the minimum and maximum levels either manually or with a suitable lighting management system.

Part Night dimming option features a sophisticated time adjusting algorithm which calculates the dimming time, based on the previous day's lighting up times, allowing for automatic dynamic adjustments relating to seasonal changes.

Finally the Ventronic can be controlled by a DALI compatible Wi-Fi 802.11b wireless network when paired with a personal computer and controller.

Specifications:

Ventronic will be available on two wattage platforms the first in the 320W to 450W power range and then 200W to 300W power range. Both platforms will be available in two case designs. Our standard stand alone Aluminium Housing suitable for remote mounting or placing inside suitable fixtures and our new POD design for high bay applications which allows for customers own reflectors / refractors to be fitted directly to the POD thus removing the need for an external fitting.

Conclusion:

Isn't it about time you took CONTROL of your HID lighting?

Authors:

Peter Jones; Electronics Product Manager E-mail peter.jones@venturelighting.co.uk

Clive Riddell; Quality & Technical Manager E-mail clive.riddell@venturelighting.co.uk

Venture Lighting Europe Ltd. Trinity Court, Batchworth Island, Church Street,
Rickmansworth, WD3 1RT. United Kingdom

More light on the road – tests of passing lights with modern halogen filament lamps

Abstract. This paper presents passing lights illuminance measurement results of typical headlamps design (headlamp with parabolic reflector and ribbed lens, free form reflector with plain lens and elliptical lens reflector with plain lens) equipped with selected, currently manufactured halogen filament lamps giving “more light on the road”. This allowed to verify the influence of the offered filaments’ design solutions on the road illumination, in comparison with the standard halogen filament lamps.

Keywords: halogen filament lamp, passing lights, photometry, illuminance.

Introduction

Passing lights in the vehicle headlamps serve two opposite purposes: on one hand they should ensure the best road illumination, and on the other they should not dazzle oncoming drivers. One might think that limits for halogen filament lamps imposed by normative documents, concerning emitted luminous flux and filament geometry, will cause the current technical possibilities for passing lights equipped with this kind of light sources, to be exhausted. However, we can buy in the stores halogen filament lamps giving “more light on the road”, sometimes even 90% more.

Tests

The objects of testing were, available in the stores, halogen filament lamps giving “more light on the road”, of two most popular categories i.e. H4 and H7. There were 2 pcs of 9 types of filament lamps of given category tested, produced by different company's.

First stage of testing concerned measurement of luminous flux and power consumption, in order to stabilize photometrical parameters and check whether the requirements of suitable normative documents were met. Measurements results are presented in table 1 and 2. Power consumption of filament lamp category H4 should not exceed 68W and luminous flux should be within 850-1150lm. For H7 category this values should be 58W and 1350-1650lm respectively. All light sources tested complied with the appropriate requirements. Maximum differences of power consumption between tested filament lamps reached 10% and 25% for luminous flux.

In order to analyze the influence of filament lamps parameters on the road illumination, the illuminance measurement of passing lights was made. For this purpose a vertical measuring screen placed at distance of 25m was used, according to requirements of normative document [2]. For the measurement a matrix luminance meter was used. This device allows making quasi continuous measurements of illuminance distribution (fig. 5), having complied with the condition of diffused and non selective reflection of light from measuring screen surface. Measurements were made for four selected, usually used types of approved headlamps:

- H4 headlamp with parabolic reflector and ribbed lens – Fiat Cinquecento (fig. 1),
- H4 free form reflector with plain lens - Toyota Yaris (fig. 2)
- H7 free form reflector with plain lens - VW Jetta (fig. 3),
- H7 elliptical lens reflector with plain lens - Mazda 3 (fig. 4).

Table 1 Measurement results of power consumption and luminous flux of category H4 halogen filament lamps.

Filament No.	U [V]	I [A]	P [W]	ϕ [lm]
			≤ 68	$1000 \pm 15\%$
1	13,2	4,567	60,3	1100
2	13,2	4,568	60,3	1112
3	13,2	4,568	60,3	974
4	13,2	4,55	60,1	960
5	13,2	5,068	66,9	1094
6	13,2	5,095	67,3	1148
7	13,2	4,318	57,0	1051
8	13,2	4,327	57,1	1047
9	13,2	5,035	66,5	1006
10	13,2	5,014	66,2	1018
11	13,2	4,648	61,4	956
12	13,2	4,6	60,7	918
13	13,2	4,589	60,6	1077
14	13,2	4,623	61,0	1058
15	13,2	5,087	67,1	955
16	13,2	5,061	66,8	979
17	13,2	4,444	58,7	979
18	13,2	4,474	59,1	1001

Table 2 Measurement results of power consumption and luminous flux of category H 7 halogen filament lamps

Filament No.	U [V]	I [A]	P [W]	ϕ [lm]
			≤ 58	$1500 \pm 10\%$
1	13,2	4,305	56,8	1464
2	13,2	4,308	56,9	1444
3	13,2	4,216	55,7	1617
4	13,2	4,186	55,3	1572
5	13,2	4,329	57,1	1522
6	13,2	4,339	57,3	1501
7	13,2	4,341	57,3	1481
8	13,2	4,327	57,1	1473
9	13,2	4,248	56,1	1528
10	13,2	4,259	56,2	1531
11	13,2	4,301	56,8	1559
12	13,2	4,287	56,6	1544
13	13,2	4,302	56,8	1428
14	13,2	4,334	57,2	1466
15	13,2	4,302	56,8	1518
16	13,2	4,259	56,2	1481
17	13,2	4,242	56,0	1566
18	13,2	4,203	55,5	1560



Fig. 1 Headlamp with H4 halogen filament lamp, with parabolic reflector and ribbed lens (Fiat Cinquecento)



Fig. 2 Headlamp with H4 halogen filament lamp, with free form reflector and plain lens (Toyota Yaris)



Fig. 3 Headlamp with H7 halogen filament lamp, with free form reflector and plain lens (VW Jetta).



Fig. 4 Headlamp with H7 halogen filament lamp, with elliptical lens reflector and plain lens (Mazda 3)

At first the headlamp was adjusted and illuminance values, for standard halogen filament lamps, with a reference luminous flux (1000lm for H4, 1500lm for H7) [2] were measured. Next, each light source was installed in the headlamp in such way as to avoid changing its position in relation to measuring screen. This allowed to observe changes of cut-off line position for each filament lamp, caused by deviations of their geometry. Correction of levelling was made by using visual aiming (method currently used at the service stations). During the tests values at points and zones analyzed during approval tests were measured, taking into consideration acceptable manufacturing deviations (procedure of conformity of production). Because of vast amount of measurement results obtained, in this paper only values of illuminance measured at point 75R (corresponding illumination on the right hand side of the road at distance of 75m before vehicle) and zone III (zone above cut-off line where illumination should be limited to 0,7lx to avoid possible glaring of other road users) were presented. Measurement results are shown in figures 6 ÷ 13.

Analysis of illuminance measurement results revealed that it can't be unambiguously stated that filament lamps giving "more light on the road" better illuminate the road. Depending on type of headlamp and filament different results was achieved. For instance H4 filament with declared 90% better road illumination (marked by symbol +90%) placed in Fiat Cinquecento headlamp gives at point 75R illuminance value 12% higher than value achieved for standard filament. Placing the same filament lamp in Toyota Yaris headlamp causes increase of illuminance value of about 29% and about 23% for VW Jetta headlamp. But for Mazda 3 headlamp 7% value decrease was observed, when compared with values achieved for standard filament lamp. A bit better results were obtained for filaments marked by symbol +80%, which were: 27%, 101% 17, and 25% respectively. On the other hand, analysis of results achieved in zone III, for Fiat Cinquecento and VW Jetta headlamps, equipped with +90% filaments revealed undesirable increase of illuminance values of about 19% and 23%, what can cause increasing risk of glaring other road users. Similar results were achieved for +80% filaments. In Fiat Cinquecento headlamp the value in zone III increased by 66%, in Toyota Yaris increased by 15% and in Mazda 3 by 21%.

The differences in range of illuminations achieved by a given headlamp result from their construction features e.g. headlamps with elliptical reflector are characterized by lower illuminance values, but they have sharp cut-off line, illumination is more uniform and they are less sensitive to filament geometry deviations. While, constructions with free form reflector are characterized by better concentration of light on the road area (higher illuminance values at point 50V, 75R and 50R), but have less sharp cut-off line and higher sensitivity to filament geometry deviation.

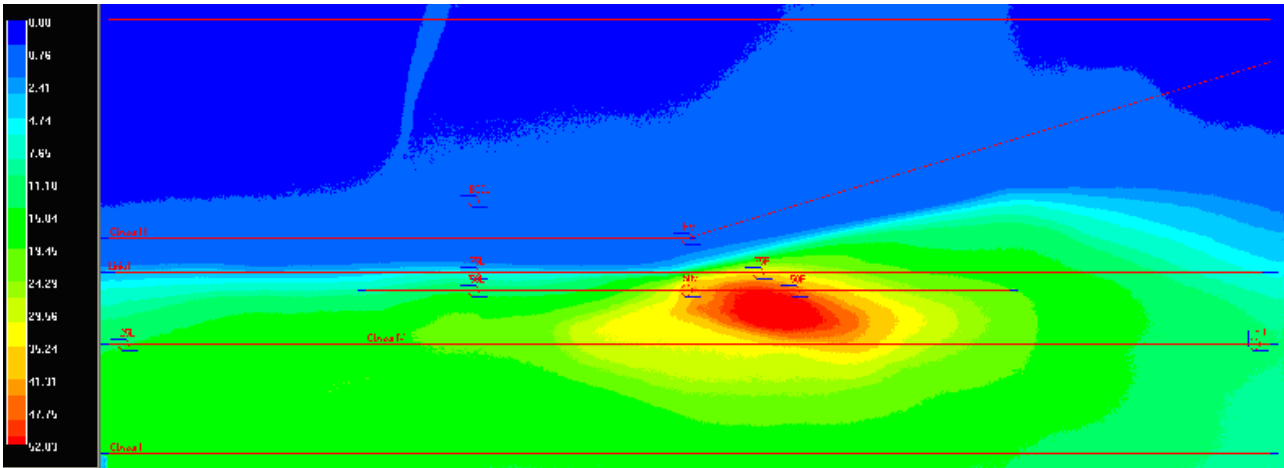


Fig. 5 Example of illuminance distribution [lx] of passing light for the H4 Toyota Yaris headlamp.

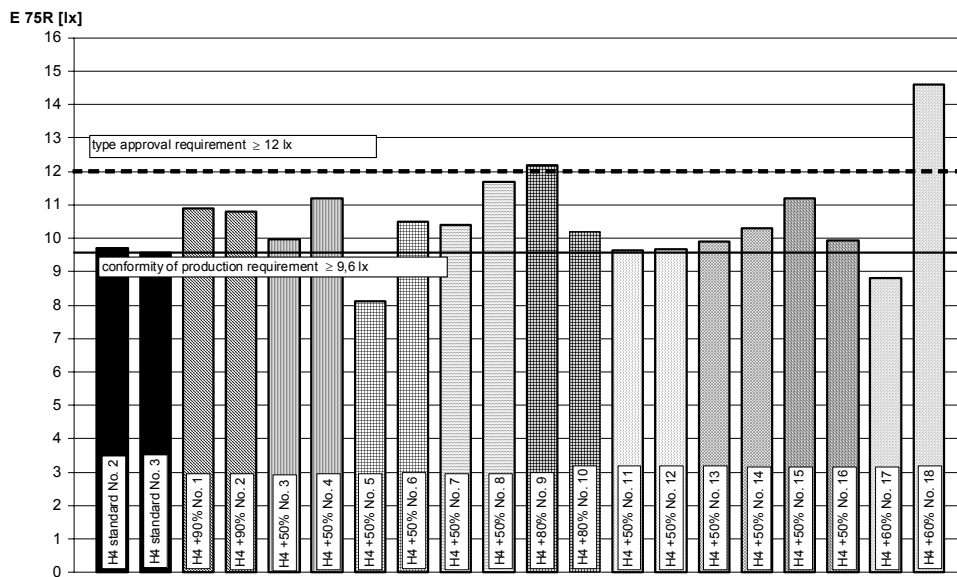


Fig. 6 Illuminance measurement results at point 75R of H4 headlamp with parabolic reflector and ribbed lens (Fiat Cinquecento).

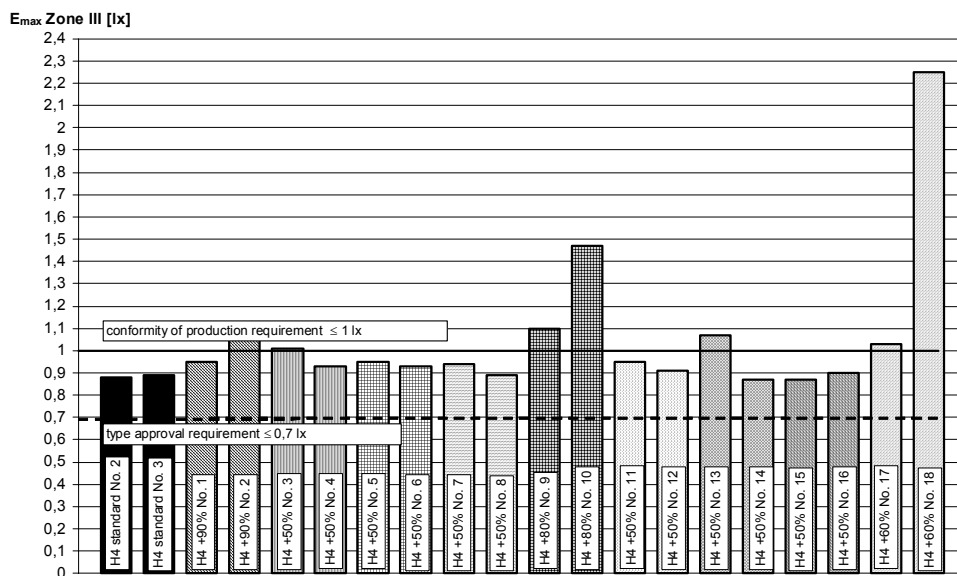


Fig. 7 Illuminance measurement results of maximum value in Zone III for the H4 headlamp with parabolic reflector and ribbed lens (Fiat Cinquecento).

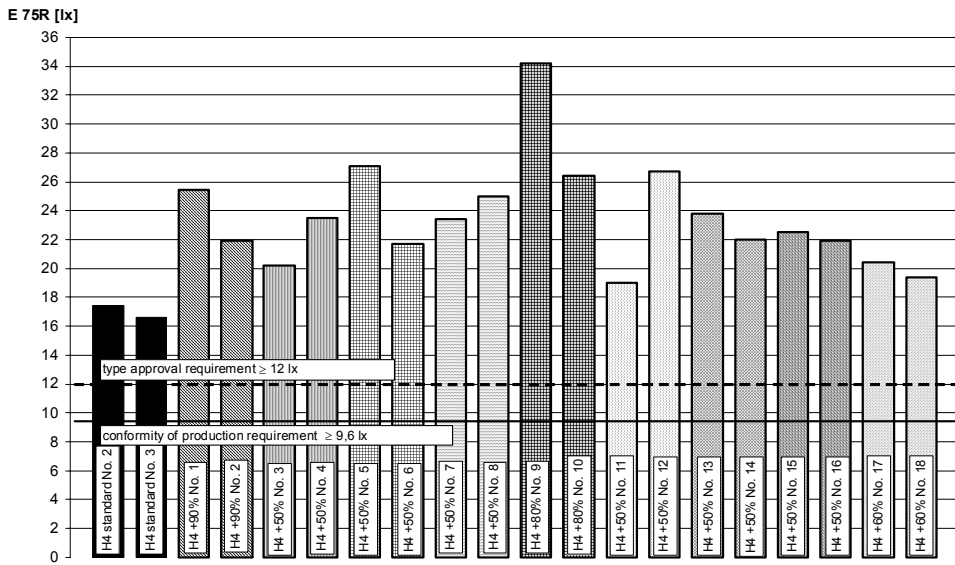


Fig. 8 Illuminance measurement results at point 75R of H4 headlamp with free form reflector and plain lens (Toyota Yaris).

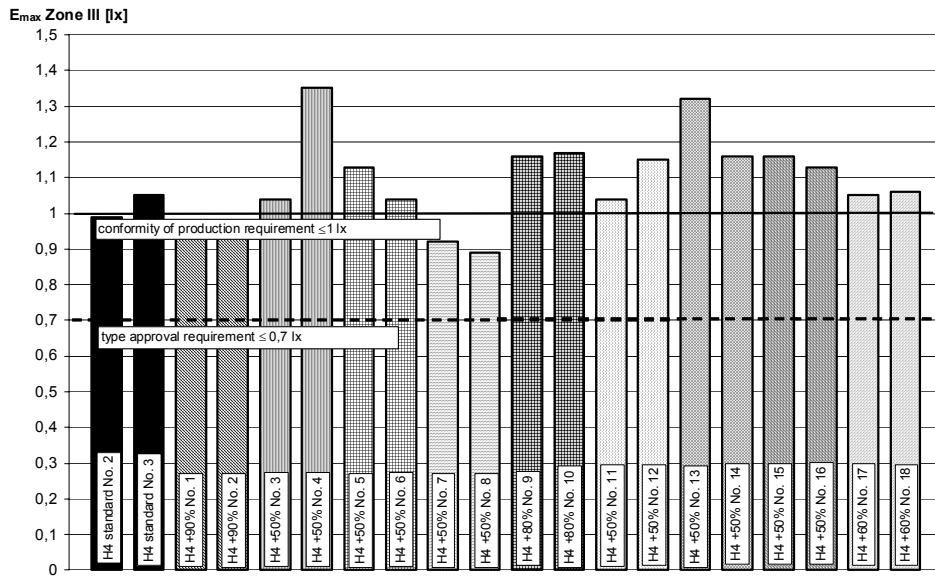


Fig. 9 Illuminance measurement results of maximum value in Zone III for the H4 headlamp with free form reflector and plain lens (Toyota Yaris).

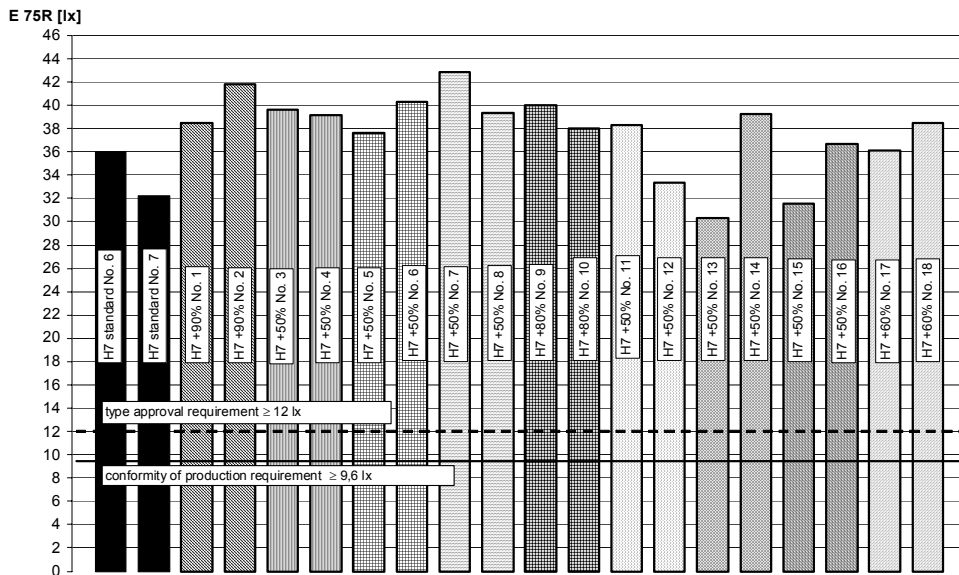


Fig. 10 Illuminance measurement results at point 75R for the H7 headlamp with free form reflector and plain lens (VW Jetta).

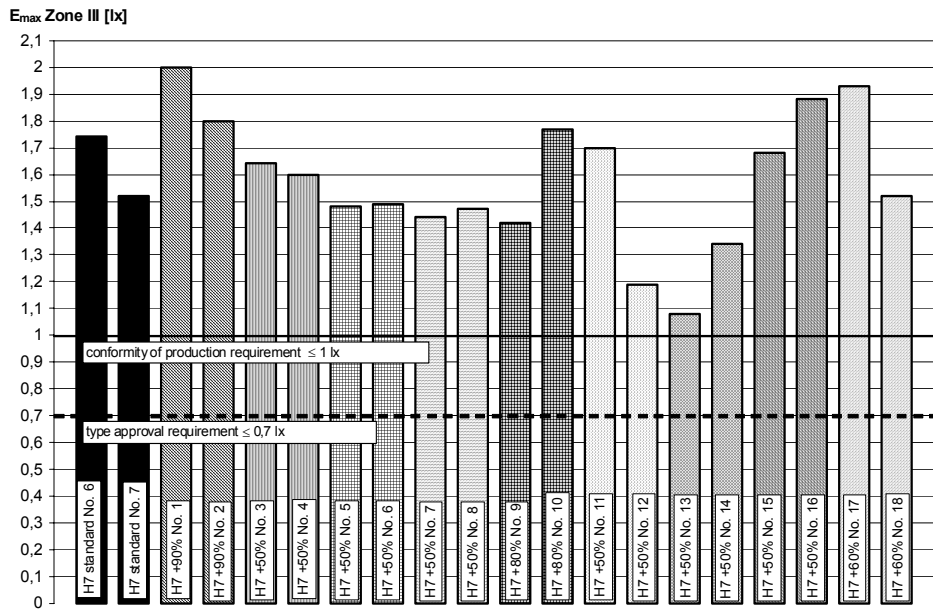


Fig. 11 Illuminance measurement results of maximum value in Zone III for the H7 headlamp with free form reflector and plain lens (VW Jetta).

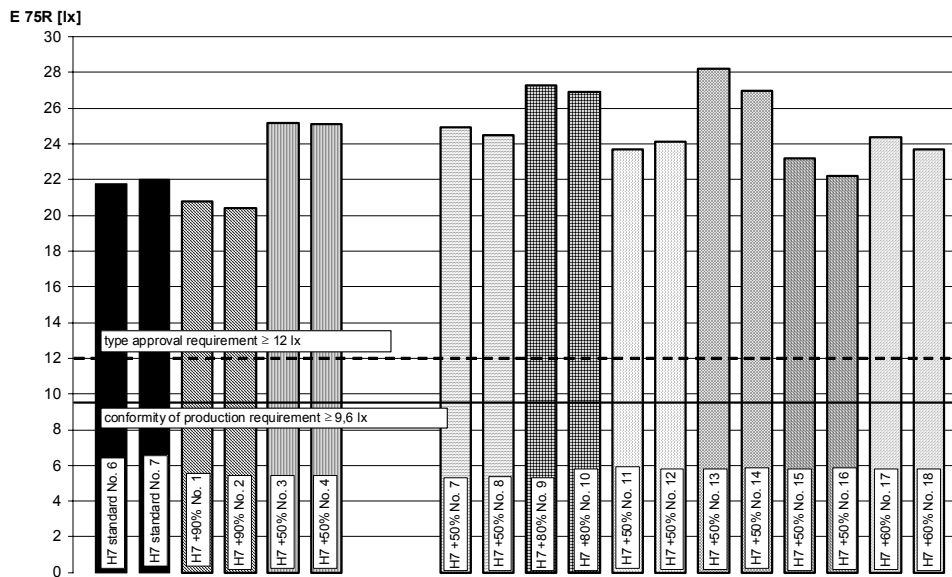


Fig. 12 Illuminance measurement results at point 75R for the H7 headlamp with elliptical lens reflector with plain lens (Mazda 3).

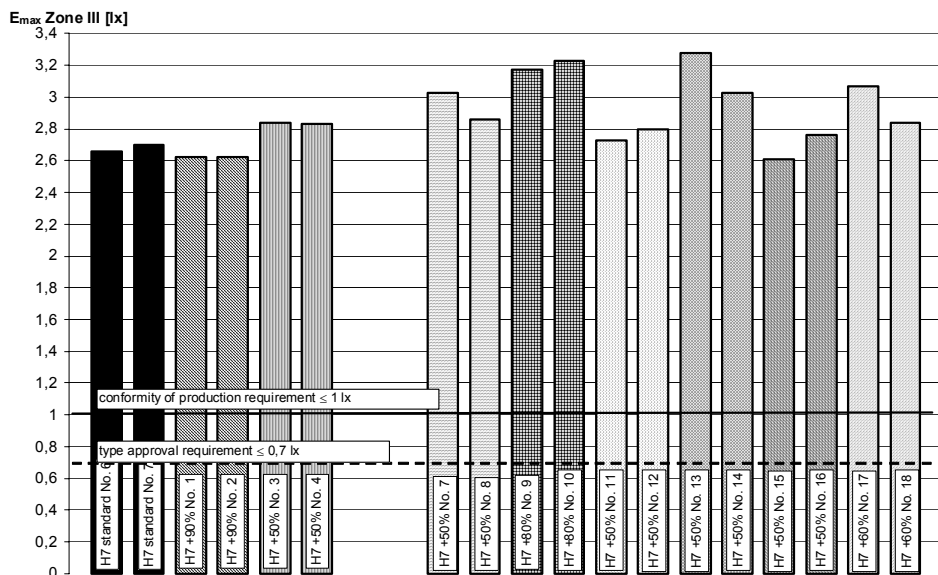


Fig. 13 Illuminance measurement results of maximum value in Zone III for the H7 headlamp with elliptical lens reflector with plain lens (Mazda 3).

Summary

Current approval requirements give specific range of acceptable values of power consumption, luminous flux and filament geometry. That's why obtaining "more light on the road" by modification of these parameters can be made only in small specific range. Probably, in current constructions the method of increasing brightness in the central part of the filament was used. This resulted in the filament being closer to point light source, which gives less diffused light distribution. Intended effect was achieved at the expense of durability which was reduced by half in comparison with typical construction, because of higher temperature in central part of filament which causes faster blowing. Certain role, in the road illumination improvement, plays using additional blue filters in some filament lamps changing colour of light to more similar to daylight. Accustoming the human eye to observing surroundings in daylight condition results in the that the same illuminance value as for the "yellow" light is subjectively experienced as a brighter value.

Crucial to achieving „more light on the road” is not only the filament lamp but also suitable headlamp adjusting and its suitable construction. It is probable that having precise measuring equipment at one's disposal it is possible to adjust headlamp to achieve illuminance values on the road declared by producers, but in service practice such devices are not used.

LITERATURE

- [1] UN ECE Regulation No. 37 „Uniform provisions concerning the approval of filament lamps for use in approved lamp units on power driven vehicles and of their trailers”
- [2] UN ECE Regulation No. 112 „Uniform provisions concerning the approval of motor vehicle headlamps emitting an asymmetrical passing beam or a driving beam or both and equipped with filament lamps

Authors:

Ph.D. eng. Piotr Kaźmierczak, Motor Transport Institute, Vehicle Approval and Testing Department, Jagiellońska 80 St., 03-301 Warszawa, e-mail: piotr.kazmierczak@its.waw.pl

Ph.D. eng. Małgorzata Kalisz, Motor Transport Institute, Center of Material Testing, Jagiellońska 80 St., 03-301 Warszawa, e-mail: malgorzata.kalisz@its.waw.pl

HOLIGILM-based simulations for a bended light guide

Abstract. Hollow light guides became very attractive in last decades, due to a globally recognized need for alternative light sources with low energy requirements. Light guides transport the daylight from exterior to an interior space thus making the visual conditions in more acceptable. Recent numerical tools based on flux methods enable to evaluate performance of the light guides, but these tools are inaccurate in determining the light conditions below non-lambertian diffusers. In addition, the flux methods are inapplicable for modelling the directional characteristics of light beams propagating through transparent or semi-transparent optical interfaces (usually supplying the traditional diffusers). To overcome these problems, the analytical HOLIGILM solution was originally developed for straight light pipes and now it is applied to bended pipes. The solution accepts the skylight patterns (including the sun) and after complex transformations in the bended light pipe it provides an angular distribution of light at the bottom interface of the pipe. The demonstrative results of numerical calculations based on HOLIGILM solution are presented and discussed.

Keywords: bended light-guide, indoor illuminance, analytical solution, numerical modelling

Introduction

A global trend in energy management is to eliminate energy waste and support solutions utilizing the alternative sources of energy. In this view, an illumination of interior spaces using electric light is not only expensive, but it is also unhealthy for human activities if carried out during a whole day. In contrast to artificial light, the natural light is well tolerated by humans [1]. Therefore the systems for delivery the daylight to the interiors became quite attractive in last decades [2]. One of modern concepts is a system of light guides which enable to overcome the barrier between exterior and interior. A hollow light pipe collects the natural light, guides the beams through the pipe from its top to its bottom, and distributes the light to a room depending on the physical characteristics of the optical interface (which is

Unfortunately, the accuracy of these methods increases slowly with number of simulated rays [6]. It implies heavy requirements on computer time.

We have developed the analytical solution HOLIGILM [7], which is neither a typical ray-tracing approach, nor a flux method. In principle, it provides a system of analytical formulae which represent complex mapping between sky luminance distribution observed at the entrance to the light pipe and a luminance to be hypothetically detected at the upper surface of the optical interface. The transformation functions comprise the multiple reflections, attenuation by system elements (cupola, light-tube surface, and diffuser) and scattering at the optical interface. Thanks to the existence of analytical expressions, a computational time is minimized and obtained results are accurate (i.e. the results are exactly reproducible). Any differences in calculation results are thus related to the chosen grid-size [8].

Light transmission through a light pipe

Any light beam propagating through a hollow light pipe undergoes multiple reflections (Fig. 1), thus changing its direction and intensity. The reflection satisfies basic laws of geometrical optics [9], which dictate the beams reflected by a circularly shaped tube can be either focused or defocused depending on geometrical relations. As a consequence, the projections of individual bunches of beams are displayed on a diffuser in form of hotspots [10]. The illuminance levels in such hotspots may therefore exceed those for incident light [11]. Note that directions of individual beams which cross the optical interface in a hotspot may differ significantly.

A complex structure of the hotspots can be partially smeared if optically dense diffuser is embedded at the bottom of the light pipe. Such a diffuser removes the directional characteristics of the light beams. Optically

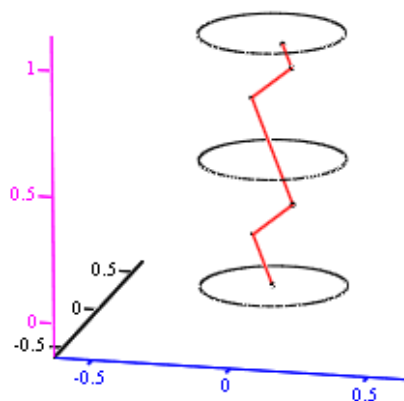


Fig. 1: Trajectory and multiple reflections of a light beam propagating through tubular hollow light pipe.

mounted at ceiling of the room). If a lambertian diffuser [3] is installed at the ceiling, the traditional flux methods [4] can be successfully applied to evaluate the illuminance below the diffuser. The performance of a light pipe calculated this way is, however, quite approximate. The flux methods are faulty for semi-transparent optical elements whose scattering patterns differ from those known for lambertian diffusers. Therefore, the detail integration methods must be applied to determine the directional characteristics of light below a non-lambertian optical interface. Many of known algorithms are based on ray-tracing approach [5].

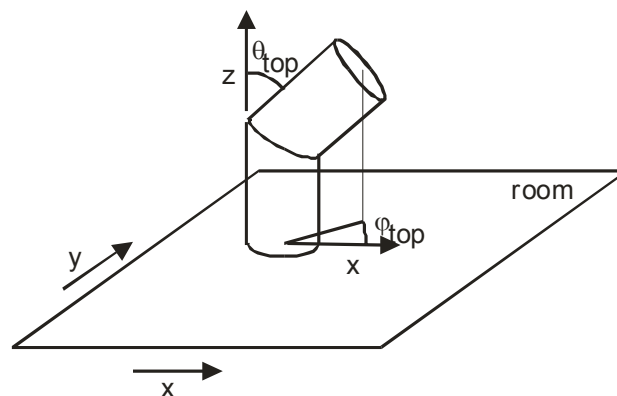


Fig.2: Basic geometrical concept of a bended light pipe.

dense lambertian diffusers are suitable under some circumstances, e.g. if a homogenized illumination is required on the working plane situated below the light pipe. Nevertheless, a lambertian diffuser shows quite large attenuation [12], thus being inconvenient in many practical realizations. If, however, the homogeneity of illumination is not a primary intention, the semi-transparent or transparent optical interfaces are preferred in building interiors to replace the traditional diffusers.

Integrating over all beam directions and accepting the reflection, attenuation, and scattering phenomena, an illuminance at the working plane can be calculated for any type of light pipe. The theoretical solution was published as the HOLIGILM model [7] and applied to hollow tubular light pipes. It is evident that vertically oriented straight pipes need to be replaced by bended pipes for sloping roofs. To make the HOLIGILM tool applicable for bended pipes too,

the analytical solution was significantly extended [13].

In this modified solution any elbow separating the two straight parts of a light guide is characterized by zenith and azimuth angles as shown in Fig. 2. A bottom interface of a light pipe is typically embedded into ceiling of a room. Size of the room, position of the light pipe, length, internal reflectance, orientation, number of elbows and any other physical parameters of the light pipe can be chosen freely.

Exemplar numerical simulations

The numerical simulations are done for a rectangular room with 4m long x-axis and 6m long y-axis. Four orientations of the room are considered. Specifically, the x-axis of the room is directed toward the (a) north, (b) east, (c) south, and (d) west. The light tube is firmly bonded to the roof at the x-axis side, so the corresponding orientations of the tube entrance are (a) east, (b) south, (c) west and (d)

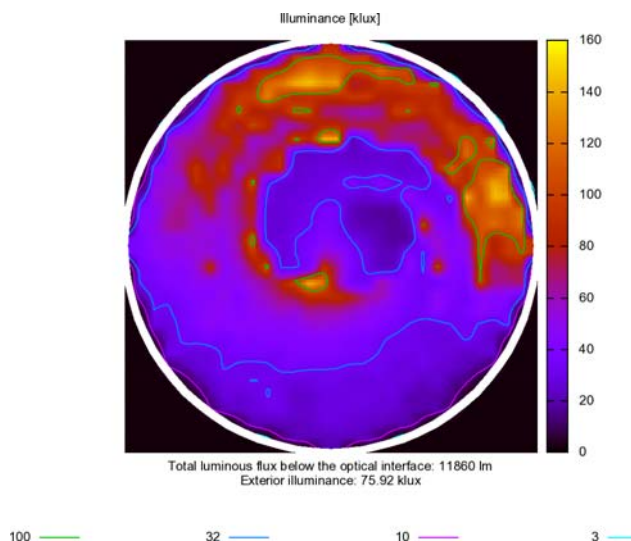
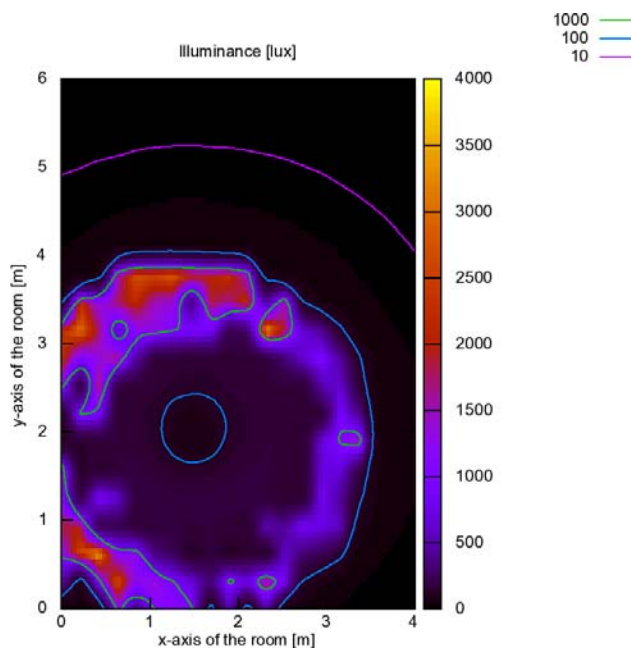


Fig.3a: The illuminance distribution on a working plane (top pane) and the corresponding illuminance pattern at the top side of transparent glazing (bottom pane). The glazing is embedded at the ceiling of a room with x-axis oriented toward the north. The light tube is directed toward the east.

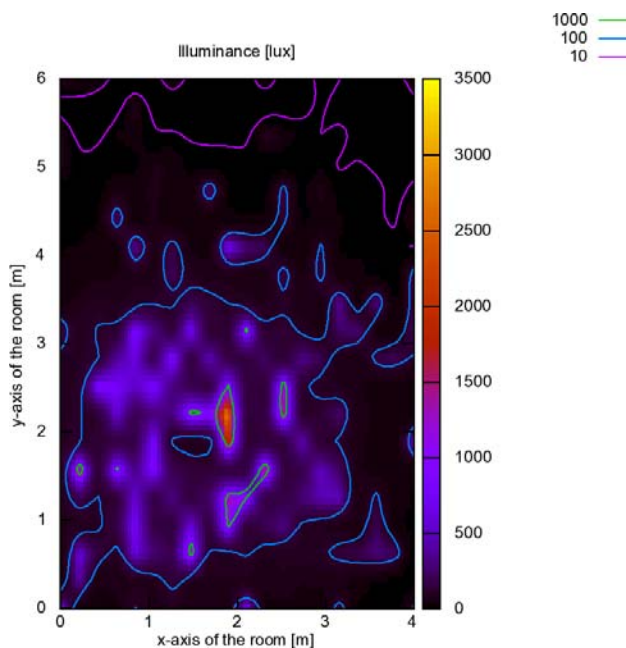


Fig.3b: The illuminance distribution on a working plane (top pane) and the corresponding illuminance pattern at the top side of transparent glazing (bottom pane). The glazing is embedded at the ceiling of a room with x-axis oriented toward the east. The light tube is directed toward the south.

north, respectively. All numerical runs take into account the clear sky conditions according ISO 15469:2004 [14,15] with sun elevation 48° and sun azimuth 100° . Such coordinates of the sun disk can be observed at latitude 40° (north hemisphere) on July 1st.

A bottom interface of the vertically oriented light pipe with radius 0.26m has the centre at $x=1.5\text{m}$ and $y=2\text{m}$ (both measured in room coordinate system). A working plane is 2m below the ceiling where a transparent glazing with transmittance 0.92 is mounted. Internal reflectance of the light pipe and the transmittance of the cupola are 0.934 and 0.92, respectively. Upper part of the bended light pipe is 1.5m long, while the bottom (vertically oriented) part of the light pipe is 2m long.

The illuminance distributions on both, the working plane as well as the optical interface, are calculated for all four orientations of the room (i.e. cases a-d discussed above) and presented in Figs. (3a)-(3d). As expected, the largest

illuminance levels are obtained in case (a) when the upper part of the light tube is directed to the east, thus being deflected from the sun-disk by only 7° . A small angular distance between directions of tube axis and solar disk is also a reason for partially circular symmetry of illuminance pattern observed at the working plane (Fig. 3a). The illuminance levels presented in the figures are limited by the value of 150 kilolux, to guarantee that only basic structures with high information content will be visualized.

The illuminance distributions for other orientations of the room are documented in Figs. (3b)-(3c). The angular distances between direction along the tube axis and toward the sun are 50° , 82° , and 60° for the cases (b),(c), and (d), respectively. The general trend is: the larger angular distance, the smaller luminous flux below the optical interface. The situation is more complex when quantifying the illuminance distribution at a working plane situated

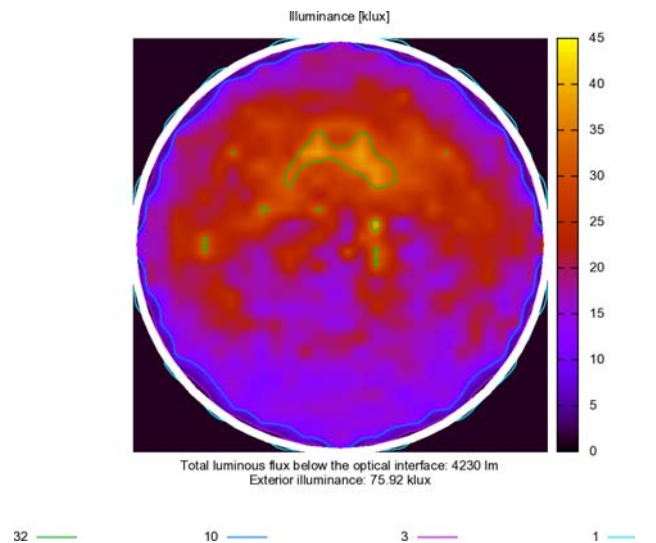
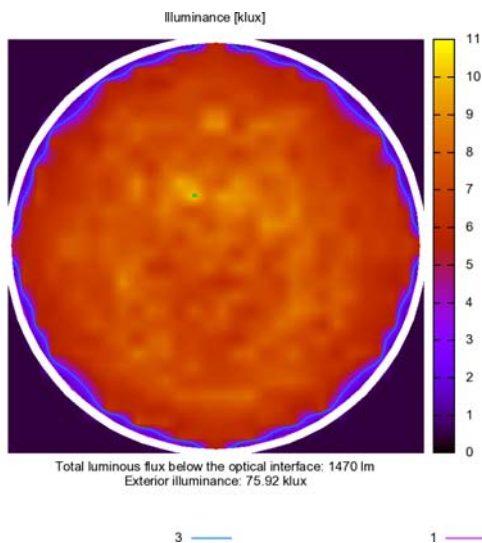
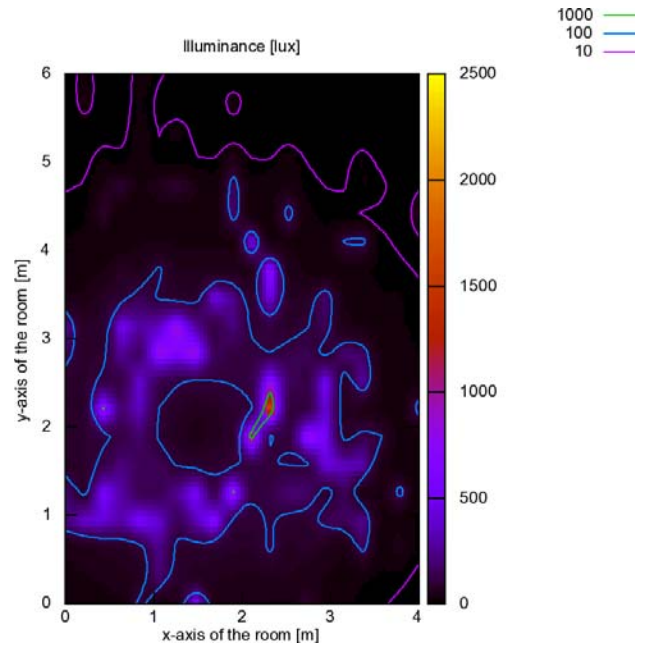
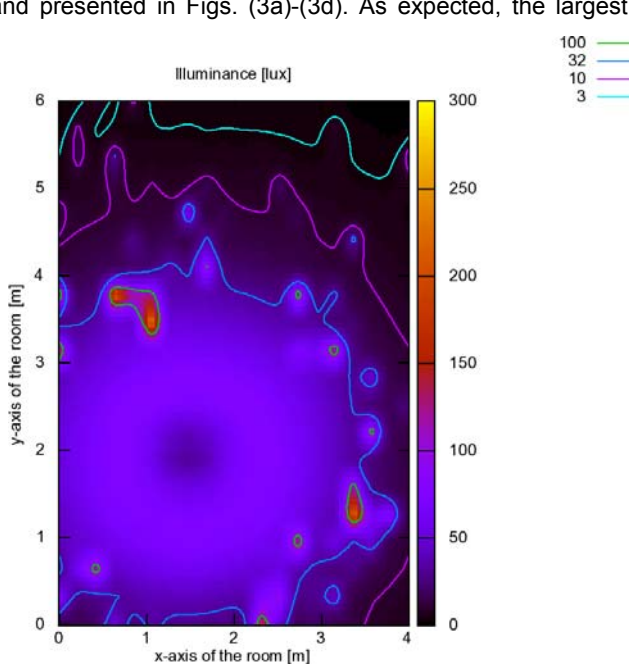


Fig.3c: The illuminance distribution on a working plane (top pane) and the corresponding illuminance pattern at the top side of transparent glazing (bottom pane). The glazing is embedded at the ceiling of a room with x-axis oriented toward the south. The light tube is directed toward the west.

Fig.3d: The illuminance distribution on a working plane (top pane) and the corresponding illuminance pattern at the top side of transparent glazing (bottom pane). The glazing is embedded at the ceiling of a room with x-axis oriented toward the west. The light tube is directed toward the north.

below transparent glazing. No simple formula can be found for determining the illumination patterns under such conditions. This is a reason why the numerical solutions have to be preferred in modern engineering practice. HOLIGILM is one of rapid tools for modeling the light transmission through arbitrarily sized and shaped light guides with multiple elbows. The computational time is minimized thanks to the analytical formulae and heavily optimized algorithm. Number of tubes per one room is configurable, however optimally limited to 10 (taking into account the real needs).

Concluding remarks

Hollow light pipes may serve as alternative light sources in modern buildings to improve visual conditions during a daytime. It is well known that a natural light is tolerated more than any electrical light, implying the light-tubes are frequently applied in environments designed for human work activities. It is therefore obvious that modelling the performance and illumination abilities of arbitrary hollow light pipes became important in last decades. At present the high-speed and sufficiently accurate numerical solutions are still scarcely available. The ray-tracing-based algorithms can provide accurate results, however on the expense of computational time. The traditional flux methods are characterized by low CPU requirements, but they are inaccurate especially when non-lambertian optical interfaces are embedded at the bottom of the light tube. The HOLIGILM solution overcomes the disadvantages of both methods, i.e. it is exact and no CPU intensive. Original HOLIGILM is now extended and applicable to various types of bended light guides (<http://www.holigilm.info>).

Acknowledgments. Author is grateful for the support of project APVV-0264-07.

REFERENCES

- [1] Paroncini M., Calcagni B., Corvaro F., Monitoring of a light pipe system. *Solar Energy* 81 (2007), 1180-1186.
- [2] Al-Marwaee M., Carter D., Tubular guidance systems for daylight: Achieved and predicted installation performances. *Applied Energy* 83 (2006), 774-886.
- [3] Zhang X., Muneer T., A design guide for performance assessment of solar light pipes. *Lighting Research and Technology* 34 (2005), 149-169.
- [4] Jenkins D., Muneer T., Light pipe prediction methods. *Applied Energy* 79 (2004), 77-86.
- [5] Dutton S., Shao L., Raytracing simulation for predicting light pipe transmittance. *International Journal of Low Carbon Technologies* 2 (2007), 339-358.
- [6] Mohelníková J., Vajkay F., Daylight simulations and tubular light guides. *International Journal of Sustainable Energy* 27 (2008), 155-163.
- [7] Kocifaj M., Darula S., Kittler R., HOLIGILM: Hollow Light Guide Interior Illumination Method – an analytic calculation approach for cylindrical light-tubes. *Solar Energy* 82 (2008), 247-259.
- [8] Darula S., Kunderacik F., Kocifaj M., Kittler R., Tubular Light Guides: Estimation of Indoor Illuminance Levels. *Leukos* 6 (2010), 241-252.
- [9] Born M., Wolf E., Principles of Optics: Electromagnetic Theory of Propagation, Interference and Diffraction of Light (7th edition). Cambridge: Cambridge University Press (1999).
- [10] Swift P. D., Smith G. B., Franklin J., Hotspots in cylindrical mirror light pipes: description and removal. *Lighting Research and Technology* 38 (2006), 19-31.
- [11] Kocifaj M., Analytical solution for daylight transmission via hollow light pipes with a transparent glazing. *Solar Energy* 83, (2009), 186-192.

[12] Jenkins D., Zhang X., Muneer T., Formulation of semi-empirical models for predicting the illuminance of the light pipes. *Energy Conversion and Management* 46 (2005), 2288-2300.

[13] Kocifaj M., Kunderacik F., Darula S., Kittler R. Theoretical solution for light transmission of a bended hollow light guide. *Solar Energy* (accepted for publication in 2010).

[14] Kittler R., Darula S., Perez R., A set of standard skies, characterizing daylight conditions for computer and energy conscious design. American-Slovak grant project US-SK 92 052 (1998).

[15] ISO, International Standard Organisation: Standard General Sky. ISO Standard 15469, (2004).

Author: Dr. Miroslav Kocifaj, Institute of Construction and Architecture, Slovak Academy of Sciences, Dúbravská street 9, 845 03 Bratislava, Slovakia, e-mail: kocifaj@savba.sk.

Monitoring and Modelling Obtrusive Light in Nature Parks

Abstract. The first 'International Dark-sky Park' in Europe was established at the Zselic Landscape Protection Area in Hungary. The nomination of the park was a result of cooperation among the Hungarian Astronomical Association, the Lighting Society of Hungary, and Duna-Drava National Park Directorate. A special monitoring program has been carrying on to survey the quality of the night sky using 'Sky Quality Meters' and DSLR cameras. The main conclusion of our measurements is that the local villages have only a minimal effect on the quality of the sky. There are light-domes due to the neighboring cities only close to the horizon, the main source of obtrusive light is the city of Kaposvár. The anthropogenic component of zenith luminance of the night sky is obtained as the function of the distance from the city center of Kaposvár. Our data were modeled by radiation transfer calculations. These results can help to draw attention to the energy emitted useless to the space and to protect our nocturnal landscape of nature parks for the next generations.

x
x

Keywords: Obtrusive light, Light pollution, Sky quality

Introduction

The International Dark-Sky Association announced the designation of two additional Dark Sky Parks on November 15, 2009: Galloway Forest Park in Scotland, UK and the Zselic Landscape Protection Area in Hungary, simultaneously became the first European International Dark Sky Park. Recognition as an International Dark Sky Park requires intense long term planning, retrofitting and preservation efforts to fulfil the application prerequisites.

The Zselic region, which is located in the South-West part of Hungary, is one of the best locations for dark skies in the county. The area of the protected park is more than 9000 hectares, and its major part is woodland. The Zselic Landscape Protection Area has excellent night sky quality, on clear nights the artificial component of the night sky brightness does not exceed the natural luminance of the sky. The Milky Way, the zodiacal light and other faint phenomena are clearly visible



Fig.1. The Milky Way above the Zselic hills

By the designation of the Starry Sky Park, a new Lighting Plan is in ordinance in the Zselic Landscape Protection Area. These regulations help in the long time reservation of the sky quality of the region.

Artificial lighting, when poorly designed, does not lit only the desired area and a large amount of light out of this area is usually wasted. This has energetic consequences hence the wasted luminous flux has to be paid by the community, and the production of the wasted energy has again negative effects on our environment. On the other hand the wasted luminous flux makes its effect somewhere else, e.g. it can cause serious changes in the natural environment and ecosystem and increases the luminance of the night sky. To determine this effect on a nature park, night sky luminance measurements and radiation transfer calculations should be performed. In this paper we show the methods of our measurements, and the interpretation of our data.

The US National Park Service started first monitoring of the night sky at natural protected areas like national parks in 2001 [1]. These data are also used for the protection of the nocturnal visual resource. This system also allows comprehensive characterization of sky conditions at astronomical observatories. Luginbuhl et al. [2] used the same type of observations to test the predictions of light pollution models.

Observational methods

There are plenty of methods to estimate the quality of the night sky. Most of them are visual estimates of the limiting magnitude (the faintest star which can be visible by naked eyes) or the number of stars observable in a fixed region of the sky. These methods work well to describe the expected view of the night sky; however, they depend on subjective factors, like the eye-sight of the observer. To map and monitor the light pollution of the park and its neighbourhood, it was necessary to find methods to measure the quality of the sky in a reproducible way with calibrated instruments. The natural quantity that describes the 'darkness' of the nocturnal environment is the luminance of the sky.

It is expected that the luminance of the sky varies on a distance scale of a few kilometres, so it was necessary to perform a field survey to map the distribution of sky brightness thorough the park area and in its neighbourhood. The geographic co-ordinates of the measurements were registered with a precision of at least 100 meters. At normal conditions there are no detectable changes of zenith luminance on this distance scale. We used a GPS device or a detailed topographic map of the region to get the

geographic co-ordinates. The locations were recorded in Universal Transverse Mercator (UTM) co-ordinates. The UTM co-ordinates can be practical when one uses topographic map with this scale, and it also provides the distances between measurement locations and the exact directions of polluting light sources easily. When needed, UTM data are converted to standard longitude-latitude data.

Luminance measurements

We selected a portable photometer with high enough sensitivity to measure the subtle light of the rural night sky. A simple device, the Sky Quality Meter (SQM) by Unihedron was designed for this purpose, and it is used widely for light pollution monitoring. SQM is a handheld device; it collects the light from a relatively large solid angle (1.5 steradian, approximately a cone with a 42 degrees half angle). The device displays the average luminance of this solid angle in astronomical units: magnitude per square arcsecond ($\text{mag}/\text{arcsec}^2$). This scale is logarithmic, $-5 \text{ mag}/\text{arcsec}^2$ difference is equal to 100 times increase in luminance, and $16 \text{ mag}/\text{arcsec}^2$ is approximately equivalent to $0.05 \text{ cd}/\text{m}^2$. SQM is temperature calibrated and gives the luminance with the precision of $0.1 \text{ mag}/\text{arcsec}^2$, which is equivalent to 10 percent in linear luminance (cd/m^2) units. Laboratory tests of this instrument were presented by Cinzano [3].

We have been monitoring the sky quality using SQM since January 27, 2007. All of our measurements were taken with the device pointing to the zenith. The necessary conditions to perform a field survey were the followings:

- Moonless night.
- No clouds or fog.
- The Sun is at least 18 degrees below the horizon (astronomical twilight).
- No direct light from artificial sources reaches the detector of the device.

Measurements by All Sky Imaging

Recent Digital Single Lens Reflex (DSLR) cameras provide a new opportunity to monitor the quality of the night sky and light pollution. Cameras that are able to save images in an unaltered raw format, can be calibrated to get measurements of the luminance of the sky in a physical scale. Then the photo of the night sky can be converted to false colour images, which represents the distribution of sky luminance. Our experiments show that commercial DSLR cameras can easily reach 10 percent precision (e.g. $0.1 \text{ mag}/\text{arcsec}^2$), when calibrated thoroughly.

Our standard settings for light pollution monitoring in dark locations are the followings:

- Canon EOS 350D camera (some parallel tests with EOS 50D, 450D, 300D)
- Sigma 4.5mm f2.8 EX DC circular fisheye lens
- ISO 800 setting
- T=180 s exposure time
- f= 2.8-3.5 aperture

We developed our own software (dclum) to process raw images and to calibrate the camera. The camera and the lens were calibrated in co-operation with the University of Pannonia at Veszprém and the Technical College of Budapest. The system was first calibrated in a photometry lab and then with a high performance imaging luminance meter under real sky conditions. To get as precise calibration as possible, we used different types of standard measurements and then compared the results: The laboratory measurements were used also to fit the effect of vignetting of the lens. The calibration was performed in standard photopic luminance scale (unit of cd/m^2). Then the measurements can be transformed to $\text{mag}/\text{arcsec}^2$ units

with a good approximation. An example of the resulting luminance map is displayed on Figure 2.

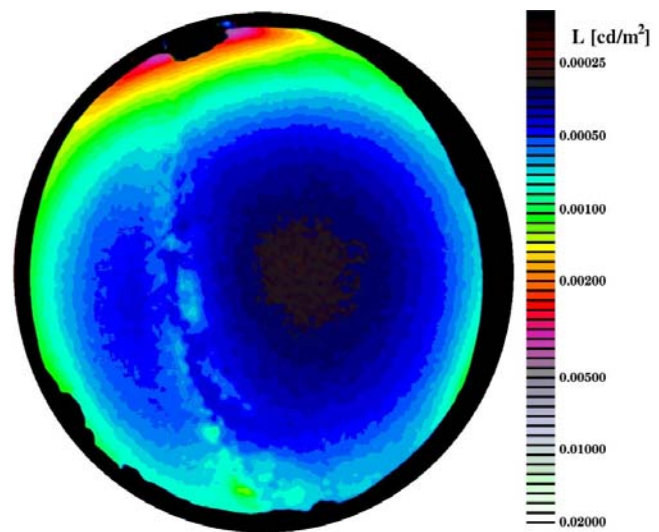


Fig. 2. Luminance distribution of the clear night sky at a typical location inside the Zselic Landscape Protection Area. The brighter part at the top of the image, close to the horizon indicates the direction of the city of Kaposvár.

We have cross correlated the DSLR measurements integrated with the sensitivity curve of SQM with parallel SQM measurements. The results are satisfactory as they agree within $0.1 \text{ mag}/\text{arcsec}^2$ (10%). We also checked the linearity of the CCD by multiple exposures and different light levels. It is concluded that the raw images of a digital camera can be used for our purposes since the calibration errors do not exceed the precision needed for light pollution monitoring.

The precision of our treatment is clearly demonstrated with a simple experiment: The light-dome of Budapest was photographed from a vantage point at a distance of 80 km from the Capital (Piszkéstető Mountain Station, Konkoly Observatory). A 5% decrease of the city's light dome is clearly measurable during the switch off of the ornamental lights in Budapest.

Models

To interpret the sky brightness measurements and to provide models of the light pollution in the park we have developed a Monte-Carlo radiation transfer code. In clear air (no clouds and no fog), the propagation of light is determined by Rayleigh scattering for molecules and Mie scattering for aerosols. Absorption is negligible in the visible range of electromagnetic radiation in the case of clear sky conditions. The mean free path of photons in terrestrial atmosphere is several kilometres, depending on the aerosol content and elevation. It gives a natural choice to use Monte-Carlo simulation of the light propagation – the observed photometric quantities are statistical averages of photon packets. For detailed description of Monte-Carlo radiation transfer calculations see e.g. [4].

To take into consideration the effect of different humidity and aerosol content, we calculated model sequences with different zenith extinction. A standard atmospheric model for clear air was used, and we fitted the aerosol content to get a fixed zenith extinction. In this way we obtained a one

parameter model sequence which well represents the behaviour of the atmosphere in clear (cloudless) nights.

Measurements

The main conclusion of our measurements is that the local settlements have only a minimal effect on the quality of the sky. The luminance is only slightly increased in the vicinity of small villages. The lights from the city of Kaposvár, North of the area mostly affect the sky background. Inside the Landscape Protection Area the quality of the night sky is better than 0.0005 cd/m^2 , typically around $0.00035\text{-}0.0004 \text{ cd/m}^2$. There is a clear increase in night sky luminance north of the park area, but acceptable conditions can be found for stargazing even at those locations. To display the quantitative results, we plotted the luminance of the night sky, as the function of the distance from the city centre of Kaposvár (Figure 2). For this plot we converted the SQM measurements to the standard luminance scale (cd/m^2). It provides a more natural way to subtract the background sky brightness (L_0), which represents the natural sky luminance and the overall sky brightness from distant artificial sources. SQM measurements are plotted for a night with snow coverage at the region of Kaposvár (red dots), and for selected nights with similar atmospheric quality and normal ground reflection (blue crosses).

We performed Monte Carlo atmospheric radiation transfer calculations to interpret our measurements. On the above figure we displayed the trends from these calculations with solid lines. The upper line represents twice as large luminance values as the lower curve does. Both curves are calculated for clear (low humidity and aerosol content).

With $L_0=0.00032 \text{ cd/m}^2$ the distribution of measurements can be well represented with the models. This value agrees with our darkest measurements ($21.5\text{-}21.6 \text{ mag/arcsec}^2$) in the region. There is a clear overall trend in sky luminance measurements, agreeing with the radiation transfer calculations. The deviations from this trend are due to the measurements being taken close to local polluting sources, to changes in weather conditions and to instrumental noise. The dotted horizontal lines indicate the $L=0.00025$ and 0.00075 cd/m^2 (equal to, and three times larger than the natural sky luminance). The vertical line shows the distance of the closest border of the LPA to the city. We can conclude that the quality of the sky inside the Zselic Landscape Protection Area is above the limits of silver tier, even at snowy conditions.

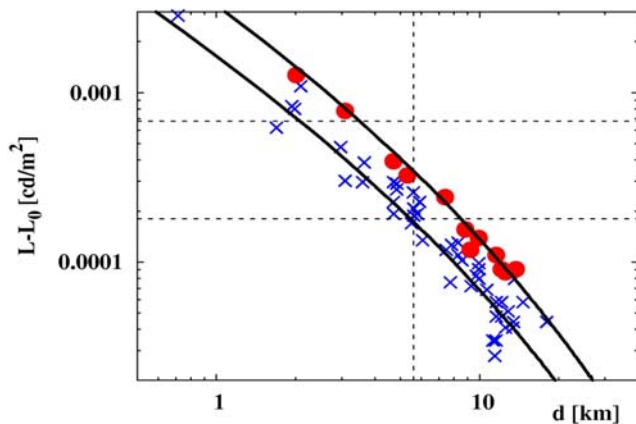


Fig. 2. Artificial sky brightness as a function of the distance from the city of Kaposvár. Blue crosses: normal ground conditions; red dots: snow coverage; lines: radiation transfer models.

There is another interesting conclusion one can draw from the above measurements. The increased reflexivity of the ground by snow coverage doubled the luminance of the sky. It suggests that a significant component of light pollution inside the Zselic Starry Sky Park originates from ground reflection. Taking into consideration that the ground reflection increased from the normal 0.1-0.2 values to the numbers related to the mixture of snow and wet road (0.6-0.8), the ratio of direct to reflected components of sky brightness can be estimated. These calculations show, that up to 50% of the sky glow due to Kaposvár could be eliminated, if only fully shielded fixtures were used in Kaposvár. The measurements together with the radiation transfer calculations can be used, to argue for a Lighting Master Plan in Kaposvár.

The luminance calibrated images are displayed on a false colour scale to display the luminance distribution on the sky. See Figure 2. for an example of such a measurement. The major obtrusive sources can be clearly identified when such images (after a mirroring) are displayed on a map of the region. It is also possible to get the spatial dependence of sky quality inside the Landscape protection area.

Based on all sky luminance distributions, it is easy to determine different single quantities, like a simulated SQM value (SQM_{sim}), or the total sky brightness above 20 degrees (TSB_{20} , see e.g. [1]). These quantities also demonstrate the excellent night time quality of the Zselic region.

The spatial distribution of the luminance of the sky is visualized with better clarity, if the circular fisheye map is transformed to the plane of azimuth and elevation. These images show that the light dome of Kaposvár is limited to elevations below 20 degrees.

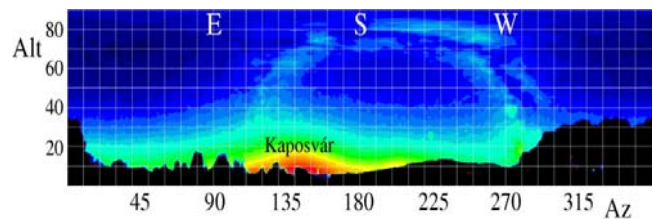


Fig.4. Panoramic image of the luminance distribution of the nocturnal sky. The fisheye image is converted to azimuth (Az) and altitude (Alt). The colour scale is the same as on Fig. 2.

Lighting Plan in the Zselic Starry Sky Park

The purpose of the Lighting Plan is to provide regulations and guidance for outdoor lighting in the Zselic Landscape Protection Area. Natural dark skies are considered as the most important values of the region, which should be protected. In principle, no outdoor lights can be used in the Landscape Protection Area that jeopardize the quality of the nocturnal environment and landscape.

General aims and rules

Except for the locations mentioned in the next section, no permanent outdoor lights may be used in the Landscape Protection Area. The only non-permanent (mobile or temporary) lights allowed in the Landscape Protection Area are the ones used in emergency situations, and the lights of vehicles used for the safety of traffic.

A general prescriptive rule is that the permanent artificial lights, used in the Landscape Protection Area, cannot result in any observable deterioration of the night sky and nocturnal landscape outside a circle with a radius of 500 meters around the light sources themselves. (For this

regulation, observable deterioration means the direct view of light sources, or the increase of sky luminance by 1%.)

Outdoor lights may be used in the Landscape Protection Area only for the purpose of the safety of the traffic, the walkways and parking lots. In special conditions light can also be used for construction works. No ornamental or advertising lights can be used, and no artificial light sources can be used for forestry works, hunting and fishing.

Lighting Zones

In the Lighting Plan two zones are defined:

- NDZ: Natural Dark Zone
- LALZ: Low Ambient Light Zone

The major part of the Zselic Landscape Protection Area is a natural dark zone with no artificial lights. This continuous region is designed as Natural Dark Zone (NDZ)

The only locations in the park where permanent outdoor lights are allowed are the followings:

Kardosfa (A)

Ropoly (B) - including the Hunting castle (B1), the residential Building (B2) and the cold store building (B3)

Residential buildings (C) at Zsippó and Gyóta (both are located in the periphery of Bárdudvarnok, with 3 realties altogether.) In general these locations mentioned as Low Ambient Light Zones (LALZ).

Lighting regulations

The following conditions should be satisfied by any outdoor lighting in the LALZs:

- Only fully shielded fixtures can be used, and they should be installed and serviced so that no light should be emitted above the horizontal plane.
- The maximum allowable light output (luminous flux) per fixture is 1800 lumens.
- If the total luminous flux of a premise or realty exceeds 10000 lumens, a detailed lighting permit plan should be prepared. Any construction should be started only after approval by Duna-Drava National Park Directorate as the competent nature conservation management organisation, and by International Dark-Sky Association Hungary Section.
- The illumination levels cannot exceed the minimum norms available for the given purposes.
- Outdoor lights can only be used when pedestrian or considerable vehicular traffic is expected. Motion sensors or time switches are preferred in locations with infrequent traffic.
- Use the most energy efficient lamp available (Sodium lamps or compact fluorescent lamps are preferred).

Conclusion

We have performed sky quality (night sky luminance) measurements in the Zselic Landscape Protection Area and in its vicinity. It is demonstrated that both the Sky Quality Meter and a DSLR camera are suitable for taking quick luminance measurements in remote locations. The pocket size, handheld device is especially useful for mapping light

pollution at multiple locations during a one-night long monitoring session. All sky cameras (e.g. DSLR cameras with circular fisheye lens) give additional information in sky quality. The main light pollution source in the park is the city of Kaposvár. Our sky background measurements show that the light pollution due to these light sources is reduced to acceptable level in the distance of 7 km from the city centre and these lights do not have any serious effect at the Zselic Starry Sky Park region. Local settlements have only very limited effect on night sky quality. Everywhere inside the landscape protection area the quality of the sky is better than the minimal requirements for the silver tier recommended by the International Dark Sky Association.

We fitted the sky luminance measurements as a function of distance from the centre of Kaposvár by the results of radiation transfer calculations of light pollution. With the models it is also possible to predict any degradation or improvement in sky quality related to changes in the artificial light sources in the neighbourhood. We plan to use these predictive models to negotiate with municipalities, stakeholders and designers of lighting systems in the region in order to avoid any increase of light pollution at the Starry Sky Park. We continue monitoring the sky quality to notice any changes that need corrective steps. We have started a project to establish a grid of fixed measuring stations in the Zselic region to provide automatic and continuous monitoring of the luminance of the night sky. With the fulfilments of the Lighting Plan and with its future extension to the neighbouring villages it is guaranteed that the view of the Milky Way can be conserved for further generations.

Acknowledgments The establishment of the Zselic Starry Sky Park was made by the help of The Duna-Drava National Park Directorate, the Lighting Society of Hungary and the Zselica Alliance.

REFERENCES

- [1] Duriscoe D. M., Luginbuhl C. B., Moore C. A., Measuring Night-Sky Brightness with a Wide-Field CCD Camera, *Publication of the Astronomical Society of the Pacific* (2007) Vol. 119, 192-213
- [2] Luginbuhl C. B., Duriscoe D. M., Moore C. W., Richman A., Lockwood G. W., Davis D. R., From the Ground Up II: Sky Glow and Near-Ground Artificial Light Propagation in Flagstaff, Arizona, *Publication of the Astronomical Society of the Pacific* (2009) Vol. 121, 204-212
- [3] Cinzano P., Night Sky Photometry with Sky Quality Meter, *ISTIL Internal Report* (2007) Vol. 9.
- [4] Spada F., Krol M. C., Stammes P., McSCIA: application of the Equivalence Theorem in a Monte Carlo radiative transfer model for spherical shell atmospheres, *Atmospheric Chemistry and Physics* (2006) Vol. 6., 4823-4842

Author: *prof. dr Zoltán Kolláth, Konkoly Observatory of the Hungarian Academy of Sciences, Konkoly Thege u 15-17, H-1121 Budapest, Hungary, E-mail: kollath@konkoly.hu*

Research of power LEDs for mobile communication

Abstract. The passengers' safety, the decrease of mortality on European roads, the increase of individual transport and reducing of CO₂ emission are important concepts, which coming to the fore in automotive industry at the present time. The only solution of the aspects mentioned above is establishment of informative-communicative (cooperative) systems. The International Organizations (Car2Car Communications Consortium, GeoNET) had built the core of problems solution of informative-communicative systems construction on wireless communication in range of radio frequency (802.11p WAVE, CALM M5). Thanks to the significant advance in the quality of vehicles lighting, in the form of implementation of LED technologies, and development of adaptive lighting systems, shows the car communication systems based on optical free space networks that are next developmental milestone in the construction of informative-communicative (cooperative) systems V2V2I (Vehicle-to-Vehicle-to-Infrastructure).

Key words: Power LEDs, V2V2I, optical free space networks, optical communication channel.

Introduction

For the past 30 years the automotive industry became "the engine" of many European countries. The research of new technologies for cars grows every year. An availability of car purchase brought an increase of traffic on roads, along with increased number of accidents caused by man. The accidents on the roads and motorways in the European Union's claimed the life of 39 thousand people in the year 2008 [1]. The annual losses in the consequences of traffic accidents are around 160 billion of Euros, which is equivalent of 2% of EU GDP. Based on this alarming news, the EU decided to support research and implement measures to reduce the number of traffic accidents involving fatalities on half in 2010, compared to the situation of 2001 [2]. The result of this research is the implementation of informative-communicative systems on the principle of information exchange among vehicles (road users) and also between vehicle and infrastructure along the road. These systems are in shortcut called V2V2I (Vehicle-to-Vehicle-to-Infrastructure). The International Organizations (Car2Car Communications Consortium, GeoNET) had built the core of problems solution of informative-communicative systems construction on wireless communication in range of radio frequency (802.11p WAVE, CALM M5). The present development in LED technology and adaptive lighting systems shows advantages of using alternative communication systems based on optical free space networks.

Intelligent Cooperative Systems V2V2I

The intelligent cooperative systems are based on the communication link vehicle-vehicle (V2V), vehicle-infrastructure (V2I) and traffic control centre-infrastructure (DRC2I). These systems show promise to change the current situation and meet the EU requirements to reduce the road accidents. The intelligent cooperative systems increase the time horizon, quality and reliability of information provided to the driver about his surroundings, other vehicles and other road users. Moreover, these systems allow a better management conditions leading to greater safety and more efficient and comfortable mobility. According to the international organization Car2Car Communications Consortia, the services V2V2I can be divided into three basic groups [3]:

- services related to the safety,
- services associated with optimal using of traffic infrastructure,
- services related to additional applications.

The general scheme is shown on fig. 1 [11].

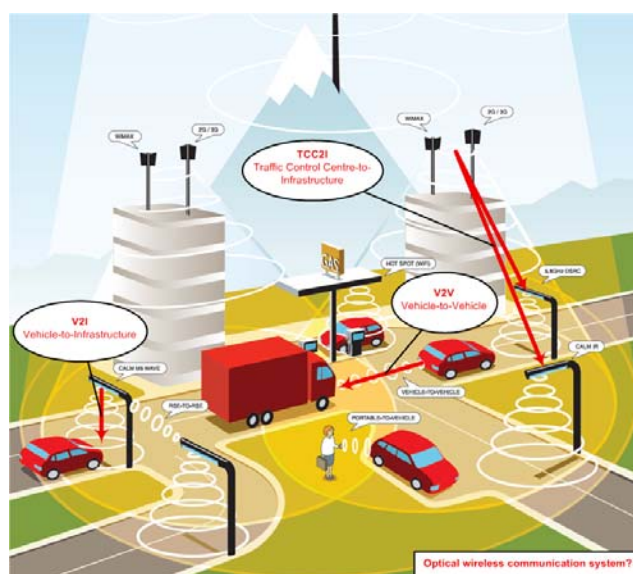


Fig. 1: Intelligent cooperative systems V2V2I

Intelligent cooperative systems V2V2I allocated by the European telecommunications standardization institute (ETSI) on the frequency band 5.9 GHz (the frequency region from 5.875 to 5.925 GHz). This zone was derived from today available communication system IEEE 802.11. This derived technology is called IEEE 802.11p (WAVE) and is referenced in the related documents such as WLAN or CALM M5. The subject of standards CALM is to provide standardized set of protocols of wireless interface and parameters for long and medium range, high-speed connections ITS using one or more media, with harnesses and network protocols and upper layer protocols. Other defined ICT technologies except of IEEE 802.11p are [4]:

- cellular systems: GSM / HSCSD / GPRS (2/2.5G) and UMTS (3G),
- Wireless Systems in 60 GHz band,
- Communication in the infrared optical spectrum,
- Wireless LAN (WLAN) at 5 GHz.

Implementation of LEDs in the automotive industry

The optical communication systems in the visible and infrared spectrum are an alternative to technologies based on radio waves. The massive implementation of LEDs in automotive industry speaks for using of these systems. LEDs consume only a third of energy in providing the same level of light as traditional light sources. An energy saving

plays a big role for their application. Based on assessing the U.S. Department of Energy in 2003 the energy saving with application of LED was up to 49% against to the traditional lighting of automobiles [5]. LEDs occur not only in luxury cars in the present time. LEDs are used in the various forms of tail lights, but some car factories came with their application to the front lights as well. The implementation of LEDs products in the Japanese and European automobile factories is around 40% of global resources, the massive application could be expected around the year 2011. In this year, the European Commission (EC) decided to enact mandatory DRL (Daytime Running Lights - fig. 2) light on new cars in all EU countries [6].



Fig. 2: DRL – Daytime Running Lights

This type of day lights should immediately emit light at the start of engine. Thanks to the rapid development of LEDs we can assumed that the traditional bulbs disappear completely from new cars during 10 years. The advantage of LEDs against to traditional light bulbs is obvious. For LEDs to achieve maximum performance are 3 ms enough, compared with traditional light bulbs the value is of 200 ms. It is obvious advantage for stop lights where this time mean saving of 5 m of stopping distance at the speed of 40 km/h . The possibility of using LEDs to transmit information without the burden on surrounding electromagnetic smog and the risk of interference is another advantage.

Optical free space networks using power LEDs

The exchange of relevant information between vehicles (V2V) is major step in the field of road traffic safety. An example might be when the vehicle A is transmitting to vehicle B moving behind vehicle A information such as the abrupt reduction of speed, speed, road conditions, information from the system ESP and steering angle (see fig. 3). This information can alert the driver of the vehicle B by acoustic signals, light signals or in other steps the information may be processed by independent information management functions. These temporarily created optical free space networks could significantly eliminate the reaction time of man, which is around 1 s [6]. The estimated bit rate for the transmission of all important information is around the value of 400 kbps [7]. The measurements showed that the power LEDs have bandwidth high enough to support data transmission in the range of MBps.

Unlike radio communication technologies such as IEEE 802.12p, which are able to communicate from 500 m up to 800 m depending on the obstacles, the microcellular optical networks always require a direct ray between transmitter and receiver side. The worst conditions for these systems are also very sunny days, resulting in a high value of ambient light. This value is independent on the distance between vehicles. The value of the light flux with the square

of the distance reduces at optical communications and received optical power fluctuates 5 decades up to 100 m for the use of a photodiode at the receiver with a spectral filter (FWHM = 50 nm). Receivers therefore require a wide dynamic range, high sensitivity and effective suppression of ambient light.

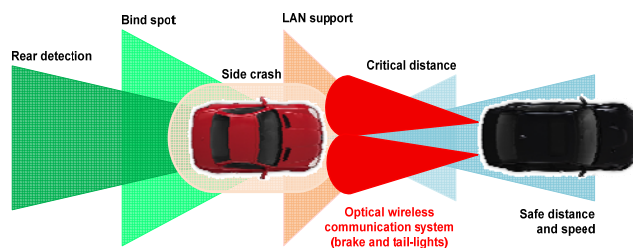


Fig. 3: Communication V2V

The problems of communication in optical free space networks

The ensuring of sufficient optical power at the receiving side is very important for creation a fast and reliable transmission connection (optical channel). Network connection can be therefore characterized by the performance of optical communication and BER factor. The information transmitted in the optical channel requires some form of modulation to be encoded in a physical parameter. Parameters are mostly intensity, frequency and polarization of the emitted light. Power LEDs can be described as almost perfect Lambert's sources; therefore the intensity modulation is the only possible modulation. LEDs transmitting in the visible spectrum are mostly produced for lighting and their rate of change of status is relatively low. In the case of optical free space networks injected into intelligent cooperative system V2V2I this would be an optical system using direct detection of intensity changes and the subsequent transfer to an electrical current. Effect of ambient light noise is described by specifying the ambient noise power P_{amb} :

$$(1) \quad P_{amb} = N_{amb} \cdot B_W ,$$

where: P_{amb} – ambient noise power, N_{amb} – surrounding radiation, B_W – bandwidth photodiode.

The electrical current with direct component is formed by influence of ambient noise I_{DC} :

$$(2) \quad I_{DC} = R \cdot P_{amb} ,$$

where: R – sensitivity of photodiode, B_W – photodiode bandwidth.

Photodiodes also produce dark current in units of nA that can be neglected for these applications. Transimpedance involvement used in receivers of optical signal for converting of the generated current on the voltage, shows sensitivity by relation (3) [8]:

$$(3) \quad V_{PP} = R \cdot P_{tot} ,$$

where: V_{PP} – generated voltage (peak-peak), P_{tot} – total power of optical signal and ambient noise.

The involvement of optical free space communication channel for the experimental measurement is shown in fig. 4.

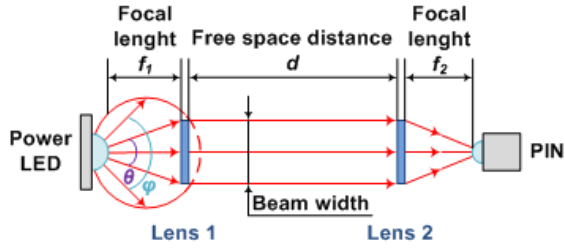


Fig. 4: Optical free space communication channel

As shown in fig. 4 power LED and PIN are placed in the focal of lens. Optical beam in fig. 4 (Beam width) is a non-divergent, which corresponds to experimental measurements in the laboratory. The optical beam with exact divergence is required in a practical application of the automotive industry (see fig. 5). The final product could integrate the lens together with the LED / PIN. In the PIN the received optical power P is expressed as [9]:

$$(4) \quad P = P_t \cdot \frac{(m+1)}{2\pi d^2} \cos^m(\phi) \cdot T_S(\psi) \cdot \cos(\psi),$$

$$0 \leq \psi \leq \Psi_C$$

where: P_t – optical power of power LED, ϕ – angle of optical beam focused by lens, d – distance between receiver and transmitter block, $T_S(\psi)$ – transmit filter, $g(\psi)$ – gain concentrated beam, Ψ_C – field of concentrated beam.

The half-angle m corresponding to Lambert's radiation source means for the power of the radiation source [9]:

$$(5) \quad m = \frac{-\ln 2}{\ln(\Psi_{1/2})},$$

where: $m = 1$ pro $\Psi_{1/2} = 60^\circ$.

For arrangement shown on fig. 4 we suppose equality of angles $\phi = \psi$. In this case concentrator of the beam is the lens, which improves received power at the PIN. In the next step of experiment the lens on the side of power LED was removed - see fig. 5. The reason was an approximation to the real situation in the implementation of the optical free space system into vehicle (eg V2V).

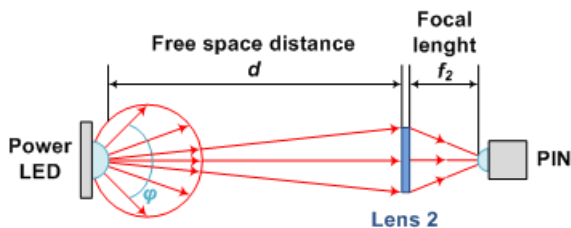


Fig. 5: Optical free space communication channel without lens 1

Optical output power measured at power LED and PIN and the corresponding effective coupling is then calculated

as a percentage of power values, see in tab. 1, and parameter V_{PP} indicates the amplitude of voltage on the power LED on a square wave. The resulting sensitivity is determined by the equation (3). Module Thorlabs DET10A with a rise time of 1 ns and working at the wavelength range 200-1100 nm was used at the receiving side in actual measurements. The oscilloscope LeCroy WaveRunner 204MXI was used for processing signals from the photodetector. Positional changes on the receiving side for the basic configuration according to fig. 4 (fig. 5) are shown in fig. 6 (fig. 7)

Table 1. Optical power depending on frequency of modulation

Freq [kHz]	100	500	1000
V_{PP} [mV]	653	540	421
P_{LED} [mW]	4550	4279	4030
P_{PIN} [mW]	1138	984	809
Efficiency [%]	25	23	20
R [V/W]	0,57	0,55	0,52

Power LED is not primarily intended for communication, but for the lighting purposes. This corresponds to the bandwidth in the range of units of Mbps that can provide (the maximum frequency used in the experiment was 1000 kHz).

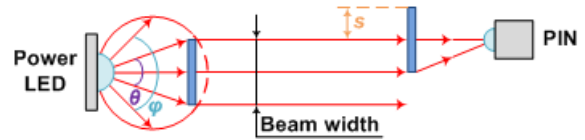


Fig. 6: Repositioning of the receiving part by the parameter s according to fig. 4

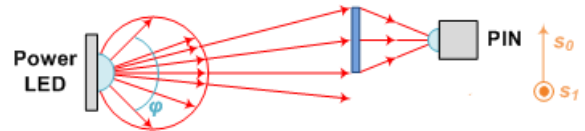


Fig. 7: Repositioning of the receiving part by the parameter s according to fig. 5

In the case of situation of experimental measurements, depicted on the Fig. 6, was only a positional change in relation to the width of the beam - a parameter s . The distance between the receiving and transmitting side (parameter d) was 2 m. The results of the measurements for different offsets s are shown in fig. 8.

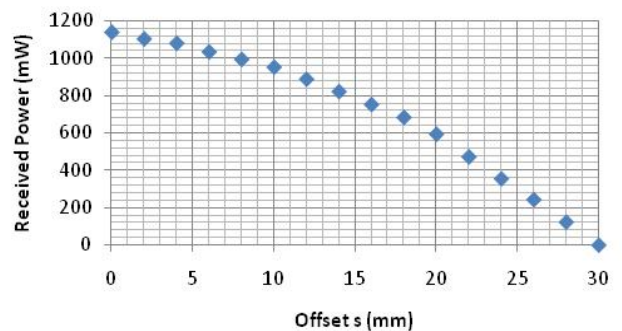


Fig. 8: The results of the measurements for different offsets s

The experimental measurements shown in Fig. 7, in which the situation is closest to the real deployment of optical free space networks into the automotive industry, were implemented positional change in all directions of the horizontal position (reduction of the parameter and the displacement of the transceivers-receiver axis). The result of measurements was again carried out for different offsets s_0 , and it is shown in fig. 9.

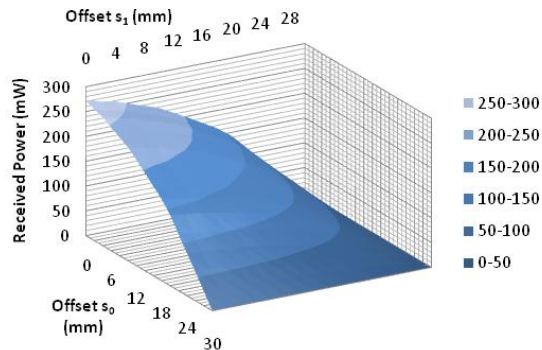


Fig. 9: The results of the measurements for different offsets s_0 and s_1

From the results, presented on fig.8 and fig. 9, is evident that it is possible to consider the application of power LEDs in the intelligent and cooperative systems to the automotive industry. General advantage of LEDs is shorter time to achieve maximum performance, unlike traditional bulbs, and longer life time. The results showed that the power LEDs meet the requirements on the bit rate of the estimated value of around 400 kbps. In the case that the higher speed was required, it would be necessary to proceed to other solutions, for example replacement power LEDs by panel of super-shine SLEDs, which can handle higher bit rates [7]. The advantage of power LEDs is their potential using in the cars adaptive lighting systems.

Conclusion

Optical free space communications are an alternative to radio technology on the field of information exchange V2V. According to the organization GeoNet, C2C-CC and CVIS that dealing with technology application of 802.11p in the automotive industry in V2V and V2I, it is obvious that the radio system itself leads to congestion and interference of free channels at high density traffic. Solution is in the form of performance-controllable adaptive algorithm D-FPAV [10], but it seems to be preferable optical free space networks for unicast communication. Therefore V2V2I system should be hybrid. Dominant technology ensuring communications V2V and V2I should be technology IEEE 802.11p, but in situations of long string of cars, traffic jams or two near behind moving vehicles the primary information would have to be the data from short-time optical free space network between vehicles. For creating a meaningful system it is obvious that the transfer and evaluation of information received through the optical free space system should be in a very short term. As a solution are increasingly promoting the fiber-optic systems in cars under the system MOST (Media Oriented System Transport) or IDB-1394 standard, AML-C, which already fully use the advantage of the optical fiber (concretely the plastic optical fibers - POF).

Acknowledgement

This paper and research has been supported by the Czech Science Foundation GA 102/09/0550, GA 102/09/1986 and BI454 9951, SP/2010185, Cesnet no.337/2009.

REFERENCES

- [1] European Transport Safety Council. *Reducing Road Safety Risk Driving for Work and To Work in the EU* [online]. Brussels, March 2010 [cit. 2010-3-15]. Available from WWW: <<http://www.evskp.cz/SD/4c.pdf>>.
- [2] European Road Transport Research Advisory Council. *Research Framework* [online]. Brussels, May 2006 [cit. 2010-3-15]. Available from WWW: <<http://www.ertrac.org/?m=7>>.
- [3] Car 2 Car Communication Consortium. *CAR 2 CAR Communication Consortium Manifesto* [online]. Braunschweig, November 2007 [cit. 2010-3-15]. Available from WWW: <http://www.car-2-car.org/fileadmin/downloads/C2C-CC_manifesto_v1.1.pdf>.
- [4] Centrum technické normalizace. *ISO/TC 204 Inteligentní dopravní systémy* [online]. Leden 2006 [cit. 2010-3-15]. Available from WWW: <www.silmos.cz/file.php?id=232>.
- [5] PUŽMANOVÁ, Rita. *Bíle LED – světlo budoucnosti. Světlo*. 2007, no. 5. s. 50-52. ISSN: ISSN 1212-0812.
- [6] SCHAAL, Torsten; KIBLER, Thomas; ZEEB, Eberhard. *Optical Communication System for Automobiles* [online]. Ulm-DaimlerChrysler AG, May 2004 [cit. 2010-3-15]. Available from WWW: <http://www.pofto.com/downloads/040528_ecoc.pdf>.
- [7] SCHAAL, Torsten; ZEEB, Eberhard. *Optical Free Space Communication with LED Rear Lights*. 5th International Symposium Progress in Automobile Lighting, Proc. PAL2003, pp.942-954, Darmstadt, 2003.
- [8] MYNBAEV, Djafar K.; SCHEINER, Lowell L. *Fiber-Optic Communications Technology*. National Instruments, 2001, 750 s. ISBN: 0-13-962069-9.
- [9] SMITH, D. R.; GREETT, I. *A simplified approach to digital optical receiver design*. Springer Netherlands, 2005. 221 s. Optical and Quantum Electronics. Volume 10, Number 3 / May, 1978. ISBN: 0306-8919.
- [10] KOVACS, Andreas. *Resource Sharing Principles for Vehicular Communications* [online]. Wien EFKON, September 2008 [cit. 2010-3-15]. Available from WWW: <http://www.geonet-project.eu/?download=Resource_sharing_principles_for_vehicular_communications.pdf>.
- [11] CVIS – Communication Architecture for Land Mobile. *Q-Free CVIS COMM-CALM Brochure* [online]. Brussels, June 2007 [cit. 2010-3-15]. Available from WWW: <http://www.cvisproject.org/download/qfree_CommCalmCvis_alborgebrochure.pdf>.

Authors: Ing. Petr Koudelka, VŠB-TU Ostrava, Faculty of Electrical Engineering and Computer Science, Department of Telecommunications. 17. listopadu 15, 708 33 Ostrava-Poruba. E-mail: petr.koudelka@vsb.cz.

Ing. Jan Látal, VŠB-TU Ostrava, Faculty of Electrical Engineering and Computer Science, Department of Telecommunications. 17. listopadu 15, 708 33 Ostrava-Poruba. E-mail: jan.latal@vsb.cz.

prof. RNDr. Vladimír Vašínek, CSc. VŠB-TU Ostrava, Faculty of Electrical Engineering and Computer Science, Department of Telecommunications. 17. listopadu 15, 708 33 Ostrava-Poruba. E-mail: vladimir.vasinel@vsb.cz

Ing. František Dostál, VŠB-TU Ostrava, Faculty of Electrical Engineering and Computer Science, Department of Electrical Power Engineering. 17. listopadu 15, 708 33 Ostrava-Poruba. E-mail: frantisek.dostal@vsb.cz

prof. Ing. Karel Sokanský, CSc. VŠB-TU Ostrava, Faculty of Electrical Engineering and Computer Science, Department of Electrical Power Engineering. 17. listopadu 15, 708 33 Ostrava-Poruba. E-mail: karel.sokansky@vsb.cz

The collection and recycling system of Lighting Equipment in Hungary

Abstract. The following paper gives an overview of Electro-Coord Hungary collective lamp waste management. The paper describes the cooperation and cooperation partners of Electro-Coord: The Electrical Network Service Companies, the lamp waste collection and recycling and the long term targets.

x
x

Keywords: rd or phrases.

Introduction

The collective lamp recycling management comprises of two lighting equipment categories:

5. Luminaires (Fixtures/ Fittings)
- 5.a Gas discharge lamps

Incandescent, halogen lamps, luminaries for household use are exempted.

The principles of the lamp waste management in Hungary:

1. This is a collective, voluntary waste collection and recycling system. The founding fathers are: GE, Osram and Philips. After foundation 103 lighting equipment producers/ importers have joined the system.
2. The producers include 55 HUF/ unit +VAT Visible Fee in their lamp sales price as they go to market. Electro-Coord charges 55 HUF/ unit + VAT towards the producers, so it is guaranteed that the producers do not make profit on the waste management.
3. The visible waste management fee covers both current and future waste management cost, so the producers do not accrue provisions for their future waste management obligations.
4. The collection opportunities are as follows:

Distribution:

Practically all retailers from DIY through supermarkets, hypermarkets, discount stores, C&C, furniture, electrical retail, electrical wholesale are taking back and collecting discarded lamps and tubes.

Waste collection yards:

All municipality and private collection yards take back lamp and tube waste.

Electric and electronic waste collection or hazardous waste days:

In these campaign days also used lamps and tubes can be passed on to collection system.

Electro-Coord has contracted 33 hazardous waste collection enterprises to collect from the distribution and from the industry and other companies. They 54 branch offices to ensure collection.

Lamp waste is consolidated in Győr (West Hungary) and prepared for recycling.

5. Electro-Coord ensure unified and specific collection receptacles to facilitate lamp waste collection. The main collection receptacles are shown below:



6. There are regular waste removal shipments from the waste producers and from the collection points. The plastic collection bags are exchanged and collection receptacles are also cleaned regularly.
7. The waste is removed in 2-5 days from any point of the country. The collection points are scheduled according to logistic plan. The logistic plan is based on 13 different standard routes which are slightly modified according to actual needs. The software captures arriving and departure times, loading time, kilometres etc.

Logisztikai rendszer

Főoldal | Eseti kiszállítások | Célpartnerek | Mozgások | Útvonalak | Edények | Flotta | Stat.

Üdvözöljük az adminisztrációs felületen!

Előző nap | 2009-10-26 | Következő nap

Ez egy rögzített útvonal! Ide kattintva áttekinthet a nap végi ellenőrzéséhez. Szállítólevél nyomtatása

KYL-483 | **FIB-993** | FKT-247 | KMY-029 | LMG-579

No.	E	Cégnév	Cím	→ érkezés	→ indulás	→ km
1		Pátv - központ				0
		POZSÁR ÉS TSA. KFT (eseti)	1112 BUDAPEST MENYECSE U. 15	08:24	08:44	+22
2		GETRONICS HUNGARY LTD (eseti)	1115 BUDAPEST TÉTÉNYI ÚT 15-17	08:50	09:10	+3
3		II. RÁKÓCZI FERENC SZKI (eseti)	1075 BUDAPEST WESSELENYI U. 38	09:25	09:45	+6

Útvonal megjelenítése a térképen | Illusztráció útvonal megjelenítése a térképen | Tervezés részletei

Főútvonal: 13
Tervezés időpontja: 2009-10-25 10:41:25
Rögzítés időpontja: 2009-10-25 11:17:31

8. The collection and recycling system has non-stop customer service with an “easy” number, which is 222-2229. All interested parties can receive information on any elements of the system inc. collection receptacles queries to waste removal requests.



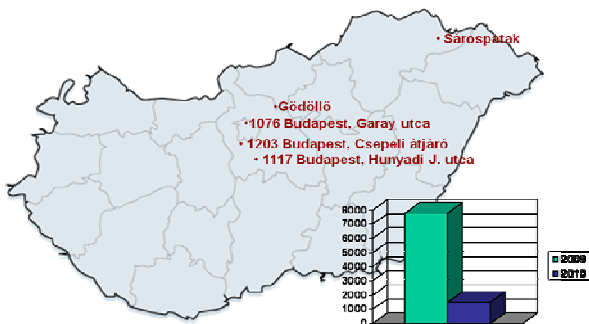
9. Electro-Coord ensures environmentally sound solutions inc. marketing and information giving activity to all users: Information tables can be found on the shelves of the distribution, POS materials, PR & Marketing leaflets, supports information flow to public.



10. Electro-Coord has an online intranet based system to follow up the waste recycling process from the birth of the waste through the recycled fractions of the waste going out as secondary material for use. The route of the waste is fully documented and captured in this online data exchange system. The system serves a basis for waste management as they have all take back treatment, shipment, inventory, invoicing and statistical aspects.

Cooperation partners of Electro-Coord in street and public lighting form three groups:

ELMŰ/ÉMÁSZ (map)



E.ON/EH-SZER

EDF-DÉMÁSZ

The Public Electrical Supply Utilities ensure approx. 5 % of total lamp waste of the country.

Standard collection receptacles in public lighting are standard European ELC containers.



Recycling of linear tubes

97% recovery rate is achieved

Recycling of compact fluorescent lamps
80% recovery rate achieved

Recycling of HID lamps
60% recovery rate achieved

Long term targets of the Hungarian lamp waste management systems

- 65% collection rate to be achieved by 2016
- Improve the culture of the waste collection
- Awareness increase, consciousness of selective waste management

Author

Béla Kovács Ph.D Economics,
Electro-Coord Hungary Nonprofit Co.Ltd., Head of
Lighting Division
1027 Budapest,
Horvát str. 14-24.
Hungary
Phone: +36-1-224-7730
Fax: +36-1-224-7739
E-mail: b.kovacs@electro-coord.hu
Internet: www.electro-coord.hu

Aspects of measurement and transfer of refraction of light through light guide diffuser

Abstract.

In modeling the transition of light through the hollow light guides and all their components, it is necessary to replace the corresponding rays of the sun with rays from artificial light sources. If we consider the distance of the Sun from the Earth and its dimensions, the rays hitting the Earth can be considered as collimated - parallel. Transfer the beam through a diffuser depends on the angle of the beam on the sample surface, the structure of the sample material and its thickness. Clear glass has the property that the impact of the beam perpendicular to the surface passes through the material unchanged. The impact of the beam at an angle arises in the glass refraction, while the output of the beam material is parallel to the incident beam. The sense of this contribution will examine the transition of light rays through the diffuser and setting conditions for measurements of light transmission.

Keywords: diffuser, directional light transmission, tubular guide.

Vertical tubular guide

Hollow Tube lightguides are devices through which sunlight can be transported to areas where there are no sun [2], [3]. These spaces are for example. toilets, bathrooms, corridors, wash room, but also of the office or home office, where we lit by artificial light sources during the day. The health and hygiene, hollow lightguides represent an improvement in visual comfort of people in buildings.

Lightguides belong to the passive light system, which means that they allow the transfer of solar radiation into the building without additional technical equipment. The function of the hollow light guide is the use of multiple reflections from highly reflective inner surface of supplying natural light to interior parts of buildings.

Lightguides commonly used for straight, flat roof - a direct beam lightguide (Fig. 1a), but no problem they can be used for angled roofs - light guide with bent (Fig. 1b). In this case, the losses are increasing.

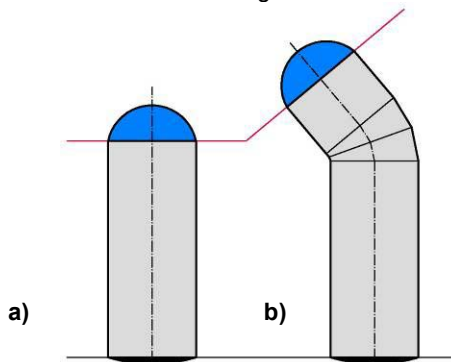


Fig.1. Tubular light guide
a) straight lightguide, b) light with bent

One of the main components of light guide is a dome (Fig. 2) which functions as a collection of light from the sky. Most are made from PMMA plastic or glass (light transmission factor – $\tau = 0,90 - 0,93$).



Fig.2. The dome

Another important component is the tube (Fig. 3), which transports light over longer distances. The basis is the principle of multiple reflections from the walls of ray tube. Therefore, a very important feature of tubes is their material with high internal surface reflectivity factor ρ - currently ranging up to $\rho = 99\%$.



Fig. 3. The tube

The third component is the diffuser (Fig. 4), which transports light scatter into the room. Most are made of glass or plastic PMMA, with clear, matte, or a patterned coating. Diffusers can dismiss 30 to 80% incident light depending on the type and color of material and their structures.



Fig.4. The diffuser

In recent years, studies have been held on how to analytically model the passage of light through the tube light guide [4] and taking into account the determination of parameters before the light guide and also parameters of individual components (dome, tube, diffuser). Transfer of daylight through clear glass [5] and Lambertian diffuse glass [6] is very different, so it is necessary to explore this further.

Characterisation of diffusers

Main characteristics of the diffuser is the "dispersion". It is a skill most dispersing incident light into the room. Most of the diffuser is mounted to the rough side room, where the diffusion ability of housing is much higher.

The diffuser should also comply with the interior design, so there are different shapes and color guards. The most common shape is round, and white or color versions. There are also solutions where the diffuser has a square shape or other shape needed.

The uniqueness of each type of diffuser is in the structure of the material. Most are made of patterned PMMA plastic, or clear or patterned glass. Diffusers can be passed 30 to 80% incident light depending on the type and color of material and their structures.

The method of measurement directional light transfer through diffuser

The surface of the diffuser is not homogeneous and thus the light passing through it is not uniform. It is therefore necessary to quantify the size and direction of light rays passing through diffuser. It is also necessary to establish conditions which can identify and characterize the scattering of light across the surface of the diffuser. A suitable method for detecting and comparing different samples scattering diffuser direction is to measure the passage of light diffuser detection curves of intensity at different angles the impact beam. It is a measure of intensity in those directions in space, but in this case it is unnecessary to consider the absolute values, because they are constantly changing during the day given the weather conditions. The result of comparing the characteristics of diffusers give us enough the shape of intensity curve (Fig. 6).

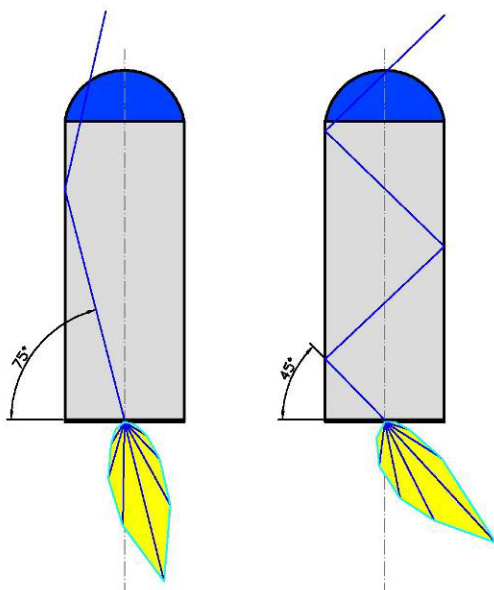


Fig.6. Directional transmission of light through the diffuser
The impact of the beam under 75 ° angle (left),
The impact of the beam under 45 ° angle (right)

The measurement was made on the mirror goniophotometer. The sensor was used the luminance meter. The diffuser was attached to the structure, rotating around the horizontal axis with a step of 10 ° (Fig. 7). This rotation can simulate the impact of the solar beam from tube to a diffuser under the exact angle. Values in different planes were adjusted to 10 °.

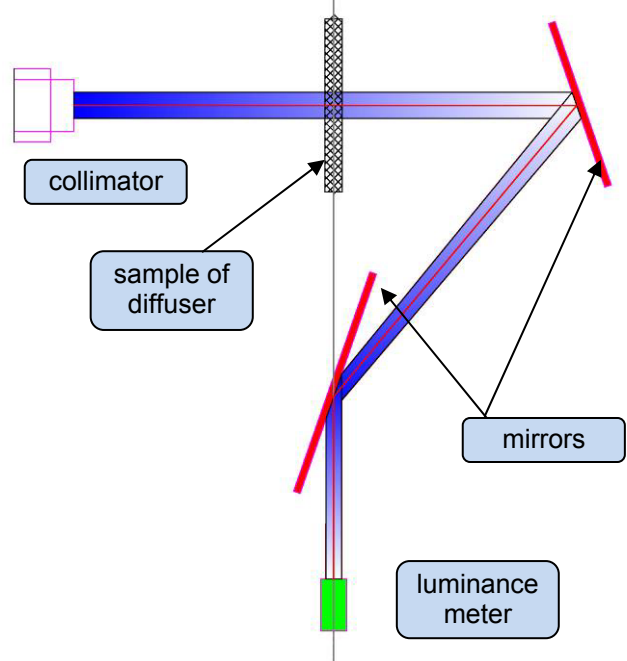


Fig.7. The measuring system with the spread of the beam

During the measurement, it is equally important to detect and monitor other optical properties of light guide systems. The basic methodology and procedures for measuring lighting parameters described [7].

Measurements were made on two different samples of glass covers. Both samples have one side smooth and the second patterned - the light went on smooth wall. A sample has a thicker inner structure, and sample B is softer. A comparison of the two diffusers can be assumed that A sample will scatter light more diffuse and the sample B will be less diffuse transmitted light.

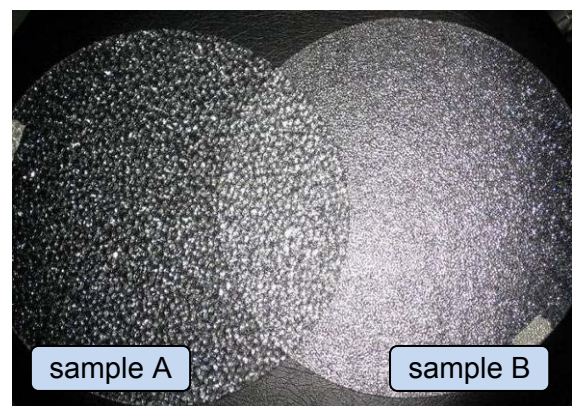


Fig.5. Samples (A - diffuser with a coarse structure, B - diffuser with a finer surface structure)

Turn the diffuser around a horizontal axis exactly emulated a situation where sunlight reflections in the tube hitting the wall diffuser at different angles. For structural reasons, the range of measurement was 0° - 70° (Fig. 8) (Fig. 9).

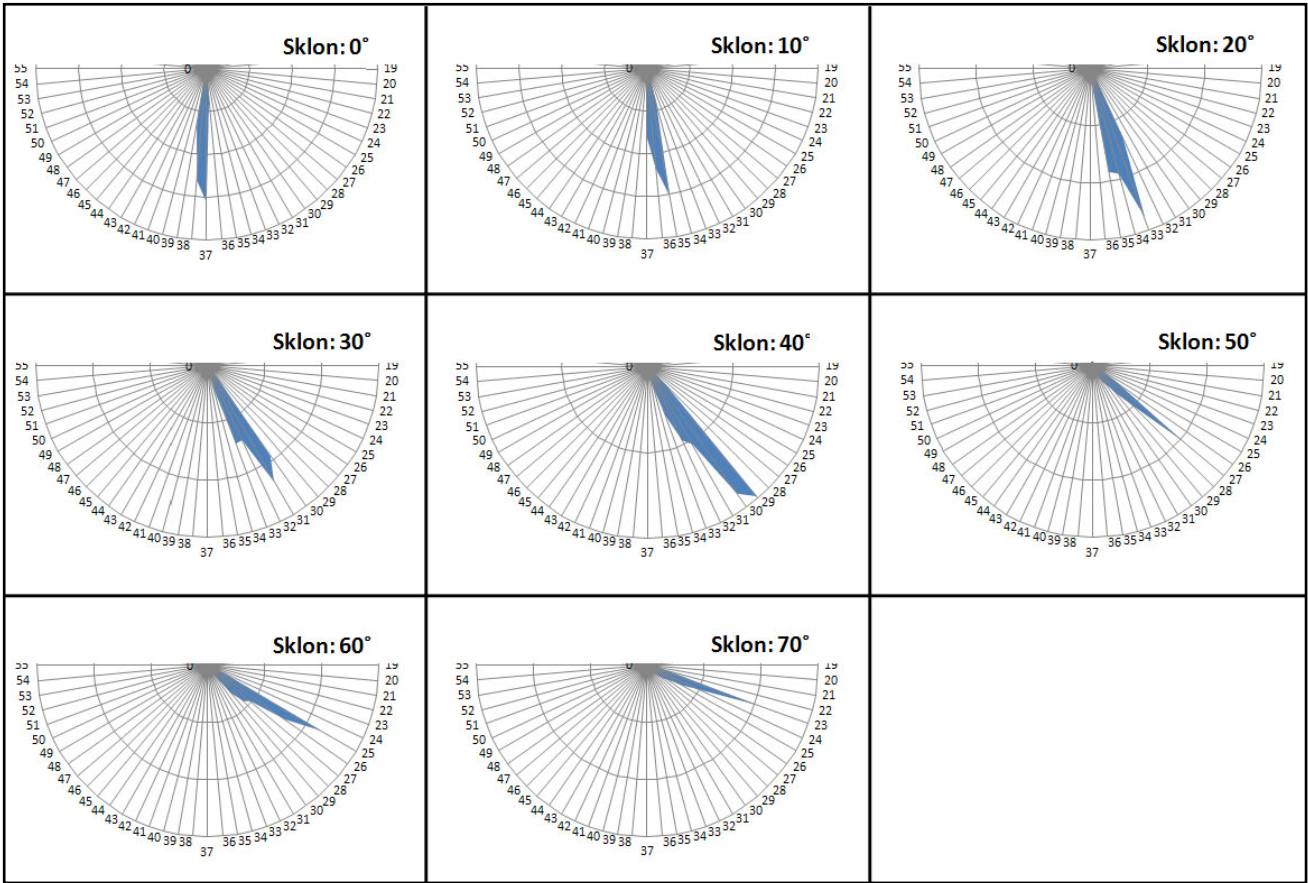


Fig.8. Intensity curves (sample A) - transfer of light diffuser according to the angle of the beam on the diffuser

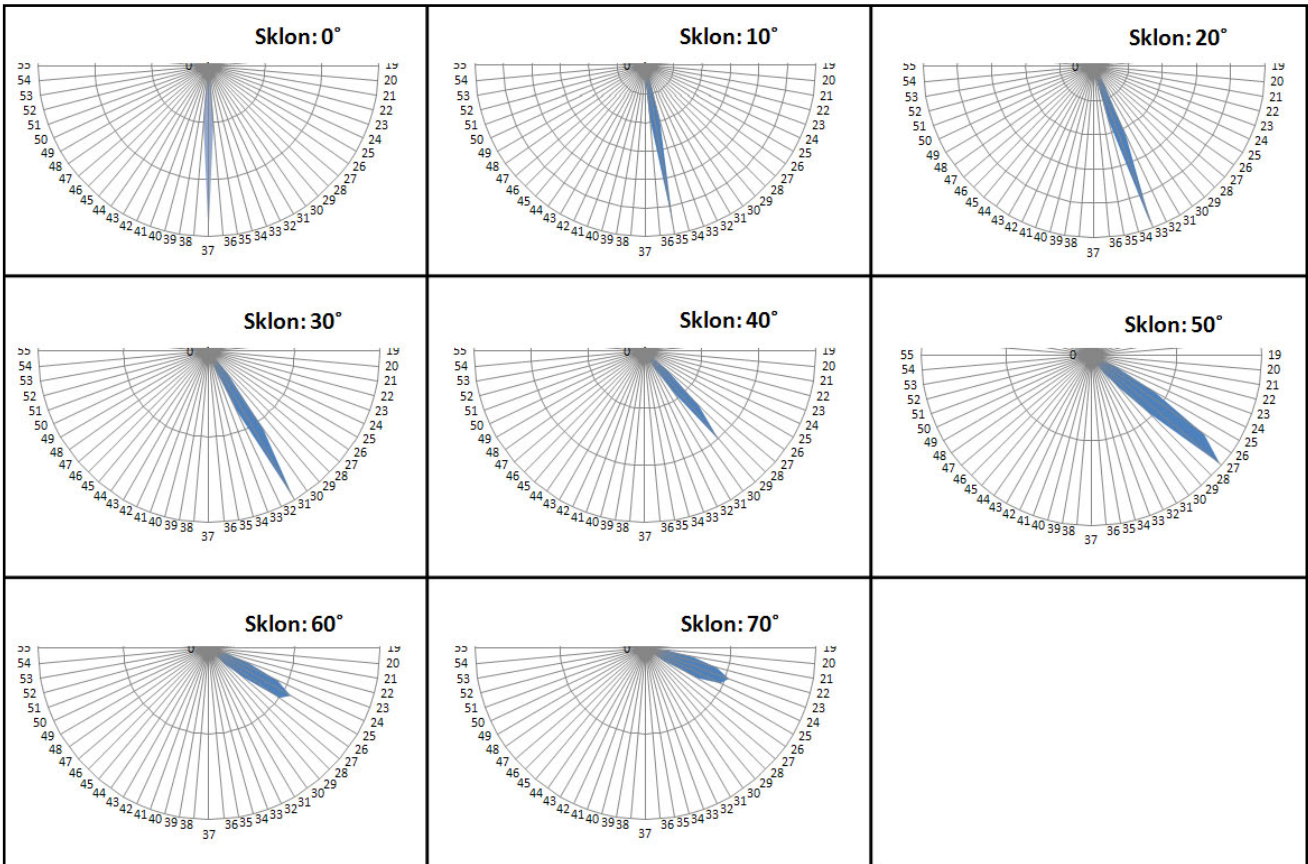


Fig.9. Intensity curves (sample B) - transfer of light diffuser according to the angle of the beam on the diffuser

The measured results confirm the assumptions more diffuse scattering of light through the sample of A. This is due to the thicker inner structure of the material (Fig. 10).

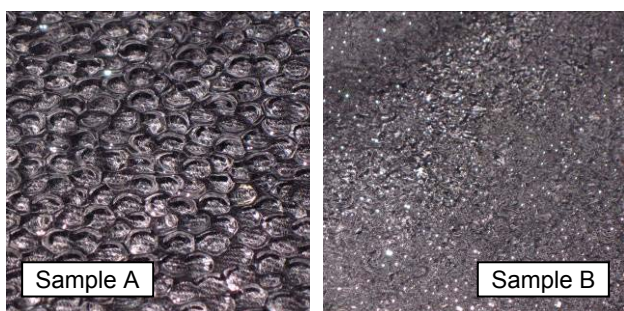


Fig.10. Detail of internal structure compared diffusers

When comparing the results of the measured intensity curves of the two diffusers (Fig. 11) can be observed in sample B, both directly (with little scatter), light beam penetrates through the diffuser. This is reflected particularly in the larger angles - 40° -70° (Fig. 11b). In contrast, sample A is much more scattered light, the light is more diffuse. Fig. 11a shows that the difference in intensity when changing the angle is not as great as in Fig. 11b. The results also show that the range of individual intensity curves are very similar, and their width is changed very little.

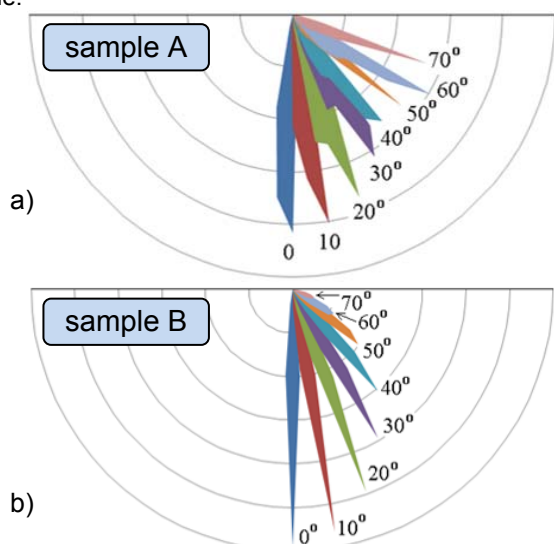


Fig.11. Comparison of curves of intensity with increasing impact angle beam for sample A and sample B

Conclusion

New technological processes and further research is now enabling the development of skylights highly polished interior surface of the tube and the possibility of a better reflection of the sun. This improves the efficiency of the system.

There are studies for the transmission of light through diffusers and quantify and characterize the scattering of light on the diffuser. With the enormous development of the technology currently is not a problem to propose diffusers of different shapes and materials. The research aims to define the direction of characteristics that would help the general public easily identify and design the installation using skylights.

Measurement of directional transfer of light through the diffuser shown how structure affects the interpretation of the

material at different light beams. Diffuser with coarse internal structure (sample A) has a greater dispersion of rays, such as the diffuser structure with finer sampling (sample B).

Detail diffuser intensity curves with finer internal structure (sample B) with a light beam at an angle of 50° is shown in Fig. 12.

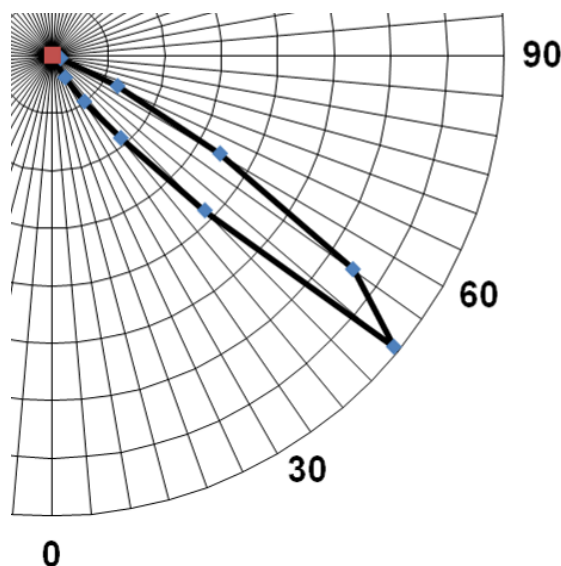


Fig.12. Diffusers light intensity distribution curve (sample B) for the beam impact angle of 50°

Acknowledgement:

Authors are grateful to the Slovak Research and Development Agency for support of the Slovak APVV project 0264-07.

REFERENCES

- [2] KRASŇAN, F. 2004. *Praktické skúsenosti s hodnotením oslnenia a odvodené metódy UGR*. In: Světlo 2004 = Light 2004: Sborník přednášek 6. mezinárodní konference. Brno, Česká republika 22.-24. June 2004. - Brno : Česká společnost pro osvětlování, 2004. - ISBN 80-238-8928-1. - S. 268-272.
- [3] KITTLER R., KITTLEROVÁ L. 1975. *Návrh a hodnotenie denného osvetlenia*. ALFA Bratislava.
- [4] Kocifaj, M., Darula, S., Kittler, R. HOLLIGILM: hollow light guide interior illumination method – an analytic calculation approach for cylindrical light-tubes. *Solar Energy* 82, p. 247–259, 2008.
- [5] Kocifaj, M. Analytical solution for daylight transmission via hollow light pipes with a transparent glazing. *Solar Energy* 83, p. 186-192, 2009.
- [6] Kocifaj, M. Efficient tubular light guide with two-component glazing with Lambertian diffuser and clear glass. *Applied Energy*. 86, p. 1031-1036, 2009.
- [7] Smola, A. and Krasňan, F. Meranie svetelnotechnických veličín. In: *EE časopis pre elektrotechniku a energetiku*. ISSN 1335-2547. Roč. 9, mim. č. (2003), pp. 7-8.

Authors:

Ing. Marek Krasňan, E-mail: marek.krasnan@gmail.com;
 Prof. Ing. Alfonz Smola, PhD., E-mail: alfonz.smola@stuba.sk;

The Faculty of Electrical Engineering and Information Technology,
 Slovak University of Technology
 Ilkovicova 3, 81219 Bratislava

Possible use of power LEDs for lighting and communication

Abstract. Over the past decade rapid development of communication technology happened in the field of optoelectronics. At this time metallic lines are no able to transmit large amount of data such as optical fibers. Practically all backbone communication networks are built on optical fibers, whereas it can be expected their significant role in the last mile networks. As an alternative to last mile networks it could take the so-called free space optical networks (FSO), whether the indoor FSO or outdoor FSO links (point-to-point). The development of power LEDs enables to use these components for lighting the space and together as an optical transmission point in indoor FSO. This article is focused on experimental verification of the possible use of power LEDs for simultaneous wireless communication and lighting of room (spectral and radiation characteristics depending on the OOK modulation).

Keywords: Power LEDs, free space optical networks, spectral characteristics, radiation characteristics, OOK.

Introduction

Free space optical networks (FSO) can be imaged as an alternative to last mile networks (PON, xDSL, Wi-Fi, etc.). The source of optical radiation could be a laser diodes or LEDs. The first indoor FSO was developed in 1979 [1]. This technology used a spread infrared radiation around the intended area. Currently, it has already been successfully commercialized in several systems for which the infrared spectrum was used. Since 2001, Philips Lumileds company has started to produce power LEDs on the power of 1 W. In time, the technology of power LEDs improved. Early in 2008, the power LEDs, which were able to emit white light with a luminous efficiency of 120lm/W, appeared in the market. The original idea was to use the power LEDs as a saving light source in area, but currently it is undergoing to experimental validation of eventual use for indoor FSO.

Indoor free space optical networks FSO – indirectly oriented systems

In the architecture of directly oriented systems low optical performance can be used, because the optical performance is concentrated in a narrow beam and creates a high power flux density in the optical receiver. Thanks to narrow concentrated beam this architecture is only suitable for connecting point-to-point. In case of an indirectly oriented systems LOS the base station is placed above the intended area (as lighting). To ensure that the system could meet the requirements of multiple mobile users within a relatively large area of coverage, the narrow beam of light has to be replaced by a wide light cone, which defines the optical communication cell (Fig. 1) [2].

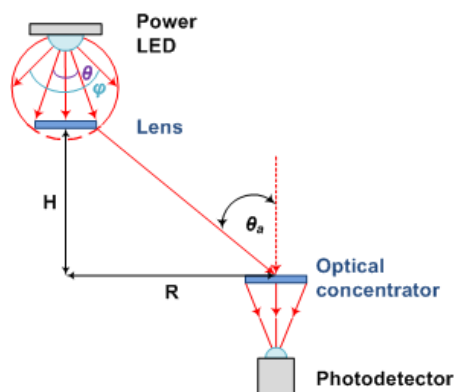


Fig. 1: Indoor FSO – indirectly oriented system (cell)

The optical concentrator is able to receive ambient light to an angle which corresponds to the size of the optical

communication cell radius R . The theoretical model is determination is based on theoretical considerations, that the optical radiation radiates lossless through an environment [3]. The relationship between the area A_R , from which the optical concentrator can receive, and the detector area A_{det} can be described as:

$$(1) \quad A_R \sin^2 \theta_a = A_{det} n^2,$$

where: n – refractive index of optical concentrator.

The optical performance of the photodetector P_{PD} can be determined by equation:

$$(2) \quad P_{PD} = \frac{P_{OS} n^2 A_{det} \cos \theta_a}{A_{cov} \sin^2 \theta_a},$$

where: P_{OS} – optical power from source of radiation, A_{cov} – area of coverage of optical communication cell, which is determined as:

$$(3) \quad A_{cov} = \pi H^2 \tan^2 \theta_a.$$

White emitting power LEDs

LEDs generate a white light by use of blue LEDs and luminophore, which is located on the chip surface. White LEDs are the latest and the youngest type of light emitting diodes. A shade of white light is given by a color temperature in Kelvin degrees, because the white light includes almost all wavelengths of visible spectrum of colors.

In practice, so-called yellow luminophore called YAG (Yttrium, Aluminum, and Garnet) is applied as a luminophore, in short $Y_3Al_5O_{12}$. YAG is a colorless, optically isotropic cubic crystal structure. Today it is the primary crystals for garnet lasers, because the technique its cultivation and processing into a rod shapes while maintaining the highest optical quality is managed.

Used luminophor yttrium aluminum garnet is in addition doped by Cerium (a chemical symbol Ce). The resulting yellow luminophore is written in the form of $Y_3Al_5O_{12}: Ce_3$ (YAG: Ce). It is implemented into a chip with a help of special method called Lumiramic, which increases dramatically the quality of white light. The photons of blue light are largely absorbed by the luminophore. It then emits light with a lower energy level (longer wavelength). The final spectrum in Fig. 2 is composed by luminescence emitted by

the chip, and phosphorescence emitted by an yellow luminophore. The human eye sees the combination of these two wavelengths as a white light.

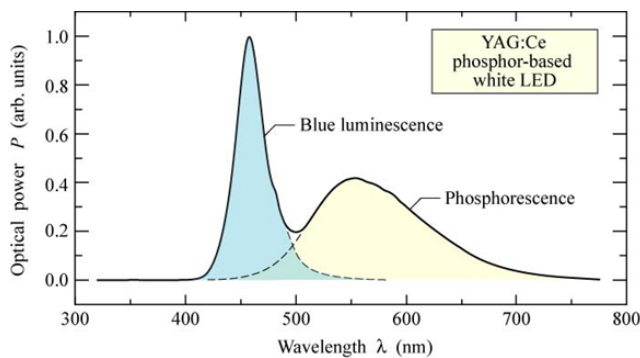


Fig. 2: Emission spectrum of a phosphor-based white LED [4]

The spectral characteristic of white power LEDs can provide a luminous flux Φ [lm], when use a relationship:

$$(4) \quad \Phi = 683 \frac{\text{lm}}{\text{W}} \int_{380\text{nm}}^{720\text{nm}} p(\lambda) V(\lambda) d\lambda,$$

where: $V(\lambda)$ – sensitivity of human eye.

The luminous flux is the optical performance of source of radiation in the spectral region of the human eye. The illuminance [lx] means, that the luminous flux of 1 lm impinges in an area 1m^2 , which induces a lightning of 1 lx.

Basic requirements of the light source for the optical communications

The replacement model of LED is shown in fig. 3, which includes parasitic capacitance and inductance. In the forward direction, the cause of the capacity of diode is so-called diffusion capacity C_{dif} , which is presented by redundant charge injected into the PN junction. This capacity can be significantly reduced by increasing the radiative recombination rate (by increasing the density of charges - increasing injection current as well as increasing the rate of nonradiative recombination - an increase of doping in the PN junction). A greater capacity means a narrower bandwidth of LEDs.

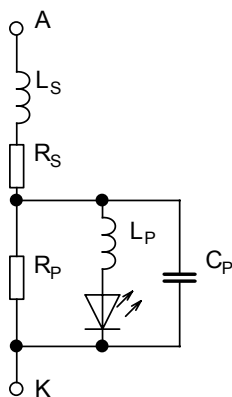


Fig. 3: The replacement model of LED

The other capacitance by LEDs is a barrier capacitance C_{bar} , which arises due to energy barriers of

PN junction. This junction separates the positive and negative charge of immobile donors and acceptors, which acts as a plate capacitor. The size of this capacitance varies in depending on the width of a depletion region, that is dependent on the size of the applied voltage between the anode and cathode. The capacity C_{bar} prevails in the reverse direction and can only be reduced by decrease of general area of the chip.

The parallel capacity C_p is already mentioned as diffusion and a barrier capacity. If we use the LEDs at very high frequencies, a small capacity and series resistor can create a RC element with a time constant τ . The RC element behaves as an integrator, which causes deformation of the original signal [5].

The rise edge of pulse is bevelled due to the capacity. Moreover, a shot noises appear in the P/I characteristics, which are affecting the input signal. Therefore, the operating point is preferred in nearly zero. Then the signal to noise ratio is optimal.

The most important requirements of light sources are:

- a sufficient optical power at the appropriate spatial and spectral distribution of luminous flux,
- a possibility of fast modulation,
- a sufficient lifetime,
- a small size and weight.

OOK modulation (On-Off Keying) of power LEDs

An OOK modulation is one of the simplest types of modulation, where a logical value "1" is encoded as light pulse. There are used pulses with a rectangular shape to reduce the complexity of the modulator. A bit rate of one bit is presented as $R_b = 1/T_b$, where T_b denotes the duration of one bit. An important parameter (except BER), which has to be considered in any modulation scheme, is a demand for bandwidth. The bandwidth is estimated as a spectral density of the signal via a Fourier transform using the autocorrelation function. The spectral density of the signal modulated using OOK without correlation at the input has the form [6]:

$$(5) \quad S(f)_{OOK} = \frac{i_s^2}{4R_b} \text{sinc}^2\left(\frac{\pi f}{R_b}\right) \left[1 + R_b \sum_{k=-\infty}^{\infty} \delta(f - kR_b) \right],$$

where: $\text{sinc}(x) = \sin(x)/x$, $\delta(x)$ – Dirac function, i_s – average value of photoelectric current generated in the source of optical radiation, f – frequency.

The spectrum of signal is infinite, because the duration of the pulse is finite. A pulse with zero frequency corresponds to the DC component and represents the energy balance. increasing The requirement at the bandwidth increases with the decreasing value of pulse δ . For a value of $\delta = 0.5$ a modulation scheme is usually called as OOK RZ (return to zero) and can double the bandwidth against the above mentioned modulation scheme OOK NRZ (non return to zero).

The OOK NRZ modulation scheme was used in the experimental measurement of the white power LED Luxeon V Star LXHL-5 Watt LW6C. A block diagram of experimental measurement is shown in fig. 4. An internal wiring of transmission block has been designed for use in automotive - communication V2V2I. The estimated transmission rate for transmission of relevant information between vehicles and infrastructure is around 400 kbps [7].

Measurements showed that the bandwidth of power LED (greater than 50 MHz) is large enough to support data transmission in the range of tens MBps [8].

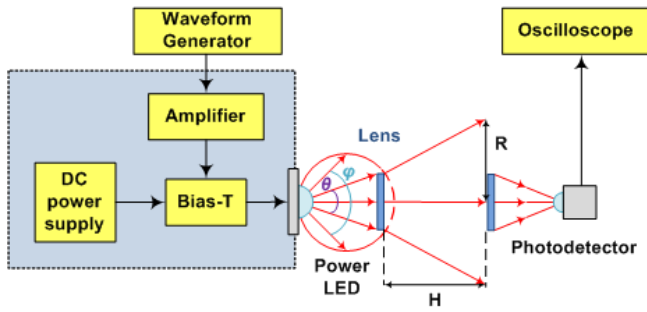


Fig. 4: The block diagram of experimental measurement of cut-off frequency for white power LED Luxeon V star 5 Watt LXHL-LW6C

A distance H was 2 m in the experimental measurement. An operating current of the power LED was set to $I_P = 70$ mA. This operating current setting causes the generation of light with DC components. Modulated power LED current was given $I_D = 700$ mA. If this current is set, the power LED gives 100% of its optical power according a datasheet. One half of the maximum optical power determines loss of optical power by 3 dB. When a generator increases the frequency to the loss optical power by 3 dB towards its maximum peak, the corresponding frequency indicates the cut-off frequency, which is important for use in the field of communications. The generator Rohde & Schwarz SMB 100 A and oscilloscope LeCroy WaveRunner 204MXI were used. As a photodetector was used Thorlabs DET10A module with a rise time of 1 ns and working in the wavelength range 200-1100 nm. Selected cut-off frequencies of the modulated currents $I_D = 400, 700$ mA are shown in fig. 5.

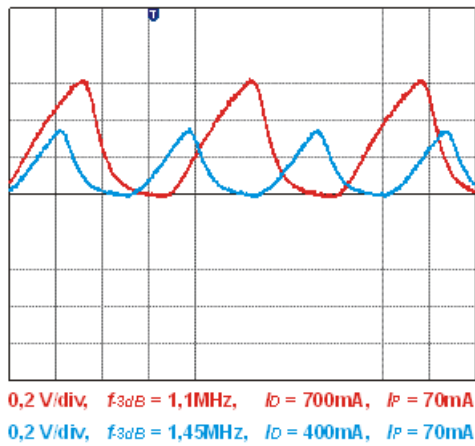


Fig. 5: Measured cut-off frequencies for power LED Luxeon V star 5 Watt LXHL-LW6C

Influence of power LED chip temperature on its spectral characteristics

The same as other sources of optical radiation used for communication purposes (optical fiber and free space systems), it has to be considered thermal stabilization of power LEDs. A change of power LED chip temperature can cause a radical influence on P/I characteristics and spectral characteristics, when power LEDs are used as a light sources in the rooms.

For the experimental measurement of the influence of the power LED chip temperature (Luxeon V Star LXHL-5

Watt LW6C) on the change of the spectral characteristics the oil bath was used in the device Memmert One 7-45. Diagram of the experimental involvement is the fig. 6.

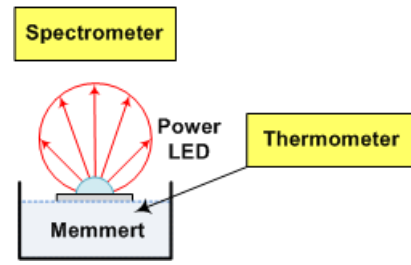


Fig. 6: The block diagram of experimental involving for measurement of influence of the power LED chip temperature (Luxeon V star 5 Watt LXHL-LW6C) on spectral characteristics

The spectrometer Ocean Optics USB4000 was used, which enables to measure spectral characteristics in range form 200 to 1100 nm. The final measured spectral characteristics for modulated current $I_D = 400, 700$ mA is shown in fig. 6, 7.

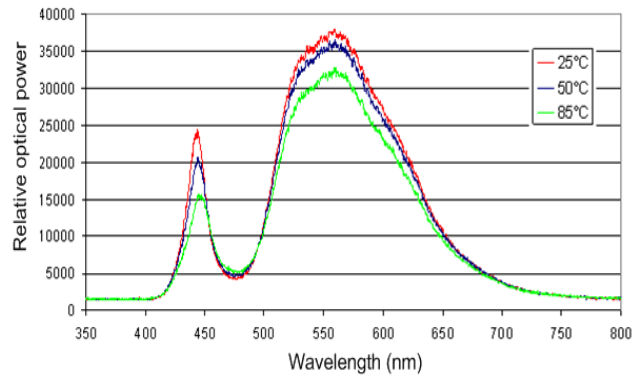


Fig. 6: Influence the power LED chip temperature (Luxeon V star 5 Watt LXHL-LW6C) on spectral characteristics with modulated current $I_D = 400$ mA

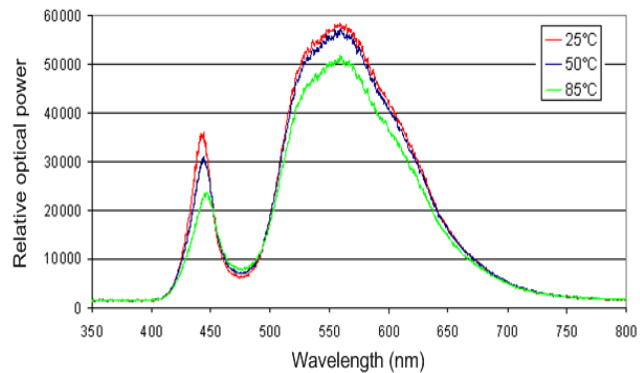


Fig. 7: Influence the power LED chip temperature (Luxeon V star 5 Watt LXHL-LW6C) on spectral characteristics with modulated current $I_D = 700$ mA

Conclusion

Power LEDs represent the future and an alternative to conventional lighting elements. Their advantage is the ability to be used for communication purposes. From the perspective of the development of lighting elements they

may be used in the automotive industry soon. Due to accidents on European roads, the EU decided to reduce the count of traffic accidents involving fatalities in 2010 to a half, compared to the 2001 state [9]. The result of finding solutions is the introduction of informative-communicative systems on the principle of exchange of information between vehicles and also between vehicles and infrastructure along the road. These systems are called in shortcut V2V2I (Vehicle-to-Vehicle-to-Infrastructure). The recent development of LED technology and adaptive car lighting systems shows benefits of use of alternative communication systems based on free space optics.

However, the experimental measurements shown that is necessary to solve a thermal stabilization. When OOK NRZ modulation scheme is used it can not be achieved large bit rates. To increase the bit rate over 100 Mbps, while using the power LEDs as a source of information is necessary to use other more complex modulation schemes. An example may be a discrete multi-tone modulation (DMT Discrete Multi-Tone Modulation). This allows bit rate 117-182 MBps for a bandwidth of 24 MHz [10]. Then power LEDs could not be used only to illuminate an area, but also for the transmission of information.

Acknowledgement

This paper and research has been supported by the Czech Science Foundation GA 102/09/0550, GA 102/09/1986 and B1454 9951, SP/2010185, Cesnet no.337/2009.

REFERENCES

- [1] Kavehrad, M. *Broadband room service by light* [on line]. Pennsylvania State University, Juli 2007 [cit. 2010-3-18]. Scientific American. Available from WWW: <<http://cictr.ee.psu.edu/CICTRnews/White%20LED/sad0707Kave4p.pdf>>.
- [2] Jivkova, S., Kavehrad, M. *Transceiver Design Concept for Cellular and Multispot Diffusing Regimes of Transmission* [on line]. Pennsylvania State University, March 2004 [cit. 2010-3-18]. Available from WWW: <<http://cictr.ee.psu.edu/facstaff/kavehrad/kavehrad-pub.html>>.
- [3] BOYD, R. W. *Radiometry and the Detection of Optical Radiation*. John Wiley & Sons, 1983, 254 s. ISBN: 0-471-86188-X.
- [4] SCHUBERT, F. E. *Light-Emitting Diodes*. Cambridge University Press, 2006, 2 edition, 432 p. ISBN: 978-0521865388.
- [5] VOBECKÝ, J., ZÁHLAVA, V. *Elektronika – součástky a obvody, principy a příklady*. Praha: Grada Publishing, 2005, 3. vydání, 220 s. ISBN: 80-247-1241-5.
- [6] CARLSON, A. B., PAUL, B. C., RUTLEDGE, J. *Communication System: An Introduction to Signal and Noise in Electrical Communication*. McGraw-Hill, 2001, 4 edition, 864 p. ISBN: 0070111278.
- [7] SCHAAL, T., ZEEB, E. *Optical Free Space Communication with LED Rear Lights*. 5th International Symposium Progress in Automobile Lighting, Proc. PAL2003, pp.942-954, Darmstadt, 2003.
- [8] LANGER, K. D., VUČIČ, J., KOTTKE C., et al. *Advances and Prospects in High-Speed Information Broadcast using Phosphorescent White-Light LEDs* [on line]. Fraunhofer Institute for Telecommunications, Berlin. Juni 2009 [cit. 2010-3-18]. Available from WWW: <<http://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?arnumber=05184994>>.
- [9] European Road Transport Research Advisory Council. *Research Framework* [on line]. Brussels, May 2006 [cit. 2010-3-15]. Available from WWW: <<http://www.ertrac.org/?m=7>>.
- [10] GRUBOR, J., RANDEL, S., LANGER, K. D. *Broadband Information Broadcasting Using LED-Based Interior Lighting*. *Journal of Lightwave Technology*, Vol. 26, Issue 24, pp. 3883-3892 (2008). ISSN: 0733-8724.

Authors: Ing. Jan Látal, VŠB-TU Ostrava, Faculty of Electrical Engineering and Computer Science, Department of Telecommunications. 17. listopadu 15, 708 33 Ostrava-Poruba. E-mail: jan.latal@vsb.cz.

Ing. Petr Koudelka, VŠB-TU Ostrava, Faculty of Electrical Engineering and Computer Science, Department of Telecommunications. 17. listopadu 15, 708 33 Ostrava-Poruba. E-mail: petr.koudelka@vsb.cz.

prof. RNDr. Vladimír Vašínek, CSc. VŠB-TU Ostrava, Faculty of Electrical Engineering and Computer Science, Department of Telecommunications. 17. listopadu 15, 708 33 Ostrava-Poruba. E-mail: vladimir.vasinel@vsb.cz

Ing. František Dostál, VŠB-TU Ostrava, Faculty of Electrical Engineering and Computer Science, Department of Electrical Power Engineering. 17. listopadu 15, 708 33 Ostrava-Poruba. E-mail: frantisek.dostal@vsb.cz

prof. Ing. Karel Sokanský, CSc. VŠB-TU Ostrava, Faculty of Electrical Engineering and Computer Science, Department of Electrical Power Engineering. 17. listopadu 15, 708 33 Ostrava-Poruba. E-mail: karel.sokansky@vsb.cz

Environmentalismus ve veřejném osvětlení

Neexistuje mínění, byť sebeabsurdnější, které by si lidé ochotně neosvojili, jakmile se nechají přesvědčit, že je všeobecně přijímané.

Arthur Schopenhauer, Umění sporu

Dovolil jsem si zvolit pro svůj článek motto, které použil i Nigel Lawson – autor pozoruhodné knihy [1], kde také říká: „Navíc (a to se velmi často přehlíží), ve velké většině vědci, kteří stakovou jistotou a zdánlivou autoritou hovoří o globálním oteplování a změně klimatu, nejsou ve skutečnosti žádnými klimatology a dokonce ani přírodovědci, a nemají tedy žádné zvláštní vědomosti, kterými by k poznání tohoto tématu mohli přispět.“ Podobní „vědci“ se neobjevují jen v klimatologii, ale ve všech oblastech dotýkajících se životního prostředí. Tedy i v oboru osvětlování kde straší „světelným znečištěním, smogem, smetím...“ I zde se za odborníky vydávají lidé, kteří nemají o světelné technice ponětí.

Nechci tímto textem popírat existenci negativních vlivů světla. Rozhodně jsou případy, kdy je světlo nežádoucí, kdy ruší. Však se také takové účinky světla označují jako rušivé světlo. „Světelné znečištění“ je novotvar aktivistů, kterým se snaží laické veřejnosti namluvit, že světlo něco špiní, a tedy je nutné s tím něco podniknout. Když se však zamyslíme nad obecným principem špinění, tak nutně začnou v mysli hlodat pochybnosti. Pokud nějaká látka má něco znečistit, tak důsledek jejího působení musí setrvat na onom znečištěném i poté, co znečišťující látka přestane působit. Za znečišťující látku (mudrci označovanou polutant) lze považovat například kalnou vodu natékající do bazénu. I když její přívod zastavíme, tak bazén zůstává špinavý. A to až do doby než ho někdo vyčistí. Světlo se však chová jinak. Může za určitých okolností svítit na oblohu a rušit hvězdářova pozorování (ovšem optiku dalekohledu neumaže). Ovšem stačí otočit vypínačem, světlo zhasne a obloha je ve stejném stavu jako byla před rozsvícením. Světlo nešpiní.

Ano, je žádoucí omezit světlo rušící astronomy, světlo svítící do nežádoucích míst a směrů, rušící spáče, možná i flóru a faunu. Aktivisté podávají řadu zaručených receptů jak rušivé světlo omezit – vyloučit je samozřejmě nejde, protože světlo se šíří všemi směry a odráží se. Ovšem k problematice nežádoucích, rušivých, účinků světla je třeba přistupovat kvalifikovaně. A hlavně seriózně.

Aktivisté se ovšem seriózně nechovají. „Oblbují“ představitele měst, stavebníky či hygieníky kupříkladu tvrzením, že je nutné podle zákona o ovzduší [2] řešit „světelné znečištění“. Dovolím si prohlásit, že podle [2] není třeba a ani nelze učinit naprosto nic. Je v něm pouze velmi nekvalifikovaná „definice“ co je „světelné znečištění“. Formulovaná tak, že by bylo možné ji úspěšně napadnout jako šíření poplašné zprávy. Ale ničím víc není – je to jen pseudodefinice obsahující dokonce i odborné chyby. Nic nevymáhá, pouze špatně konstatuje. A pak je již v [2] toliko ustanovení, že obec může regulovat promítání světelných reklam a efektů na oblohu. Toho využilo asi deset obcí v republice. Vím o případu (asi nebude jediný), kdy je obecní nařízení neplatné. Obec totiž striktně zakázala ono promítání.

Přitom má právo toliko regulovat. Navrhl jsem tamnímu starostovi, ať reguluje tak, že promítání povolí mezi druhou a třetí hodinou odpolední. I tato možnost svědčí o absurditě zákona.



Obr. 1 – Ošklivá lampa - Klasická „koule“, která je typickým představitelem rušivého světla. Přesto jsou místa, kde světlo směřující do horního poloprostoru je v souladu s pravidlem „svítit jen tam, kde je třeba“ – například pokud svítí na fasádu významného objektu.

Jiný příklad nekorektnosti aktivistů. O „ošklivé kouli“ (jejich oblíbený termín pro svítidlo podobné tomu na obr. 1) tvrdí, že pokud bude náležitě zcloněna, pak se k zemi odrazí tolik světla, že bude možné snížit příkon svítidla na třetinu a náves bude osvětlena stejně jako před zcloněním. Z „koule“ bez úprav dopadá na zem asi 40% světla. Pokud se však sníží příkon svítidla na třetinu, tak bude k dispozici pouhých 33% světla. Ani kdyby se všechno beze ztrát odrazilo k zemi, tak to není 40%.



Obr. 2 – Tam, kde je třeba maximálně zamezit vyzařování světla k obloze (zde je 1,5%) je možné svítidlo s předešlého obrázku doplnit refraktorem a clonou napařenou přímo na kulový difuzor.

Realita? Při použití profesionálních způsobů přeměrování světla (vnitřní clona, pokovený vrchlík – viz obr. 2) se omezí světlo směřující k obloze na necelá dvě procenta. Ovšem na zem dopadne sotva o deset procent světla víc než před zacloněním. Veškeré ostatní světlo „zmizí“. To je daň připadající clonění a usměrnění světla. A k takovým ztrátám světla dochází v podobných případech vždy.

A malé upozornění – svépomocně vyrobené clony (nebo nátěry svítidel) jsou nepřijatelné. Jde totiž o zásah kterým se změny podmínky za jakých bylo svítidlo schváleno do provozu. Není pro ně platné prohlášení o shodě. A taková svítidla se nesmí provozovat [3]. navíc je nabádání aktivistů k jakýmkoliv úpravám svítidel nabádáním k trestnému činu poškozování cizí věci.



Obr. 3 - Svítidlo s plochým sklem

Aktivisté tvrdí, že svítidla s plochým sklem (obr. 3) jsou lékem na téměř všechny neduhy osvětlení. Prý zaručeně minimalizují rušivé účinky světla, zaručeně méně oslňují. Ba co víc – jsou nejen ekologická, ale i ekonomická. Nic z toho není úplná pravda, někdy jsou dokonce „škodlivější“ než běžná svítidla (obr. 4). Tvzení o hospodárnosti je pak holý nesmysl.



Obr. 4 - „Klasické“ svítidlo s vypouklou mísou

Vypouklé mísy u „klasických“ svítidel nejsou samoúčelným dekorativním prvkem. Jsou navrženy tak, aby světlo opouštělo útroby svítidla pokud možno kolmo na plochu mísy. Pak jsou ztráty prostupem minimální. U svítidla s plochým sklem to samozřejmě není možné. Čím více se odchyluje směr procházejícího paprsku od svislice, tím větší jsou ztráty. Část světla se pohltí při průchodu, část se odrazí zpět do svítidla. Nepomáhá příliš ani antireflexní sklo. Ve srovnání s „klasickým“ svítidlem propustí to s plochým sklem méně světla – zejména pro větší úhly. To znamená, že svítí méně a do

menší vzdálenosti. Důsledek je zřejmý. Svítidla s plochým sklem je nutné umístit v menších rozestupech. Na osvětlení komunikace určité délky jich bude zapotřebí víc než „klasických“. Podle [4] to je podle okolností o 5 až 35%. Jednoznačně z toho plyne, že taková soustava bude investičně i provozně dražší, energeticky náročnější.

Vyšší počet svítidel, tedy potenciálních zdrojů oslnění, také znamená, že soustava může více oslňovat (asi ve čtvrtině případů tomu tak skutečně je). A to i přesto, že jde o soustavu „plně“ cloněných svítidel, která obvykle oslňuje méně než „klasická“ – to pokud působí na pozorovatele jednotlivě.

A konečně ten nejabsurdnější důsledek. U klasického svítidla směřuje část světla k obloze přímo a část se odrazí k nebi od terénu. U svítidla s plochým sklem k obloze nesměruje přímo žádné světlo, jen to odražené. Jedno svítidlo je šetrnější k nočnímu prostředí. Ale jak již bylo řečeno, je jich zapotřebí víc. A tak může nastat případ, že soustava svítidel s plochými skly produkuje větší množství rušivého světla než ta „neekologická – klasická“.

Ostatně, nejen množství světla vyzářeného na oblohu je ekologie. Větší počet svítidel znamená vyšší spotřebu energie, více vyrobeného železa na větší počet svítidel a sloupů, více betonu na větší počet základů... to vše znamená vyšší zátěž životního prostředí...

Vše uvedené samozřejmě platí pro kvalitativně srovnatelná svítidla a soustavy zajišťující stejné podmínky pro vidění (a pro případ seriózního návrhu).

Neodolám, abych neuvěděl ještě jeden případ dokládající odbornou kvalifikaci ekologických aktivistů. V „ekoporadně“ se lze dočíst [5]: „... veškeré světlo z pouliční lampy by v ideálním případě mělo být plně absorbováno chodníkem...“. Vjem oka je vyvolán světlem odraženým od osvětlovaného předmětu. Chodník dokonale pohlcující světlo by nebyl vidět. Potom by nemělo smysl na něj svítit. Autor by viděl na hvězdičky. Chvilku. Dokud by si nezlomil nohu na neviditelné nerovnosti. A o tom to je. Na hvězdičky se musí kousek za město – romantik i hvězdář. Na chodník musíme vidět všichni (nejen romantici a hvězdáři). Jak prosté.

Zmatečných a dezorientujících informací se veřejnosti dostává od aktivistů mnohem více. Uvedené příklady byly jen ty nejnápadnější. Žel, agitaci samozvaných „expertů“ podlehl i bruselský úředník, kteří nepřímo požehnali plochá skla. Např. [6], [7] nedoporučuje ve velice tmavých oblastech (národní parky a chráněná území) použít svítidla, která sebemenším způsobem svítí směrem k obloze (ale ani nezakazuje – norma je doporučená).

Ekologicky správný je takový postup, že se provede návrh jak se svítidla s plochým sklem, tak s „klasickými“. U kvalitativně rovnocenných soustav se pak vyhodnotí jejich vliv na noční prostředí. Jen tak lze rozhodnout jaká soustava bude šetrnější. Návrh musí samozřejmě vypracovat kvalifikovaný odborník. Tím je světelný technik, nikoli ekologický aktivista – i kdyby třeba byl ověřen množstvím mezinárodních vyznamenání... ovšem od jemu podobných „expertů“.

Pseudoekologové bez sebemenšího vzdělání v oboru určují kde a jak se má svítit. Připomínám motto tohoto článku. Toho, aby se nekvalifikovaná mínění aktivistů stala všeobecně přijímanými, toho dosahují poměrně úspěšně metodou El Álamo. To je metoda používaná ekologickými aktivisty na celém světě. Vychází z příběhu, který se odehrál v texaské pevnosti El Álamo ve čtyřicátých letech 19. století. Tam hrstka vojáků

vzdorovala přesile. Aby oklamala útočníky, tak každý z bojovníků měnil neustále svoji pozici a střílel z různých míst. Obránci El Álamo podleli, ale jejich taktika v ekologicko-aktivistickém kabátku již několikrát oklamala veřejnost. Aktivisté po dohodě přebírají texty jediného autora - nebo několika mála. Materiály vydávají za svá díla a snaží se tak navenek vzbudit dojem, že o nějakém problému hovoří jednotně velké množství „odborníků“. Skutečné odborníky pak označují za nekvalifikované,

neznalé a když to nestačí, tak za podplacené (v případě „světelného špinění“ světlařskou lobby). Praktikami připomíná chování aktivistů Svatou inkvizici. Vyhláší axiomy a nevdí, že často odporují přírodním zákonům. Odpor je nepřipustný. Byť středověk, tak jsem již dávno upálen. Stejně jako byl pro kacířství jeden z mých předků. Vraťme se k rozumu.



Obr. 5 - Na fotografii netančí španělská dívka kol hranice na které bych snad byl aktivista upálen. Technicky nezdařilý obrázek uvádím proto, že jde o ukázkou jediného případu kdy světlo způsobuje „znečištění“. Při špatných světelných podmínkách se na fotografii objeví šum. Zůstává zachován i po té, co se ukončí působení světla na čip digitálního fotoaparátu. Přesto ani aktivisté nenazývají tento šum znečištěním... (Foto zapůjčeno paní Šárkou Horákovou Maixnerovou).

Foto autor a archiv společnosti Siteco

Literatura:

- [1] Nigel Lawson – Vraťme se k rozumu, Dokořán 2008
- [2] Zákon č. 472/2005 Sb. Úplné znění zákona č. 86/2002 Sb., o ochraně ovzduší a o změně některých dalších zákonů - 2005
- [3] Zákon č. 22/1997 Sb., o technických požadavcích na výrobky, ve znění pozdějších předpisů
- [4] MAIXNER, T.: Rušivé světlo Část 2. – „Ekologická“ svítidla. Světlo, 6/2005
- [5] Daněk, V.: Světelné znečištění [ekoporadna] – <http://www.priroda.cz/clanky.php?detail=666>
- [6] ČSN EN 12464-2 Světlo a osvětlení – Osvětlení pracovních prostorů – Část 2: Venkovní pracovní prostory
- [7] ČSN EN 12193 Světlo a osvětlení – Osvětlení sportovišť

Osvětlování chodců na přechodu

V literatuře se lze dočíst o problematice osvětlování přechodů pro chodce. Zdá se nám, že hovořit o osvětlování přechodů je poněkud nešťastné. Důraz není kladen na chodce, ale na přechod. Pak není divu, že se projektant nebo provozovatel spokojí s tím, že je vozovka v místě přechodu osvětlena výrazně víc než mimo něj. Ovšem smyslem osvětlování komunikací je upozornit řidiče na překážku. A tou není přechod, ale chodec na něm. Proto je třeba oblast osvětlit (nebo neosvětlit v případě negativního kontrastu) tak aby byl právě chodec bezpečně rozpoznatelný. Proto lze považovat za správně zabývat se problematikou osvětlování chodců na přechodech a nikoli osvětlování přechodů pro chodce. V textu jsou předloženy nové náhledy na tuto oblast osvětlení.

Možná řešení

Osvětlování „přechodů pro chodce“ je „řešeno“ velice stručně a neurčitě přílohou B normy ČSN EN 13201-2 Osvětlení pozemních komunikací [1]. Píše se tam, že chodce lze na přechodu zdůraznit pozitivním nebo negativním kontrastem vůči pozadí (vozovce). Přitom negativní kontrast lze zajistit základním osvětlením komunikace (podotýkáme, že správně navrženým). To ostatně potvrdil i poměrně rozsáhlý průzkum prováděný z jedoucího vozidla. Postačí, aby byl přechod vhodně umístěn ve vztahu ke svítidlům a okolní prostor byl dostatečně jasný. Vytváření negativního kontrastu „uměle“, tedy vytvořením prosvětleného prostoru za chodcem není nejšťastnějším neřešením. Za určitých povětrnostních podmínek může být takové řešení dokonce nebezpečnější než žádné.

O pozitivním kontrastu se ve zmíněné normě praví, že jas osvětlované osoby má být „výrazně vyšší“ než jas vozovky. Co to znamená, však již předpis neřká.

Aby bylo možné dosáhnout pozitivního kontrastu, je nutné zřídit samostatné osvětlení v místě přechodu chodce. Jeho smyslem je především zvýšit jas přecházejícího ze směru pohledu řidiče vozidla přijíždějícího k přechodu. Je vhodné použít světelné zdroje s jiným barevným podáním, než jaké jsou použity pro průběžné osvětlení komunikace. Potom je dosaženo toho, že chodec na přechodu je ještě více zvýrazněn. Samozřejmě, že „vedlejším“ důsledkem samostatného osvětlení je také zvýšení jasu (osvětlenosti) vlastního přechodu.

Důsledkem použití odlišné barvy a intenzity osvětlení je také to, že je řidič v předstihu upozorněn na existenci přechodu; dokonce již ve chvíli, kdy ještě ani nemusí vlastní přechod vidět. Změna v monotónním rytmu hlavního osvětlení zvýší řidičovu pozornost.

Nejvhodnější jsou asymetrická svítidla, která vyzařují světlo ve směru jízdy. Navíc tato svítidla ve směru k očím řidiče svítí výrazně méně, v důsledku i méně oslňují. To je další bezpečnostní prvek osvětlení v místě přechodu.

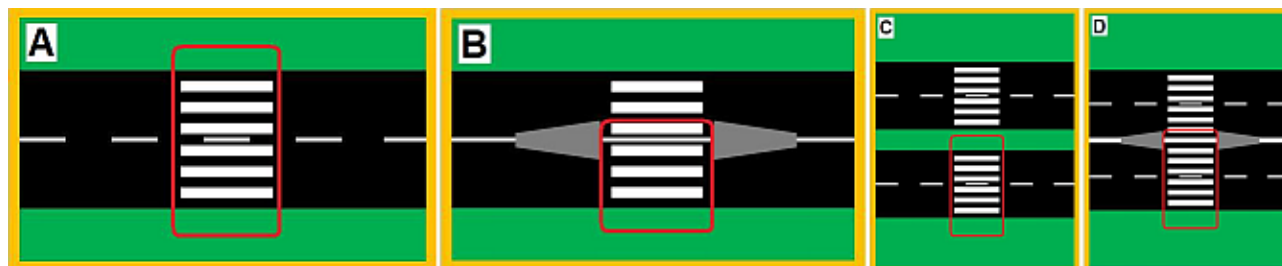
Základní úvahy

Osvětlování chodců na přechodech není jednoduchá úloha. Přesto je silně podceňována. Projektování a následná realizace je prováděna často na základě propagačních materiálů a doporučení firem mnohdy nevalné odborné úrovně. To vede k unifikovanému osvětlování, které je povětšinou nesprávné. Tento postup může způsobit, že se místo přechodu stane místem pro chodce velice nebezpečným.

V [2] jsou uvedeny základní úvahy o osvětlení přechodů (chodců na přechodech). V práci [2] je doporučeno, jaká má být vertikální osvětlenost chodce, aby se dosáhlo dostatečného pozitivního kontrastu. Protože se chodci mohou nacházet na kterékoliv části přechodu, je třeba zvolit počet a umístění svislých srovnávacích rovin napříč komunikací. Příloha B normy (i selský rozum) doporučuje osvětlit také okrajové prostory (nástupní, resp. výstupní), tedy chodník do vzdálenosti přibližně jednoho metru od krajnice. Za okrajové prostory přechodu lze považovat i středový pás nebo prostor mezi betonovými bloky. Zde by neměla být osvětlenost nižší než o dva stupně. Ideálně o jeden, jak však ukázaly podrobné výpočty, je to požadavek, který je jen obtížně splnitelný.

Pro posouzení osvětlení byly zvoleny typické modely přechodů, které jsou schematicky zobrazeny na obrázku 1. Je zřejmé, že chodec musí být dostatečně osvětlený v té části přechodu, kde je bezprostředně ohrožen vozidlem. Tyto oblasti jsou na zmíněném obrázku vyznačeny červeným rámečkem.

Volba svislé roviny pro kontrolní výpočty se liší podle jednotlivých autorů. Často se používá zjednodušeného modelu, kdy se hodnotí vertikální osvětlenost v podélné ose přechodu ve výšce 1,2 m nad vozovkou (výše hlavy dítěte). V naší práci jsme se rozhodli provést výpočty podrobněji. Ve třech rovinách výškově v rozsahu 1+1,5 m nad komunikací. Roviny jsme umístily tak, že základní je v ose přechodu (podélné ve smyslu směru chůze) a další dvě metr před a metr za základní rovinou.



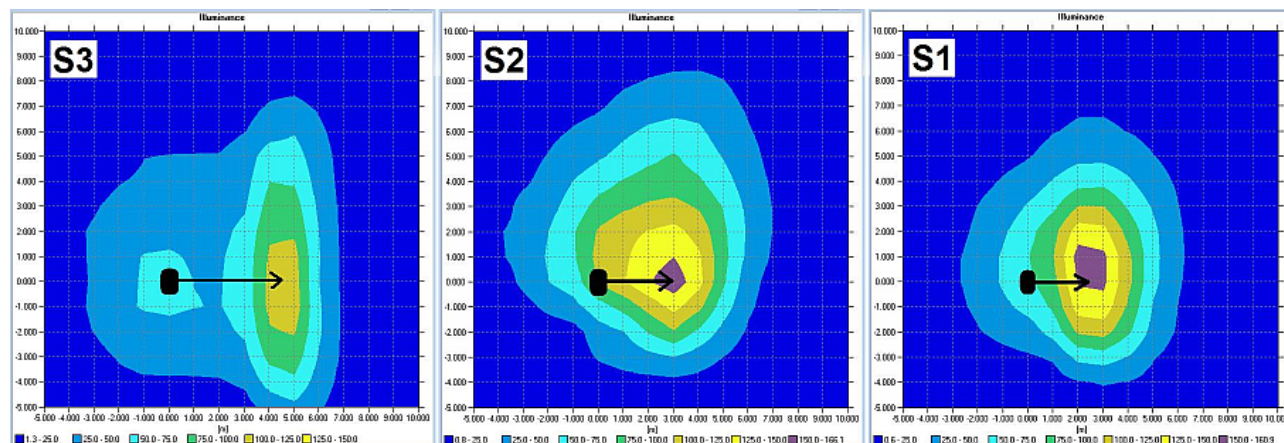
Obr. 1 – Typy přechodů a oblasti posuzování

Umístění svítidla

Opakovaně zdůrazňujeme, že polohu a typ svítidla i typ světelného zdroje je možné určit pouze na základě světelného výpočtu! Každá situace je svým umístěním a vazbou na okolní prostředí jedinečná!

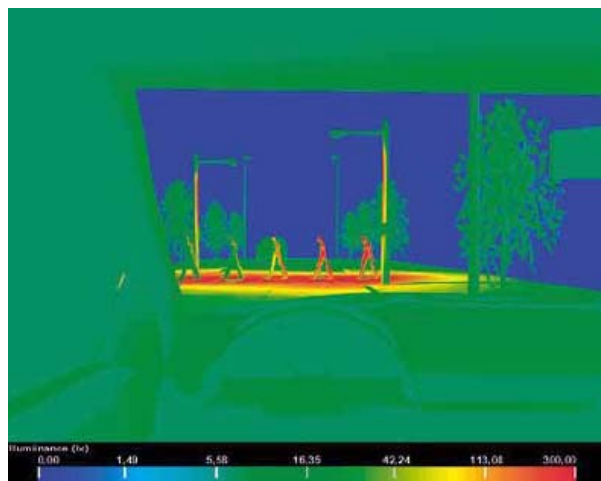
Zpracovali jsme výpočty pro devět typů svítidel používaných pro osvětlování přechodů. Svítidla s různými optickými vlastnostmi (svítidla jsou označena

S1÷S9). Na obr. 2 jsou izočáry horizontální osvětlenosti od tří z posuzovaných svítidel. Na první pohled je zřejmé, že každé svítidlo má jinou charakteristiku vyzařování. To jen potvrzuje opodstatněnost našeho tvrzení o nutnosti vždy provádět světelné technický výpočet.



Obr. 2 Horizontální osvětlenost od tří z posuzovaných svítidel

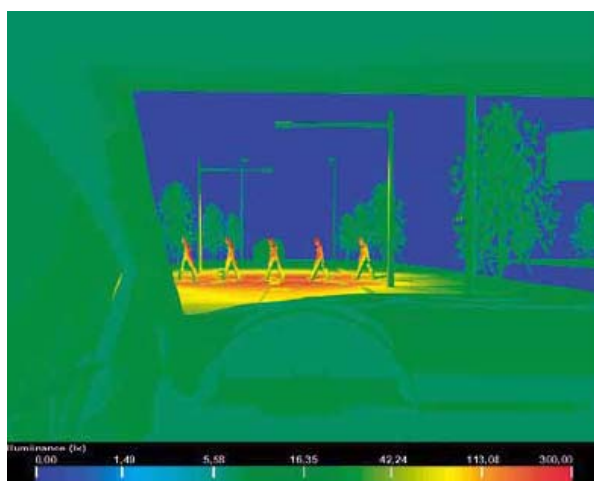
Nejprve jsme provedli výpočty, kdy jsme svítidla umísťovali výhradně na základě výpočtu horizontální osvětlenosti. Snahou bylo dosáhnout co nejrovnoměrnějšího osvětlení plochy vlastního přechodu. Ve většině případů postačila dvě svítidla. Poté jsme provedli prostorovou simulaci z pohledu řidiče a stanovili osvětlenost vertikálních rovin. Příklad takové simulace je na obrázku 3. Závěr byl do jisté míry překvapivý. Nevyhověla žádná z modelových situací. Hlavním důvodem byla ve všech případech nerovnoměrnost vertikální osvětlenosti; nebyla zajištěna vertikální osvětlenost chodce přicházejícího z levé strany. V některých případech šlo o nedostatečně širokou charakteristiku vyzařování, jindy se ukázalo, že byla nesprávně umístěna svítidla.



Obr 3 – Důsledek co nejrovnoměrnější osvětlení plochy přechodu – malý kontrast mezi chodcem a pozadím

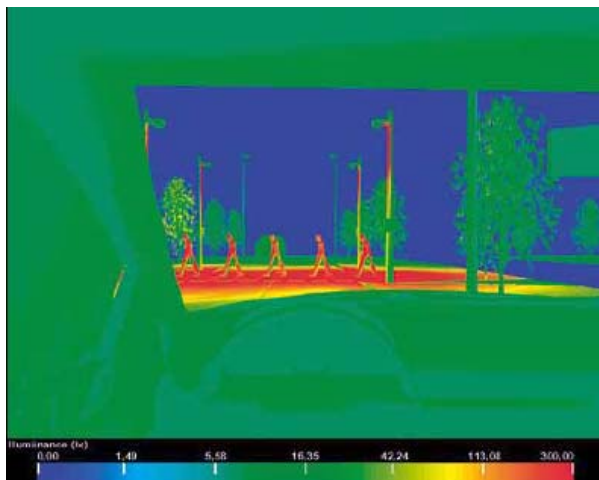
dvěma svítidly vyhovovat. Takovéto případy bylo nutné doplnit dalšími dvěma svítidly na protější straně (samozřejmě s opačnou směrovou charakteristikou). Není bez zajímavosti, že optimalizací na vertikální osvětlenost došlo ke zhoršení rovnoměrnosti horizontální osvětlenosti. Někdy poměrně značně. Přesto byl chodec lépe viditelný. A v tom tkví smysl osvětlování těchto nebezpečných míst na komunikaci.

Výsledky některých výpočtů jsou uvedeny na obrázcích 4 až 8. Pro přechod typu A osvětleného dvěma svítidly vyhověla pouze některá. Společným znakem nevyhovujících instalací byla nerovnoměrnost vertikální osvětlenosti (nedostatečné osvětlení chodce v levé polovině přechodu). Pokud se použila čtveřice svítidel, pak již vyhověla všechna svítidla (obr. 5). Druhý typ přechodu (B) je charakteristický ochranným ostrůvkem uprostřed přechodu. Tak je vymezena

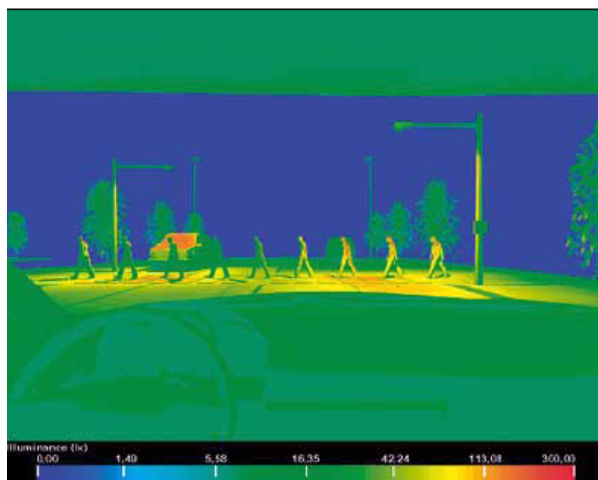


Obr 4 – Přechod typu A/dvě svítidla (S3) – VYHOVUJE

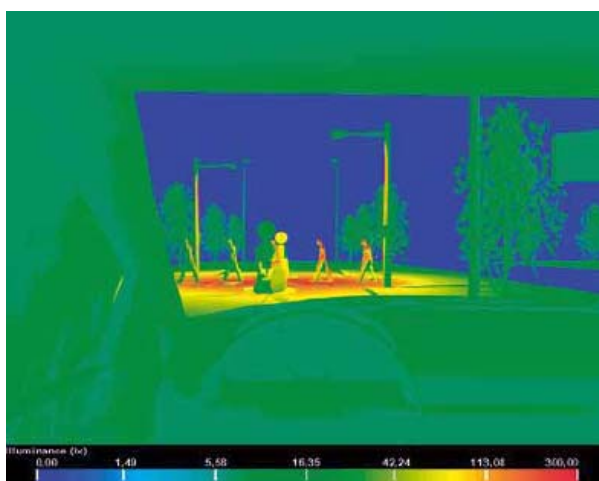
Po vyhodnocení výsledků získaných na základě umístění svítidel podle horizontální osvětlenosti jsme upřesnili pozice svítidel z hlediska vertikální osvětlenosti. Již z výsledků získaných v první části bylo jasné, že pro dosažení určité rovnoměrnosti vertikální osvětlenosti chodce nebudou některé typy instalací se



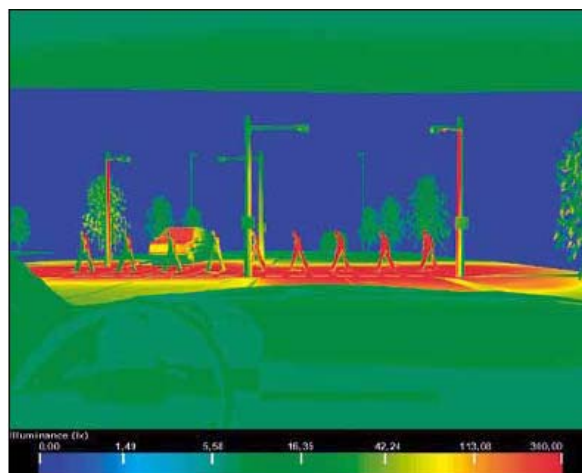
Obr 5 – Čtveřice svítidel na přechodu A – vyhoví všechna svítidla



Obr 7 – Přejchod typu C(D)/dvě svítidla (S4) – NEVYHOVUJE



Obr 6 – Přejchod typu B/dvě svítidla (S9) – VYHOVUJE



Obr 8 – Přejchod typu C(D)/čtyři svítidla (S2) – VYHOVUJE

oblast, kde je třeba dobře rozlišit chodce. Není nutné dokonale osvětlit chodce v levé polovině, za ostrůvkem. Samozřejmě, že neukázněný řidič může projet i levou polovinou přechodu. Osvětlení však bezohledného řidiče nezastaví. Díky zkrácení oblasti, ve které bylo nutné zajistit vyhovující osvětlení a po několika případných korekcích pozice svítidel, se dosáhlo toho, že vyhovující byla svítidla všech typů (obr. 6). V případě

komunikace se čtyřmi jízdními pruhy (C/D) nastává situace podobná modelu A. Ani zde se nepodařilo vždy nalézt vyhovující řešení se dvěma svítidly (obr. 7). V případě, že se však použijí 4 svítidla, pak je možné zajistit požadované osvětlení se všemi zkoumanými svítidly (obr. 8). Celkové shrnutí výsledků je uvedeno v tabulce 1.

Tabulka 1 – Minimální osvětlenost chodce – vypočtené hodnoty jsou zaokrouhleny nahoru podle normalizované řady osvětleností. L_{kom} je jas komunikace, E_{ch} odpovídající osvětlenost chodce. E_v osvětlenost vertikální roviny (zaokrouhleno podle normalizované řady osvětleností)

Třída	L_{kom}	E_{ch}	E_v
ME1	2,0	90	100
ME2	1,5	67,5	75
ME3	1,0	45	50
ME4	0,75	33,8	50
ME5	0,5	22,5	30
ME6	0,3	13,5	15

Tabulka 2 – Osvětlenost chodce – vertikální roviny (E_v); E_{kom} je osvětlenost komunikace; ostatní - viz tab. 1

Třída	E _{kom}	L _{kom}	E _{ch}	E _v
CE0	50	1,59	71,6	75
CE1	30	0,96	43,2	50
CE2	20	0,64	28,8	30
CE3	15	0,48	21,6	30
CE4	10	0,32	14,4	15
CE5	7,5	0,24	10,8	15

Tabulka 3 - Vyhovující varianty osvětlení přechodu dle vertikální osvětlenosti

Typ přechodu	Počet svítidel	Svítidlo								
		S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9
A 2 jízdní pruhy	2	x	x	Vyhovuje	x	Vyhovuje	x	x	x	x
	4	Vyhovuje	Vyhovuje	x	Vyhovuje	x	Vyhovuje	Vyhovuje	Vyhovuje	Vyhovuje
B 2 jízdní pruhy s bet. blokem	2	Vyhovuje	Vyhovuje	Vyhovuje	Vyhovuje	Vyhovuje	Vyhovuje	Vyhovuje	Vyhovuje	Vyhovuje
C/D 4 jízdní pruhy s bet. blokem/stř. pasem	2	x	x	Vyhovuje	x	Vyhovuje	x	x	x	x
	4	Vyhovuje	Vyhovuje	x	Vyhovuje	x	Vyhovuje	Vyhovuje	Vyhovuje	Vyhovuje

Závěr

Ukázalo se, že navrhovat osvětlení pouze podle horizontální osvětlenosti vlastního přechodu vede ke špatným výsledkům. Takové osvětlení nevyhovuje, chodec je nedostatečně osvětlen. Přechod je nebezpečný. Vždy je nutné vyhodnotit vertikální osvětlenost rovin umístěných v popsanych místech.

Bylo prokázáno, že použití 2 svítidel nelze obecně považovat za dostatečné zajištění bezpečnosti chodce. Nejnebezpečnější situace většiny stávajících přechodů nastává při přecházení chodce z levé strany. Důvodem

je snížený výhled díky clonění pohledu levým sloupkem čelního skla vozidla. Nebezpečí může ještě zvýšit nedostatečné vertikální osvětlení chodce.

Autoři článku považují za nutné ve spolupráci s dalšími odborníky, zejména dopravními psychology, zpracovat zásady osvětlování přechodů pro chodce formou normativních požadavků a Technických podmínek. Věříme, že se podaří vypracovat konečnou podobu Technických podmínek osvětlování přechodů dříve, než se bude toto téma probírat v souvislosti s vážnými nehodami, které na přechodech vznikají.

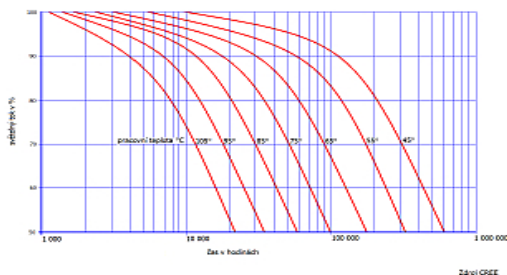
Literatura

- [1] ČSN EN 13201-2; Osvětlení pozemních komunikací – Část 2: Výkonnostní požadavky
 [2] Maixner, T: Osvětlení přechodů pro chodce; Světlo 04/2008

Realita LED

V Praze probíhá rozsáhlý experiment se svítidly LED. Má sledovat provozní vlastnosti této pokrokové techniky, jejich poruchovost, závislost světelně technických vlastností v závislosti na ročním období, způsobu provozování i vlivu znečištění. Příspěvek seznámí s prvními výsledky tohoto experimentu. Dále se příspěvek zabývá důsledky použití nekvalitních svítidel LED, které zaplavují současný trh. Několik realizací měl možnost autor posoudit z pozice soudního znalce. Jde o realizace doslova životu nebezpečné.

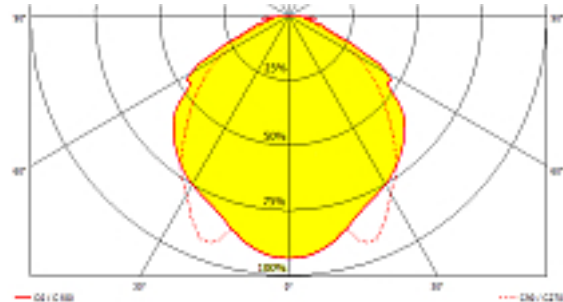
U světelných zdrojů je základním parametrem množství světla vycházejícího ze zdroje vztažené na jednotkový elektrický příkon (měrný světelný výkon). K těm nejvýkonnějším světelným zdrojům se řadí vysokotlaké sodíkové výbojky s hodnotou kolem 150 lm/W (lumen z wattu). Jejich nízkotlaká varianta dosahuje dokonce velikosti 200 lm/W. LED se zatím pohybují v laboratorních podmínkách někde kolem 120 až 160 lm/W (číslo, které se každým měsícem, ba i týdnem mění). V praktických aplikacích je to však o poznání méně; v těch kvalitních okolo 80 lm/W. Hlavní příčinou neutěšeného stavu je teplo. Se změnou teploty se významně mění vlastnosti diody. Na teplotě přechodu závisí skutečná doba života i velikost světelného toku (Obr. 1).



Obr. 1 – Délka života a pokles světelného toku v závislosti na teplotě čipu. (Údaje – Cree)

Aby byly LED schopné konkurovat klasickým světelným zdrojům, pak by pokles světelného toku neměl být větší než 20%. Jak je zřejmé z obrázku 1, aby se dosáhlo prodejci proklamované délky života sto tisíc hodin, tak bylo by nutné udržet teplotu diody přibližně na 55°C. To je v praxi jen obtížně dosažitelná hodnota. Ve svítidlech jsou mnohem reálnější teploty okolo 80-90°C. Tomu pak odpovídá doba života sotva dvacet tisíc hodin. Zázrak s „nekonečným“ životem se nekoná; podobné délky života, i lepší, dosahují klasické světelné zdroje.

Ovšem množství „vyrobeného“ světla však ještě nic neznamená. Důležité je především to, jak se světlo z čipu šíří. Zdánlivě je výhodné, že je světlo směrováno „dopředu“, tedy v případě svítidel pro uliční osvětlení směrem „dolu“. Tak taky svítidla netradičních výrobců (eufemismus pro podřadné produkty zaplavující trh) svítí (obr. 2).



Obr. 2 – Čáry svítivosti „obchodníky“ běžně nabízeného LED svítidla, naprosto nevhodného pro osvětlování komunikací. Svítí pod sebe; směrem k zemi je téměř osmkrát vyšší svítivost než pro úhel 75°

Ovšem ve skutečnosti je třeba svítit co „nejdále“, aby bylo možno svítidla od sebe co nejvíce vzdálit a přitom dostatečně osvětlit co nejdelší úsek komunikace (obr. 3). Pokud se použije svítidlo z fotometrií podobnou té na obr. 2, tak je nutné použít velké množství prvků (také sloupů, základů, výložníků...). Svítidla je možné umisťovat nanejvýš ve vzdálenostech rovných dvojnásobku jejich výšky nad vozovkou. Tradiční svítidla je možné od sebe oddálit na pětinašobek i šestinašobek jejich výšky, u speciálních svítidel pro cyklostezky dokonce na desetinásobek. Pokud nezapočtu náklady na kabeláž, která je téměř nezávislá na počtu světelných míst, tak v případě klasických svítidel jsou výdaje na zřízení osvětlení třikrát až pětikrát nižší. To kdyby byla klasická i LED svítidla stejně drahá. Ve skutečnosti je cena diodových svítidel dvakrát i pětikrát (i vícekrát) vyšší než cena kvalitních klasických. Investiční (i provozní) náklady osvětlovacích soustav se svítidly LED jsou i několikanásobně vyšší než je tomu u soustav s výbojkovými svítidly. Samozřejmě – to platí v případě, že se srovnávají soustavy, které zajišťují stejné kvalitní osvětlení.



Obr. 3 – Charakteristický průběh svítivosti svítidla pro osvětlování komunikací. Značně odlišná od svítidla na obr. 2; pro úhel 75° je svítivost dvaapůlkrát vyšší než směrem k zemi. Z obrázku je zřejmé, že směrem k vozovce (doprava) je vyzářováno více světla než k chodníku (šedě vyplněná křivka).

Existují pokusy o změnu optiky použitím speciálních čoček. Ty se však vyrábí z plastů. Je pak otázkou jak se zachovají za několik let (po uplynutí záruky). Cesta vede patrně cestou skleněné optiky a hledání zcela nových optických systémů (obr. 4). Vkládat LED do korpusu stávajících svítidel je podobně slepá cesta jako bylo u prvních automobilů vložení motoru do kočáru pro koňské spřežení.



Obr. 4 – Svítidlo LED, které je schopné zajistit přijatelné osvětlení i na vozovkách určených pro motorovou dopravu.

Vrátíme se k některým proklamacím „obchodníků“ s LED svítidly pro veřejné osvětlení.

Naprostě běžná jsou utvrzení, že se při použití jejich svítidel významně ušetří. Existují i extrémní, kdy prodejce prohlašuje, že svítidlo LED o příkonu 145W nahradí 250W vysokotlakou halogenidovou výbojku, které naprostě nekorektně přisuzuje příkon s předřadníkem 618W (ve skutečnosti to je přibližně 270W). Množství světla, které emituje výbojka je 26 000 lm. Podělím toto číslo příkonem svítidla LED a vychází, že by muselo produkovat 179 lumen z wattu. Při srovnání s vysokotlakou sodíkovou výbojkou bude LED v ještě větší nevýhodě. Musela by mít měrný výkon přes 210 lm/W. Světla správně směřovaného.

O něco příznivější je situace u výbojek s nižším příkonem, protože u takových je nižší i měrný výkon. LED se mohou, co do množství světla rovnat vysokotlakým sodíkovým výbojkám s příkonem 50=70W. Připomínáme, že jedna věc je množství vyprodukovaného světla a druhá, jak je s ním nakládáno. Takže prozatím ani taková náhrada není plnohodnotná.

Dalším argumentem předkládaným ve prospěch LED je jejich údajná ekologická šetrnost. Jak bylo řečeno – jsou energeticky náročnější než klasické výbojky – vyšší spotřeba elektřiny rozhodně ekologická není. Nejsou ohleduplné ani k okolnímu prostředí. Světlo je u nekvalitních produktů nehospodárně směřováno, takže svítí do míst, kde je nežádoucí. Na obr. 5 je patrné, jak světlo dopadá do oken přilehlého stavení. Fasáda je dokonce jasnější než nejsvětější místo na vozovce. Smyslem osvětlení je osvětlit cestu, nikoli okna domu.



Obr. 5 – Osvětlovací soustava LED – Míra rušivého světla na oknech zcela jistě přesahuje přípustné hodnoty. Nerovnoměrnost osvětlení na komunikaci je daleko za přípustnými mezemi.

Na posledně vzpomenutém obrázku je také zřetelné patrné, jak nerovnoměrně je osvětlena komunikace. Měření tento vizuální vjem potvrdilo. Rovnoměrnost osvětlení, tedy poměr mezi minimem a průměrnou hodnotou osvětlenosti je 0,06. Předpisy přitom požadují rovnoměrnost více než šestkrát lepší, tedy 0,4. Při tak špatném rozložení světla je již skoro nepodstatný jeho nedostatek. Průměrná osvětlenost komunikace je 3,5 luxu, což je méně než polovina předepsané pro tu nejméně náročnou komunikaci (7,5 lx). Změřená soustava nevyhovuje dokonce ani požadavkům na stezky určené pro pěší a cyklisty. Přitom jde o komunikaci II. třídy, která je frekventovaným průtahem obcí.

A důsledek? Střídání světla a tmy nutí zrak k neustálé adaptaci. Potom může řidič snadno přehlédnout překážku v tmavší části komunikace. Jako není vidět do tmy za světlomety protijedoucího automobilu. Takto osvětlenou komunikaci je nutné považovat za životu nebezpečnou!

Nenapadá nás jiná možnost, jak zabránit řádění (doslovněmu) nekorektních prodejců LED svítidel, než napnout veškeré úsilí k tomu, aby se normové požadavky souboru norem ... EN 13201 staly závaznými. Závaznými se však mohou stát i tak, že jejich dodržení bude vyžadovat obec při zadání úlohy ji osvětlit.

Vývoj v oblasti těchto světelných zdrojů je až překotný. Údaje, které platí dnes, mohou být za několik týdnů překonány. Zde uvedené odpovídají stavu na jaře 2010. LED jsou bezesporu světelnými zdroji budoucnosti, byť nepříliš vzdálené. Je třeba ještě zlepšit jejich měrný světelný výkon, dořešit co nejúčinnější způsoby přesměrování vyzařování a zejména zvládnout jejich chlazení.



Obr. 6 – Také „realizace“ s LED svítidly. Nebezpečná i pro cyklisty, jimž je určena. Měsíc zajistí mnohem intenzivnější a kvalitnější osvětlení. A to zdaleka nemusí být v úplňku. Soustava byla napájena fotovoltaickými panely. S nástupem podzimu a zatažených dní nebyly sto zajistit dostatečné množství energie – svítidla reagovala tak, že se pokoušela o zapnutí, ovšem vzápětí se vypínala. Jak je patrné z porovnání obrázků. V současnosti je cyklostezka osvětlena klasickými svítidly.

Energiahatékonyságot mérő mutatók az útvilágításban

Energiahatékonyság

Az energiahatékonyság az egyik legfontosabb kérdése a XXI. század gazdaságának. Az Európai Unió folyamatosan keresi azokat a területeket, ahol energiahatékonysági céljait elérheti. Ezek közül az egyik legkisebb ráfordítást igénylő és legjobb eredménnyel kecsegtető területe a világítás. Ezért fontos, hogy legyenek olyan indikátorok, melyekkel az útvilágítások energiahatékonysága mérhető, összehasonlítható.

Fényforrásokra olyan jól ismert indikátoraink vannak, mint a fényhasznosítás (lm/W), a lámpatestekre pedig a hatásfok, ugyanakkor, az útvilágítások megfelelő tervezésének és karbantartásának nagyobb hatása lehet az energiahatékonyságra, mint a fényforrásoknak vagy a lámpatesteknek önmagukban.

Új megvilágításba kell helyezni ezért az energia felhasználás hatékonysági a mutatóit, azok egymáshoz való viszonyát, és ha szükséges, létre kell hoznunk újakat is. Megmutatjuk az egyes indikátorok közötti összefüggéseket, azok továbbfejlesztési és osztályozási lehetőségeit

Energiahatékonysági mutatók

Az egyik legismertebb energiahatékonysági mutató az útvilágításhoz szükséges teljesítményigény hosszegységként, leggyakrabban kilométerre vetítve.

$$P_{km} = \frac{\sum P_i}{d} \quad \left[\frac{\text{kW}}{\text{km}} \right] \quad (1)$$

ahol: $\sum P_i$ - a világítótestek teljesítményfelvétele; d-világítási hálózat hossza

Legnagyobb előnye az egyszerűség, ugyanakkor hátránya, hogy a különböző szélességű vagy alaprajzú utak nem hasonlíthatók közvetlenül össze.

A tanulmány javaslatot tesz ennek módosítására, hogy jobban kifejezhetővé váljanak a méretbeli különbségek, a világítótestek elrendezési hatékonyságai.

Az útvilágítási energiahatékonysági index (SLEEC=Street Lighting Energy Efficiency Index) több tanulmányban és felmérésben már megjelent, de még nem szerepelt egyetlen nemzetközi szabályozásban sem. Ez az egységnyi területre eső energiaigényt mutatja a területen elért világítási szinthez (megvilágításhoz vagy fényűrűséghez) viszonyítva. Az egyik legfontosabb – még nem tisztázott kérdés, hogy a világítási szinten a tényleges (számított vagy mért) értéket kell érteni vagy a szabvány által az adott útosztályra vonatkozó elérendő legkisebb átlagértéket.

Egy másik lehetséges indikátor, hogy mennyi fényt használunk a világításhoz az elméletileg lehető legkisebb értékhez képest. Ezt egyes szerzők [2] "installációs minőségi faktornak" (q_i) hívják, ami nem túl szerencsés elnevezés, mert nem a berendezés vagy a világítás minőségéhez kapcsolódik, de Jól mutatja, hogyan változik az elrendezés fényhatásfoka a referencia állapothoz képest.

$$q_i = \frac{Q_i}{Q_0} \quad (2)$$

ahol: Q_i a vizsgált világítási berendezés fényűrűség/megvilágítás tényezője és Q_0 - világítási berendezés fényűrűség/megvilágítás tényezője C2 útreflexiós mátrix esetén.

Meg kell említenünk az installációs hatásfokot (K_1), mely az útra jutó fényáramhányad és a fényforrás fényáramának viszonyát írja le. A jellemző érték (0,4) egyoldalas elrendezés, az útszélességgel azonos fénypontmagasság esetén értelmezhető. Számítása és kommunikációja egyszerű, de bekorlátozza a felhasználót a világítótestek hatékonyabb elrendezésében.

Egy útvilágítás energiahatékonysági megfelelőségét úgy is megközelíthetjük, hogy meghatározzuk, mekkora az a minimális fényáram érték (Φ_{min} [lm]), ami képes előállítani az útra vonatkozó osztály átlagos megvilágítás vagy fényűrűség értékét. Fényforrások típusát tekintve a legjobb fényhasznosítású, az alkalmazandó lámpatest vonatkozásában pedig arra ösztönzi a felhasználót, hogy a kiválasztott berendezés, a fényforrás fényáramából a legtöbbet hasznosítson úgy, hogy az útfelület megvilágításhoz szükséges felvett teljesítmény ($P[W]$) a lehető legkisebb legyen. Nem elhanyagolható paraméter az elrendezés hatásfoka sem, mely szintén kihatással van a világítás energiahatékonyságára. Mindent összevetve megkapjuk a berendezés fényhasznosítását (η_i), melyet már egy jól ismert mértékegységgel tudunk kifejezni [lm/W].

$$\eta_i = \frac{\Phi_{min}}{\sum P_i} \quad \left[\frac{\text{lm}}{\text{W}} \right] \quad (3)$$

ahol Φ_{min} az a minimális fényáram érték, ami képes előállítani az útra vonatkozó osztály átlagos megvilágítás vagy fényűrűség értékét; $\sum P_i$ -a berendezés felvett bruttó teljesítménye.

A berendezés fényhasznosítás, mint energiahatékonysági mutató számba veszi mindazokat a hatékonysági tényezőket, melyek alkalmazásával energiafelhasználás szempontjából az ideális világítás kialakítható a vonatkozó útvilágítási szabványi ajánlások mellett, de csak a mai technológiák vonatkozásában. Egy megadott minimális határérték (pl.40 lm/W) a technika fejlődésével könnyebben teljesíthető, és bár berendezés fényhasznosítás szempontjából energia hatékony világítást kapunk, nem garantálja azt, hogy az adott útfelület megvilágítása is a szabvány által ajánlott minimális értéken maradjon. A berendezés fényhasznosítását egy u.n. tervezési tényező (D') figyelembe vételével adja meg a rendszer fényhasznosítását (η_D), A tervezési tényező, mely mértékegység nélküli szám, a szabványi ajánlást hasonlítja össze a tervezett fényűrűségi / megvilágítási szinttel. Az előző indikátorhoz azonosan, egy minimális érték adható meg mutatószámként.

A fenti hatékonysági mutatók részben vagy egészben magukba foglalták mindazokat a paramétereket, melyekre az útvilágítás tervezése során oda kell figyelni, hogy energiafelhasználás szempontjából, a legkedvezőbb installáció kerüljön megvalósításra. Az idő függvényében, azaz az éjszakai órákban, az adott útszakaszon változhatnak a látási feladatok, így a szabvány általi útbesorolás is. Ehhez adaptív vagy szabályozott világítással lehet legjobban alkalmazkodni. A berendezés, különböző időszakokra súlyozottan átlagolt fényhasznosítása (η_{av}

[lm/W]), az egyes időszakok alatt szolgáltatott fényáram és az időszakokra jellemző teljesítményfelvétel. Jelen technológiák mellett a szabályozott időszakban, bár csökken a megvilágítás, vele nem lineárisan csökken a felvett teljesítmény, így a fogyasztás sem. Az időszakok megfelelő súlyozásával egy olyan mutató alakítható ki, mely mind a szabályozatlan, mind a szabályozott világítások esetén alkalmazható.

Energiahatékonyság szempontjából az sem elhanyagolható szempont, hogy a berendezéseknek milyen és mennyi karbantartási igénye van, melyet egy karbantartási mutató írhat le. El kell gondolkodnunk azon, hogy a felsorolt hatékonysági mutatókból kiválasztva egyet, vagy újabb mutató mellett, esetleg azokkal együtt kell-e alkalmaznunk.

Összefoglalásként tekintsük át még egyszer az energiahatékonysági mutatókat, de már olyan szemszögből tekintve, hogy mely paramétereket vesz figyelembe a hatékonyság szempontjából, milyen előnyökkel, illetve hátrányokkal kell számolnunk alkalmazásuk esetén.

	Előnyök	Hátrányok
Időszakra átlagolt fényhasznosítás	Adaptív vagy szabályozott világítások esetén jól mutatja mind a névleges, mind a csökkentett üzemmód fényhasznosítását a rész üzemidővel súlyozva	Megengedi a túlvilágítást

	Előnyök	Hátrányok
(Fényforrás vagy lámpatest) fényhasznosítása	Egyszerűen számolható, egyszerűen kommunikálható	Csak a fényforrás hatásosságát mutatja
Lámpatest által a felső féltérbe sugárzott fényáram hányad	Egyszerűen számolható, egyszerűen kommunikálható	Nem mutatja a fényforrás fényhasznosítását Nem mutatja mennyi fény esik a megvilágítandó területre
Hosszegységre eső bruttó teljesítmény	Egyszerűen számolható, egyszerűen kommunikálható	Különböző útkategóriák és elrendezések nem összehasonlíthatók
Útvilágítási energiahatékonysági index (fényűrűség)	Különböző útkategóriák és elrendezések összehasonlíthatók	Bonyolult, nem mutatja a túlvilágítást
Útvilágítási energiahatékonysági index (megvilágítás)	Különböző útkategóriák és elrendezések összehasonlíthatók	Bonyolult, nem mutatja a túlvilágítást
Útosztály szerinti relatív energiahatékonysági index	Azonos mértékegység mind fényűrűség, mind megvilágítás esetén, a maximális energia igény könnyen számolható	Útosztályonként változó értékek
Installációs minőségi mutató	Megmutatja, hogy a választott elrendezés mennyire jó "hatásfokkal" állítja elő a fényűrűséget adott megvilágítás esetén.	Csak fényűrűségre méretezett világítások esetén értelmezhető, nehezen kommunikálható
Berendezés fényhasznosítás	Egyszerűen kommunikálható, útosztálytól független, figyelembe veszi a fényforrás fényhasznosítását, a lámpatest és elrendezés hatásfokát is	Megengedi a túlvilágítást
Rendszer fényhasznosítás	Különböző útkategóriák és elrendezések összehasonlíthatók, figyelembe veszi a berendezés fényhasznosítását és az elrendezés hatásfokát is.	
Installációs hatásfok	egyszerűen számolható, egyszerűen kommunikálható	Csak az egyoldalas elrendezésre vonatkozik, nem veszi figyelembe a fényforrás energiahatékonyságát

HIVATKOZÁSOK

- [1] ILV: International Lighting Vocabulary, CIE DS 017.2/E:2009
- [2] P. Iacomussi, G. Rossi, P. Soardo: ENVIRONMENTAL COMPATIBILITY OF LED LUMINAIRES IN ROAD LIGHTING
- [3] Axel Stockmar: ENERGY EFFICIENCY MEASURES FOR OUTDOOR LIGHTING @ p. 185, Proceedings of CIE 2010 "Lighting Quality and Energy Efficiency"

Authors:

Mancz Ivette közvilágítási üzletágvezető EDF DÉMÁSZ Zrt. H-6720 Szeged, Klauzál tér 9. E-mail: ivete.mancz@edf.hu
Schwarcz Péter, tudományos igazgató, TUNGSRAM-Schröder Zrt, H-2084, Pilisszentiván, Tópart 2. E-mail: schwarcz.p@schroeder.hu

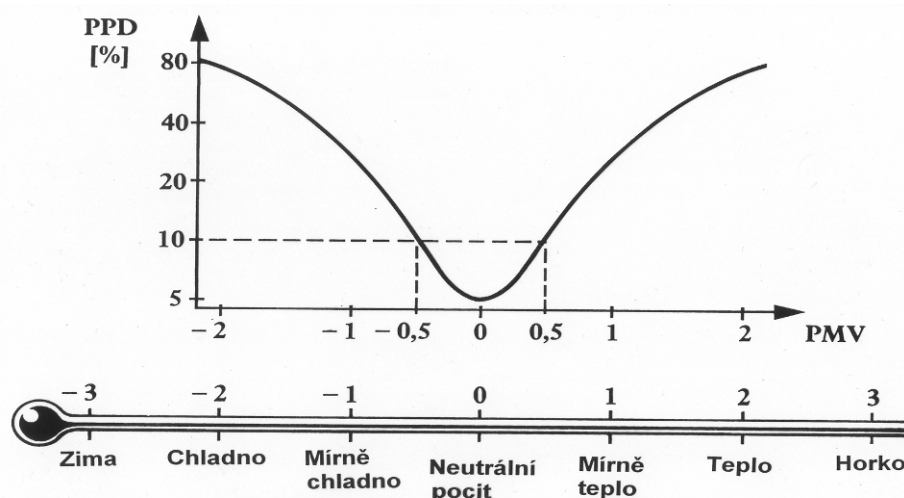
Prosklené kanceláře s PC z hlediska faktorů prostředí
Ing. Zuzana Mathausarová, NRL SZÚ Praha, zmat@szu.cz
Ing. Jana Lepší, ZÚ se sídlem v Plzni, jana.lepsi@zuplzen.cz

Současně budovaná office centra známe jako nové administrativní budovy, většinou plně klimatizované, s řadou kanceláří typu open space, ale i technickým a technologickým zázemím, školícími a výukovými prostory, recepcí i vlastním stravovacím zařízením.

Nově budované prostory umožňují nejmodernější přístrojové vybavení, ergonomické uspořádání dobře osvětlených pracovních míst. Požadovanou kvalitu přiváděného vzduchu a dodržení všech hygienických limitů pro mikroklimatické podmínky i případné chemické látky v ovzduší zajistí správně nadimenzovaná a provozovaná klimatizace, která umí splnit odlišné požadavky v jednotlivých prostorách podle jejich využití, orientace fasády ke světovým stranám, hluková zátěž prostoru je minimální a podobně. Taková je teorie - a praxe?

Problémy, které se zde vyskytují (tj. problémy s kvalitou vnitřního prostředí budov vyjádřenou jednotlivými fyzikálními a chemickými faktory prostředí) jsou obecnými problémy všech nových plně klimatizovaných budov a velkoprostorových administrativních pracovišť. Máme-li ve velkém prostoru s řadou pracovních míst (jejichž uspořádání omezuje pocit soukromí) strojním a přístrojovým vybavením a řadou různých činností zajistit pro všechny přítomné optimální podmínky, bývá to velmi nesnadný úkol. Každý člověk má trochu jinou představu o optimálních podmínkách na svém pracovišti - jejich subjektivní vnímání nemusí vždy odpovídat požadavkům našich předpisů. Dalším problémem je vlastní konstrukce budov s přemírou skla a tudíž velkých tepelných zisků ze sluneční radiace v létě a ochlazovacím účinkem prosklených ploch v zimě.

Asi největší a nejvíce pocíťovaný vliv má teplota vzduchu. Víme, že tepelné podmínky mají mnohem větší vliv na subjektivní pocit pohody člověka, míru odpočinku i skutečnou výkonnost než nežádoucí škodliviny či obtěžující hluk. Jak ale zajistit většímu počtu osob v jednom prostoru optimální teploty? Vnímání teplot je velmi individuální záležitost, závisí na mnoha ukazatelích - stáří člověka, pohlaví, okamžitém zdravotním stavu, okamžitém psychickém stavu a celé řadě dalších. Vždy bude existovat část osob v daném prostoru, která bude s tepelně vlhkostními podmínkami nespokojena - jak ukazuje i ČSN EN ISO 7730 (obr. 1). Někdy se potom může lišit skutečná tepelná zátěž organismu a subjektivní pocit vnímání tepelného prostředí.



Obr. 1: Vnímání tepelného stavu prostředí vyjádřeného procentem osob nespokojených s daným tepelným stavem - podle ČSN EN ISO 7730
(PPD - podíl nespokojených [%], PMV - střední tepelný pocit)

PPD 10, tj. 10 % osob nespokojených s daným tepelným stavem prostředí odpovídá hodnotám teplot, které se v platných předpisech a ČSN udávají jako optimální, PPD 20, tj. 20 % osob nespokojených s daným tepelným stavem prostředí odpovídá hodnotám ještě přípustným - ty nemají u zdravého jedince vliv na jeho zdraví, ale mohou být pocíťovány již jako tepelný diskomfort.

Nedokážeme ovlivnit zdroje tepla ve vnitřním prostředí, ale umíme účinně zabránit vnější tepelné zátěži. Stínící prvky - předokenní rolety, markýzy, vnější žaluzie, donedávna považované za určitý nadstandard, musí být pro zachování vhodných vnitřních podmínek samozřejmostí. Ale právě tady může být jeden ze zdrojů stížností na nevhodné parametry vnitřního prostředí. Všichni mají právo na denní osvětlení - i když velkoprostorová pracoviště většinou nejdou řešit bez osvětlení sdruženého. Pracovníci u oken obhajují zatažené žaluzie - z důvodu sluneční radiace, oslnění, ovlivnění kontrastu při práci s počítači apod. Pracovníci na opačném konci pracoviště se naopak dožadují alespoň trošky denního světla. Na pocitu tepelné pohody se podílí i další mikroklimatické faktory - rychlost proudění vzduchu a vlhkost vzduchu.

Rychlost proudění vzduchu

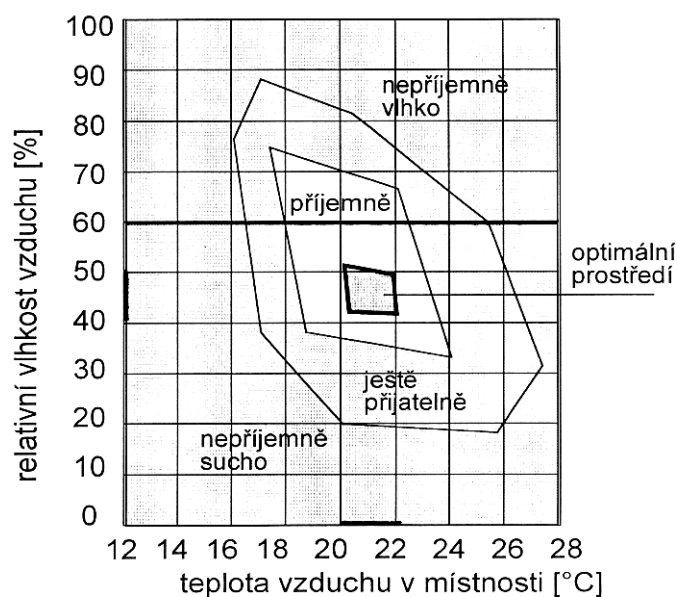
Je-li nízká, tj. pod $0,05 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$, navozuje pocit „stojícího“ vzduchu, má minimální ochlazovací účinek. Důsledkem je, zvláště při vyšší teplotě vzduchu, rychlý nárůst únavy, nesoustředěnosti, chybovosti ... Na pracovních místech, kde je nezbytná trvalá soustředěnost pracovníků, např. u operátorů, pracovníků velinů, apod., je nutné vždy zajistit proudění vzduchu, ale tak, aby proudící vzduch pracovníky neobtěžoval. Rychlosti proudění nad $0,25 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ mohou již někteří citlivější jedinci vnímat rušivě - stěžují si na „průvan“. Ten může mít i zdravotní důsledky. Proudícím vzduchem dochází k odpařování potu a tím ochlazování člověka. Je-li ochlazovací účinek vysoký, může dojít k prochlazení části těla vystavené proudění - přestože okolní teploty vzduchu jsou vysoké.

Ne vždy je ve fázi projektu známé přesné umístění pracovních míst. A tak se setkáváme i s tím, že pracovníci přímo sedí nad vyústkou přiváděného vzduchu podlahou, nebo v proudu přiváděného vzduchu z vyústky nad hlavou. Takto proudící vzduch přímo na pracovním místě způsobuje i velký rozdíl vertikálního teplotního gradientu - liší se teplota vzduchu v místě hlavy a kotníků pracovníka. Náprava je zdánlivě jednoduchá - změnit umístění pracovního místa.

Na vstupních recepcích je na ochranu pracovníků před proudícím chladným vzduchem a venkovním znečištěním nezbytná instalace dveřních vzduchových clon, nebo vybudování zádveří. Potom nejsou již vnitřní mikroklimatické podmínky závislé na četnosti a době otevření vstupních dveří.

Vlhkost vzduchu

Bývá problémem při ohřevu vzduchu bez jeho dovlhčení. Relativní vlhkost vzduchu v zimním období by neměla klesnout pod 20 %. To je již problematické prostředí, ve kterém dochází k vysychání sliznic, tedy ztrátě jejich obranyschopnosti organismu a následným zdravotním obtížím (nárůstu respiračních onemocnění). Vnímání vlhkosti a její optimální hodnoty ve vnitřním prostředí budov jsou na obr. 2.



Obr. 2: Vnímání vlhkosti vzduchu v závislosti na teplotě v místnosti

Jednoznačné požadavky na mikroklimatické požadavky na pracovištích - jako celoročně přípustné hodnoty jsou uvedeny v nařízení vlády č. 68/2010 Sb., kterým se mění nařízení vlády č. 361/2007 Sb., kterým se stanoví podmínky ochrany zdraví při práci -viz tab. 1.

Tab. 1: Celoročně přípustné mikroklimatické podmínky na administrativních pracovištích (odpovídá vykonávané činnosti, resp. energetickému výdeji M, pro třídu práce I)

Třída práce	energetický výdej M (W.m ⁻²)	Operativní teplota t _o (°C) Výsledná teplota kulového teploměru t _g (°C)		rychlost proudění vzduchu v _a (m.s ⁻¹)	relativní vlhkost vzduchu rh (%)
		t _{o min} nebo t _{g min}	t _{o max} nebo t _{g max}		
I	≤ 80	20	28	0,1 až 0,2	30 až 70

Problémy s teplotami na administrativních pracovištích jsou v letních měsících častým důvodem ke stížnostem.

Pokud se při našich měřeních pohybovaly venkovní teploty vzduchu nad 28 °C, setkali jsme se uvnitř budov na jednotlivých pracovištích (vícepodlažní administrativní budovy s jednoduchou i zdvojenou prosklenou fasádou) s následujícími extrémy:

- Pracoviště s přirozeným větráním - teploty přesahující 30 °C (teplota před fasádou 50 °C)
- Nuceně větraná pracoviště - teploty kolem 30 °C
- Klimatizovaná pracoviště - teploty kolem 28 °C

Opravdu vysoké teploty jsou problém, který je technicky řešitelný (otázkou je ale ekonomika provozu technického řešení). My se ale v uvedených typech budov setkáváme při řešení kvality prostředí na pracovišti i s problémem, který spíše souvisí s lidskou psychikou.

Zaměstnanci tvrdí, že při zastíněných neotevíratelných oknech nemohou na pracovišti dýchat, mají nedostatek vzduchu o nevyhovující teplotě - přestože klimatizační jednotka zajišťuje cca pěti až osmi násobnou výměnu vzduchu a mikroklimatické podmínky odpovídající limitům v předpisech. Jediným řešením je pak umožnit lidem aby si „mohli otočit knoflíkem termoregulátoru“, vysvětlit jim dobu setrvačnosti systému a zajistit jim pocit, že si prostředí mohou přizpůsobit svým požadavkům.

Přibývá administrativních budov, jejichž obvodový plášť z velké části tvoří sklo. Často jsou oceňovány jako architektonické skvosty. Podívejme se však na prostory v těchto budovách z pohledu pracovníka, který sedí u počítače. Z hlediska osvětlení se jedná o místa s dlouhodobým pobytem s náročnou zrakovou činností. Jaké jsou požadavky na osvětlení, stanovuje Nařízení vlády 361/2007 Sb., které se odvolává na technické normy. Jsou zde stanoveny i podmínky ochrany zdraví při práci se zobrazovacími jednotkami. Normy také určují, co vše musí uvádět projektant.

Denní osvětlení v budovách s proskleným obvodovým pláštěm, příp. ještě střechou je vždy nutné řešit jako kompromis mezi potřebou denního světla a energetickými nároky na úpravu tepelného stavu prostředí - chlazení v létě jako eliminaci nadměrných tepelných zisků ze sluneční radiace a vytápění v zimě s ohledem na velké chladné prosklené plochy.

Požadavky na osvětlení kanceláře podle platné legislativy

Základní požadavky na osvětlení kanceláře obsahuje **Nařízení vlády 68/2010 Sb., kterým se mění NV 361/2007 Sb.**

Hlava II Bližší hygienické požadavky na osvětlení pracoviště § 45 Osvětlení pracoviště

1...Osvětlení pracoviště a spojovacích cest mezi jednotlivými pracovišti denním, umělým nebo sdruženým osvětlením musí odpovídat náročnosti vykonávané práce na zrakovou činnost a ochranu zdraví v souladu s normovými hodnotami a požadavky. Normovou hodnotou se rozumí konkrétní hodnota denního, umělého nebo sdruženého osvětlení obsažená v příslušné české technické normě upravující hodnoty denního, sdruženého a umělého osvětlení. Normovým požadavkem se rozumí technický požadavek obsažený v příslušné české technické normě (ČSN 73 0580 Denní osvětlení budov, ČSN 36 0020 Sdružené osvětlení a ČSN EN 12464-1 Světlo a osvětlení - osvětlení pracovních prostorů-Část 1: Vnitřní pracovní prostory). Osvětlení nesmí být příčinou oslňování.

2. Pracoviště, které je osvětlováno denním osvětlením, pokud na něm může docházet ke zvýšené tepelné zátěži nebo oslňení, musí mít osvětlovací otvory vybaveny clonicími zařízeními umožňujícími regulaci přímého slunečního záření. U bočního osvětlovacího otvoru na pracovišti umožňujícího pohled ven nesmí jejich výplně tomu bránit.

Hlava IV Podmínky ochrany zdraví při práci se zobrazovacími jednotkami § 50 - Bližší hygienické požadavky na zobrazovací jednotky

1. ... obrazovka: Jas a kontrast mezi znaky a pozadím na obrazovce musí být snadno regulovatelný i vzhledem k okolním podmínkám. Obrazovka musí svou konstrukcí umožňovat posunutí, natáčení a naklání podle potřeby zaměstnance. Musí být umístěna tak, aby na ní nevznikaly reflexy svítidel či z jiných zdrojů jako jsou okenní otvory, světlé stěny, nábytek a podobně. Vzdálenost obrazovky od očí pro obvyklou kancelářskou práci nesmí být menší než 400 mm, jas obrazovky nesmí být menší než 35 cd/m².

2... Povrch klávesnice musí být matný, aby na něm nevznikaly reflexy. Písmena, číslice, a symboly na tlačítkách musí být dobře čitelné a kontrastní proti pozadí.

3...Deska pracovního stolu a dalšího zařízení musí být matná, aby na ní nevznikaly reflexy.

Další požadavky obsahuje norma pro umělé osvětlení **ČSN EN 12464-1 Světlo a osvětlení - Osvětlení pracovních prostorů** - Část 1: Vnitřní pracovní prostory

Hlavní parametry

1. Rozložení jasu L (kap. 4.2)

Rozložení jasů v zorném poli určuje úroveň adaptace zraku, která ovlivňuje viditelnost úkolu.

Velmi dobře vyvážený adaptační jas je potřebný ke zvětšení:

- zrakové ostrosti (ostrosti vidění)
- kontrastní citlivosti (rozlišení malých poměrných rozdílů jasu)
- účinnosti zrakových funkcí

Rozložení jasu v zorném poli ovlivňuje také zrakovou pohodu. Z tohoto důvodu je nutné vyloučit:

- příliš velké jasy, jež mohou zvětšit oslnění,
- příliš velké kontrasty jasů, jež mohou způsobit únavu v důsledku trvalé readaptace zraku,
- příliš malé jasy a kontrasty jasů, jež vedou k monotónnímu nestimulujícímu pracovnímu prostředí

Účelný rozsah činitelů odrazu hlavních povrchů místnosti:

povrch	odraznost
strop	0,6 až 0,9
stěny	0,3 až 0,8
pracovní roviny	0,2 až 0,6
podlaha	0,1 až 0,5

Národní příloha NA (Změna Z1) - informativní

Doporučený optimální poměr jasu místa zrakového úkolu k jasu bezprostředního okolí úkolu a k jasu pozadí (prostoru) je poměr 10 : 4 : 3.

2. a) Osvětlenost - \bar{E}_m (kap. 4.3, 4.3.1)

Udržovaná osvětlenost \bar{E}_m (kap. 3.4) je hodnota průměrné osvětlenosti na daném povrchu, pod kterou nesmí osvětlenost poklesnout (kdy již má být provedena údržba).

Hodnoty uvedené (v kap. 5) jsou udržované osvětlenosti v místech zrakového úkolu na srovnávací rovině, jež může být vodorovná (horizontální), svislá (vertikální) nebo nakloněná. Dle tabulek **ČSN EN 12464-1** je v místě zrakového úkolu doporučena průměrná osvětlenost:

tab. 5.3 Administrativní prostory (**Kanceláře**)

- **psaní, psaní na stroji, čtení, zpracování dat - 500 lx** (referenční číslo 3.2)

Průměrná osvětlenost v každém místě zrakového úkolu (*na pracovním místě*) se nesmí zmenšit pod tuto hodnotu bez ohledu na stáří a stav osvětlovací soustavy. Udržované osvětlenosti zajišťují potřebnou zrakovou pohodu a zrakový výkon. Tyto hodnoty platí pro normální zrak. Hodnota osvětlenosti může být upřesněna (zvýšena) nejméně o jeden stupeň řady osvětleností, liší-li se zrakové podmínky od normálních předpokladů (vyhovujícího denního osvětlení).

Národní příloha NA (Změna 1) - informativní

pozn.: Vyhovující denní osvětlení v prostorech s trvalým pobytem osob je doporučeno požadovat za nutný předpoklad dobrých zrakových podmínek.

V prostorách s trvalým pobytem osob (dle NV 68/2010 Sb. kterým se mění NV 361/2007 Sb. **trvalá práce** - práce vykonávaná po dobu delší než 4 hod. za směnu) **nesmí být udržovaná osvětlenost menší než 200 lx** (za normálních zrakových podmínek).

Udržované osvětlenosti zajišťují potřebnou zrakovou pohodu a zrakový výkon.

b) Osvětlenost bezprostředního okolí zrakového úkolu - \bar{E}_m (ČSN EN 12464-1 kap. 4.3.2)

Osvětlenost bezprostředního okolí úkolu musí souviset s osvětlením místa zrakového úkolu a má poskytovat vyvážené rozložení jasů v zorném poli.

Velké prostorové změny osvětleností v okolí úkolu mohou způsobit namáhání zraku a zrakovou nepohodu.

Osvětlenost bezprostředního okolí zrakového úkolu může být menší než osvětlenost úkolu, avšak nesmí být menší než hodnoty uvedené v **tabulce 1**.

Osvětlenost úkolu [lx]	Osvětlenost bezprostředního okolí úkolu [lx]
≥ 750	500
500	300
300	200
≤ 200	$E_{\text{úkolu}}$
rovnoměrnost osvětlení: ≥ 0,7	rovnoměrnost osvětlení: ≥ 0,5

c) Rovnoměrnost osvětlení - r (kap. 4.3.3)

Rovnoměrnost osvětlení r je poměr minimální a průměrné osvětlenosti na daném povrchu. Osvětlení místa zrakového úkolu musí být co nejrovnoměrnější. Rovnoměrnost osvětlení místa úkolu a bezprostředního okolí úkolu nesmí být menší než hodnoty uvedené v tabulce 1.

Národní příloha NA (Změna 1) - informativní

Doporučuje se však dodržet minimální hodnota rovnoměrnosti osvětlení prostoru 0,3. Splnění tohoto požadavku pomůže zamezit vytvoření velkých kontrastů jasů v prostoru.

Doporučuje se, aby poměr průměrných osvětleností při celkovém nebo odstupňovaném osvětlení mezi sousedními propojenými prostory (např. dveřmi) nebyl menší než 1:5 (0,2).

3. Oslnění (kap. 4.4)

Oslnění je způsobeno povrchy s velkým jasem v zorném poli a může být pocíťováno buď jako rušivé nebo jako omezující oslnění. Oslnění způsobené odrazy v zrcadlových površích je běžně chápáno jako závojevé oslnění nebo jako oslnění odrazem. Omezení oslnění je důležité pro vyvarování se chyb, únavy a úrazů.

Ve vnitřních pracovních prostorech může být oslnění způsobeno přímo svítidly a okny s velkým jasem.

Tomu lze zabránit například vhodným cloněním světelných zdrojů nebo zastíněním oken žaluziemi.

Dle ČSN EN 12464-1 je pro činnosti stanovena mezní hodnota omezení oslnění UGR_L

- psaní, psaní na stroji, čtení, zpracování dat (referenční číslo 3.2) $UGR_L - 19$

4. Podání tvaru (kap. 4.5.1)

Osvětlení nesmí být příliš směrové, nesmí vytvářet ostré stíny ani se nesmí podání tvaru zcela ztratit.

5. Hlediska barev

a) Barevný tón světla (kap. 4.6.1)

tabulka 3

Barevný tón světla	Náhradní teplota chromatičnosti T_{cp} [K]
teple bílý	do 3 300
neutrálně bílý	3 300 až 5 300
chladně bílý	nad 5 300

b) Podání barev (kap. 4.6.2)

Je důležité, aby barvy předmětů a lidské pokožky v prostředí byly podány přirozeně.

Index barevného podání R_a

Minimální hodnoty všeobecného indexu podání barev jsou uvedeny v tab. ČSN EN 12464-1: tab. 5.3 Administrativní prostory (Kanceláře)

- psaní, psaní na stroji, čtení, zpracování dat (referenční číslo 3.2) $R_a \geq 80$

Světelné zdroje s indexem podání barev menším než 80 nesmí být použity ve vnitřních prostorech, v nichž osoby pracují nebo pobývají dlouhodobě.

6. Míhání a stroboskopické jevy (kap. 4.7)

Míhání působí rušivě a může vyvolat fyziologické projevy jako bolest hlavy.

Osvětlovací soustavy musí být navrženy tak, aby nevznikala míhání ani stroboskopické jevy.

7. Udržovací činitel (kap. 4.8)

Doporučená osvětlenost pro každý zrakový úkol se uvádí jako udržovaná osvětlenost. Udržovací činitel závisí na provozních charakteristikách světelných zdrojů a předřadníků, svítidel, prostředí a na plánu údržby.

Projektant musí:

- uvést udržovací činitel a přehled předpokladů přijatých při odvození jeho hodnoty,
- specifikovat osvětlovací zařízení vhodné pro užití v daném prostředí,
- připravit kompletní plán údržby, včetně intervalů výměny světelných zdrojů, čištění svítidel a místností a způsobů jeho provádění.

8. Energetická hlediska (kap. 4.9)

Osvětlovací soustava musí vyhovovat požadavkům na osvětlení daného prostoru bez plýtvání energií. Přesto je důležité nedělat kompromisy z hlediska vizuálního a jednoduše nezmenšovat spotřebu energie. To vyžaduje zvolit vhodnou osvětlovací soustavu, zařízení, řízení a využití dostupného denního světla.

9. Denní světlo (kap. 4.10)

Denní světlo může poskytovat úplné nebo částečné osvětlení pro zrakový úkol. Okna mohou poskytovat vizuální kontakt s okolním světem. Tomuto většina lidí dává přednost. V místnostech s bočními okny se poskytované světlo prudce zmenšuje se vzdáleností od oken. K zajištění požadovaného osvětlení na pracovních místech a k vyrovnání rozložení jasů v místnosti je nutné doplňkové osvětlení.

K omezení oslnění okny musí být použito stínění tam, kde je to možné.

10. Osvětlení pracovních míst - zobrazovací jednotky

Osvětlení pracovních míst musí vyhovovat všem úkolům na nich vykonávaných, např. čtení na displeji, tištěného textu, rukopisu a práce na klávesnici.

Zobrazovací jednotky a v některých případech i klávesnice vykazují odlesky, jež způsobují omezující a rušivé oslnění. Je proto nutné vybrat, rozmístit a uspořádat svítidla tak, aby se odstranily odlesky o velkém jasu.

Požadavky dle normy **ČSN 36 0020 Sdružené osvětlení**

4.1.1 Sdružené osvětlení při dlouhodobém působení není z hlediska vlivu na člověka rovnocenné v plném rozsahu dennímu osvětlení, ale je podstatně příznivější, než osvětlení pouze umělé.

4.2.1 Celkové sdružené osvětlení ve vnitřních prostorech nově navrhovaných staveb nebo v jejich funkčně vymezených částech se může použít pouze v odůvodněných případech...

Přitom se nenadřazují hlediska technická a ekonomická nad hlediska hygienická.

4.4.1 ... Průměrná hodnota činitele denní osvětlenosti 1% musí být splněna ve všech případech...

4.5.2 ...U udržovaných osvětleností 200 lx až 500 lx včetně se však navýší o jeden stupeň řady osvětleností podle 4.1 ČSN EN 12665:2003 (tj. u kanceláří z 500 lx na 750 lx).

4.7.2 Jasy svítidel se posuzují podle 4.4.1 ČSN EN 12464-1:2004.

4.7.3 Jasy osvětlovacích otvorů mají vyhovovat ČSN 73 0580-1.

Poznámka: Orientačně je možné považovat jasové poměry za vyhovující, pokud poměr jasu pozorovaného předmětu a průměrného jasu osvětlovacího otvoru při stavu oblohy (20 000 lx) nepřekročí pro třídu IV (běžné kanceláře) poměr jasů 1:80.

4.8.1 Sdružené osvětlení se má navrhovat tak, aby se co nej Hospodárněji využilo denního světla a aby se co nejméně muselo nahrazovat umělým světlem.

4.9 Zdroje doplňujícího umělého osvětlení

poznámka: Při hodnotách 200 lx až 750 lx doplňující umělé osvětlení se osvědčily světelné zdroje s T_{cp} v rozmezí 4 000 až 5 000 Kelvinů a R_a nejméně 80.

Požadavky dle normy **ČSN 73 0580-1 Denní osvětlení budov - část 1: Základní požadavky**
kap. 4.5.2

Denní osvětlení musí být navrženo tak, aby uživatelé vnitřních prostorů byli chráněni proti oslnění, a to jak při zatažené obloze, tak při jasné nebo polojasné obloze.

kap. 4.5.3

Vnitřní prostory budov se mají chránit před vnikáním přímého slunečního světla v těch případech, kde by mohlo zhoršovat zrakovou pohodu a oslňovat, zejména u činností třídy I až IV (běžná kancelář) podle tabulky. Kde se nevyžaduje proslunění...; u ostatních prostorů se může použít pevných nebo pohyblivých zařízení pro regulaci přímého slunečního světla.

kap. 4.5.4

Jas osvětlovacích otvorů při průhledu na oblohu nebo při ozáření sluncem nesmí být při běžném směru pohledu tak velký, aby způsoboval oslnění; přitom je vždy nutné brát ohled na úhel umístění osvětlovacích otvorů od obvyklého směru pohledu pozorovatele.

Při úhlu menším než 60° od obvyklého směru pohledu nemá poměr jasu pozorovaného předmětu a oblohy viděné oknem překročit hodnotu 1:200.

Pozn.: Při hodnocení přípustného jasu osvětlovacích otvorů je nutné vzít v úvahu, zda je směr pohledu omezen trvale jen na určitou část vnitřního prostoru, zda se často mění nebo zda je prakticky neomezený.

kap. 4.5.5

Pro vytvoření podmínek zrakové pohody mají být dodrženy tyto hranice poměrů průměrných jasů v zorném poli pozorovatele mezi pozorovaným předmětem a

- a) plochami bezprostředně obklopujícími pozorovaný předmět (blízké okolí) 1:1 až 3:1
- b) vzdálenými tmavými plochami 1:1 až 10:1
- c) vzdálenými světlými plochami 1:1 až 1:10

Přitom se předpokládá rozsah pozorovaného předmětu v kuželu se středovým úhlem do 10° od směru pohledu, pozadí od 10° do 60° a vzdálených ploch více než 60°.

kap 4.6.1

Pro povrchy vnitřních prostorů budov a jejich zařízení se používají nelesklé materiály a povrchové úpravy, aby nedocházelo k oslňování odrazem světla. Lesklých povrchů lze používat jen v odůvodněných případech a na takovém místě, kde nemohou způsobit oslnění.

Zvláště se musí zabránit oslnění odrazem světla od lesklých povrchů v dolní části zorného pole, na které je lidský zrak zvláště citlivý (např. lesklá pracovní plocha, lesklá podlaha apod.).

kap. 4.6.3

Hodnoty činitele odrazu světla hlavních povrchů vnitřních prostorů se navrhují v těchto mezích (v novém stavu)

- a) strop s činitelem odrazu světla 0,7
- b) stěny s činitelem odrazu světla 0,5
- c) plochy bezprostředně sousedící s osvětlovacími otvory (okenní příčle, rámy, parapety, pilíře, okenní stěny při bočním osvětlení...) s činitelem odrazu světla nejméně 0,7
- d) podlahy nebo podlahové krytiny s činitelem odrazu světla 0,3

Od těchto hodnot se lze odchýlit:

- a) jde-li o menší plochy nebo jejich části, které nemají vliv na osvětlení a zrakovou pohodu

- b) vyplývá-li návrh z funkčního nebo výtvarného záměru, nezhoršuje-li zrakovou pohodu a hospodárnost osvětlení a nezvyšuje-li energetickou náročnost budovy.

kap. 4.6.4

Kolorita povrchů se musí navrhovat také s ohledem na odražené světlo a podání barev. Ve vnitřním prostoru, kde záleží na barevném podání a na rozlišování barev, se nemá použít na větší plochy barevných odstínů, které mohou barevné podání nepříznivě ovlivnit (výrazné, syté barevné odstíny).

kap. 4.7.1

...posuzovat komplexně ... s cílem dosáhnout vyhovujících podmínek zrakové pohody prostředí co nejúsporněji a s co nejmenší celkovou spotřebou energií při realizaci i užívání budov.

kap. 4.7.5

...snadný přístup k ovládání, údržbě a čištění konstrukcí osvětlovacích otvorů.

kap. 4.9.1

4.9.1 Zařízení a prostředky pro regulaci denního osvětlení vnitřních prostorů budov se navrhují tak, aby co nejméně omezovaly denní osvětlení v době, kdy je ho nedostatek (při zatažené obloze v zimním období).

kap. 4.9.2 Vnitřní povrchy clon, žaluzií, rolet a závěsů mají mít činitel odrazu světla přibližně tak velký, jako okolní stěny.

Požadavky dle normy **ČSN 730580-4 Denní osvětlení budov** - část 4 Denní osvětlení průmyslových budov

kap. 3.3

Osvětlovací otvory v průmyslových budovách se navrhují tak, aby byly vnitřní prostory osvětleny v souladu s charakterem jejich využití. Zároveň musí být dostatečně chráněny proti nepříznivým účinkům přímého slunečního světla (oslňování, nadměrné kontrasty jasů) a současně přímého slunečního záření (nadměrná tepelná zátěž). Toho se docílí vhodnou volbou umístění, tvaru, sklonu a orientace osvětlovacích otvorů, popř. dalších opatření k regulaci podle 4.9 ČSN 73 0580-1. Možnosti řešení osvětlovacích otvorů a vhodného stupně ochrany pro různé druhy vnitřních prostorů a činností jsou uvedeny v tabulce 2.

tab. 2 - Ochrana vnitřních prostorů před přímým slunečním světlem a zářením

stupeň ochrany	druh činnosti	vyhovující řešení osvětlovacích otvorů
3	středně přesná práce (práce s počítači - třída zrakové činnosti IV)	okna orientovaná k SV a SZ

Venkovními žaluziemi se zvýší ochrana o 3 až 4 stupně (vnitřní žaluzie pouze o 1 až 2 stupně).

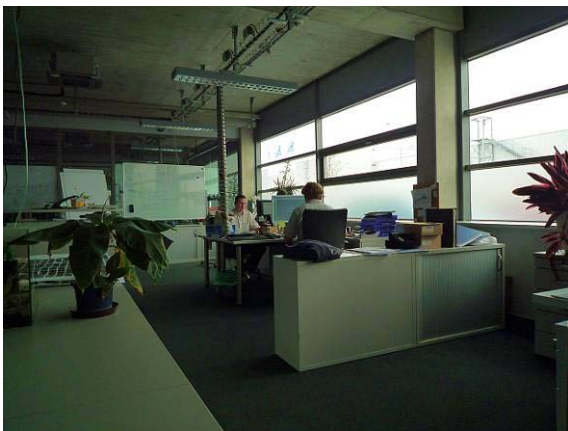
Posuzované pracoviště



Počítačové pracoviště během dne (2006)



Počítačové pracoviště bez denní složky osvětlení



Počítačové pracoviště s matnou dolní částí (2010)



Další nová pracoviště

Toto pracoviště s obrazovkou dle předpisů:

Dle NV 68/2010 Sb. kterým se mění NV 361/2007 Sb.: **Jas obrazovky nesmí být menší než 35 cd/m^2 - splněno.**

Světlopropouštějící stěny nesmí způsobovat přímé oslnění a odrazy na obrazovkách. Okna musí být vybavená regulovatelnými žaluziemi k tlumení denního vnějšího světla - **nesplněno.**

Dle ČSN EN 12464-1: Doporučený optimální poměr jasů 10 : 4 : 3 - **nesplněno.**

Osvětlenost pracovních míst stolů - nízká.

Dle normy ČSN 730580-1

Při úhlu pohledu menším než 60° od obvyklého směru pohledu nemá poměr jasu pozorovaného předmětu a oblohy hodnotu 1 : 200.

- **splněno, avšak v našem případě osvětlovací otvor (= celá stěna) spadá do zorného pole pracovníka**

poměrů průměrných jasů v zorném poli pozorovatele mezi pozorovaným předmětem a

a) plochami bezprostředně jej obklopujícími (jeho pozadím) 1:1 až 3:1

ve skutečnosti (obrazovka : stěně - 1:22) - **nesplněno**

b) vzdálenými tmavými plochami 1:1 až 10:1 (ve dne nejsou)

c) vzdálenými světlými plochami 1:1 až 1:10

skutečně (obrazovka : obloze 1:35) - **nesplněno**

Z porovnání vyplývá, že toto pracoviště nespĺňuje požadavky platných předpisů. Budova byla, stejně jako mnoho podobných, zkolaudována a navíc získala ocenění stavba roku. Platí předpisy též pro architektky? Přestože došlo již ke druhé výměně majitelů této budovy,

problémy na pracovištích přetrvávají. Nedodržení předpisů již v projektu se nese s každou stavbou dále.

Použitá literatura:

ČSN EN ISO 7730 - Ergonomie tepelného prostředí - Analytické stanovení a interpretace tepelného komfortu pomocí výpočtu ukazatelů PMV a PPD a kritéria místního tepelného komfortu

Nařízení vlády 68/2010 Sb. kterým se mění NV 361/2007 Sb.

ČSN 12464-1 Světlo a osvětlení - Osvětlení pracovních prostorů - část 1: Vnitřní pracovní prostory (3/2004) + změna Z1 (národní příloha 5/2005)

ČSN 36 0020 Sdružené osvětlení (2/2007)

ČSN 73 0580-1 Denní osvětlení budov - část základní požadavky (6/2007)

ČSN 73 0580-4 Denní osvětlení budov - ČÁST 4: Denní osvětlení průmyslových budov (9/1994)

Power solutions for emergency lighting of tunnels, underpasses and ecoduct.

Abstract. In this paper, one of possibilities of an independent power supply emergency lighting of tunnels. Power should be provide by a combination of renewable resource (photovoltaic panels, wind power). This paper aims to estimate the investment costs of such a project and compare them with commonly used UPS (genset). Concrete concept for a hybrid system will be implemented for Klimkovice tunnel.

Keywords: tunnel, emergency lighting, solar power station, wind power station, hybrid power source, energy balance

Introduction

Renewable energy resources have passed expansion not only in the Czech Republic but also around the world. Many companies deal with their development and improvement, they also try to use them in various applications. Generation electricity based on wind energy or solar radiation is very ecological, it is modern and economical advantageous too in the last time. Whether it is true is the task of this article, which is going to focus on once of the many areas of possible applications of these resources, especially their use like the emergency escape lighting of tunnels and underpasses.

The need of artificial lighting in tunnels depends on its length and sinuosity. According to these parameters we divide tunnels to:

- shorts (lighting depends on the visibility through the tunnel and sinuosity),
- optically longs (especially shorter tunnels, through them is not seen),
- geometrically longs (always require artificial lighting).

For long tunnels there are several types of electrical equipment, which can be divided according to type designation:

- switchboards power fan drive,
- switchboards accommodative lighting,
- switchboards transit lighting,
- switchboards emergency lighting,
- switchboards UPS power supply.

Energetic system of most tunnels is supplied by electricity energy of two independent resources - two independent substations. The control system provides function of automatic connection of UPS. His purpose in the case of power failure lighting system is to provide backup of the system, so to road users is given sufficient time to vacate the tunnel for the reduced rate transit. One possibility of a backup system is using hybrid power supply from renewable sources of energy that will recharge batteries providing emergency state and in their full charging, then directly supply power to the grid.

Statistical data on consumption

For a particular design is chosen Klimkovice tunnel (see Fig.1.) near Ostrava, which has a length of 1088 meters and was put into operation in 2008. According to the recommendation should be installed in each tunnel tube lighting, which in case of fire, leads persons to the nearest escape exit, it is called emergency escape lighting. It is used for lighting a fire escape routes in the tunnel. This emergency lighting in this case consists of 12W diode lights embedded in the holes in the lining on both sides of the tunnel tubes and serves as an indication and alarm function, as shown in Fig. 1st. Emergency lighting must correspond to prescribed values by TP98/2004 $E_m = 2lx$. For using of LED technology speaks almost unlimited life of lamps and minimum consumption in comparison with high light output.

Fig.1. – Klimkovice tunnel [3]



Because of the potential smoke of upper area of the tunnel are these lights, in regard to illuminate the sidewalk, as escape routes, located 0,9 meters

above the sidewalks. Pitch lights emergency escape lighting is 12 meters. Furthermore, these lights for emergency escape lighting SOS boxes are located in the building walls at the entrances to cross passages, where higher illuminance $E_m = 5lx$ is required.



Fig.2. – Example of LED tunnel exit emergency lighting [4]

Such lighting must be supplied from an independent, uninterruptible power supply power energy, for example diesel generator, and emergency lighting must be in compliance with ČSN monthly checked by function test and conducted operation log of these tests. The minimum period of advance work resources must be 120 minutes. For Klimkovice tunnel is used of 368 lightings, which together makes an installed power 4,42kW (see Table 1.)

Table 1. Data on consumption of lighting Klimkovice tunnel

Total installed power lighting	275,25kW
Emergency escape lighting	4,42kW

Advantages of the hybrid system

In recent times becomes a major hit to build wind and solar power at different places and use it for various applications. Construction of renewable energy sources, however, slowly starting to run into problems associated with free capacities of electrical distribution networks, and difficulties in providing support services and problems with retrospective effect on the grid. Isolated island systems therefore appears to be a useful supplement to meet the limits for the share of renewables in electricity production by the EU directives and without the above mentioned negative effects on the electricity grid. The production limits set for the Czech Republic has achieved the end of 2010 eight percents of total electricity production in mid-2009 the share of renewable energy production a little over six and half percents.

Installed capacity of island systems, ranging from hundreds of watts to megawatts units. It is used to power appliances in cases where for various reasons difficult to dig and ask and electrical connection to connect devices to the grid. It is necessary to supply the outlying residential buildings, meteorological stations and tunnels in the very remote mountain ranges.

It is very important to choose the optimal renewable resource with regard to geomorphological and weather conditions of the site. As the optimal solution, therefore, seems a combination of wind and solar power. The advantage of this hybrid system is the mutual substitution of renewables such a way that in the winter, when the intensity of solar radiation and therefore lower, photovoltaic panels supply lower amounts of electricity, wind velocity reaches higher values and thus electrical energy is distributed mainly from wind power. On the other hand, in summer the situation is completely reversed, the intensity of solar radiation is higher and so the most of the electricity is generated in photovoltaic panels. Thanks to such mutual assistance of both sources may not be the final system too big, as it would have to be in the case of using only one source.

Analysis of the hybrid system

We will base on the installed power of 4,42kW emergency exit lighting. The consumption of lighting for the necessary period of 120 minutes is 8840Wh. Luminaires should be powered via UPS, so that was in operation during power failure of energy, or in case of fire. Power lights is on its own source voltage 24V, which is located outside of the lamp in a separate box. The performance of this source must be sized according to the quantity and wattage fixtures involved. For these voltages are sufficient to four gel, maintenance-free batteries series-parallel actuated. The capacity of each is 200Ah 12V with output voltage. Total capacity UPS for emergency escape lighting will therefore 400Ah.

This set of batteries will be supplied from the aforementioned combination of renewable resources, consisting of photovoltaic panels and wind power. If we are considering wind power utilization of twenty percents is sufficient to our pursuit of 20kW, with photovoltaic panels is a factor in the use of only about eight percents because we are considering the installed capacity of panels 6kWp. The type of solar panels depends on where the system will be implemented, for sunny areas are better suited monocrystalline panels and for areas with diffuse radiation are preferred polycrystalline technology, which is in the calculation and design under consideration. The system is designed so that when are fully charged batteries supplies the energy and current-day operations of emergency lighting exit. The proposal also includes elements required to regulate power from renewable resources and facilities for the modification of parameters such as power rectifier and inverter. The following table (see Table 2.) is a rough estimate of costs of the entire system.

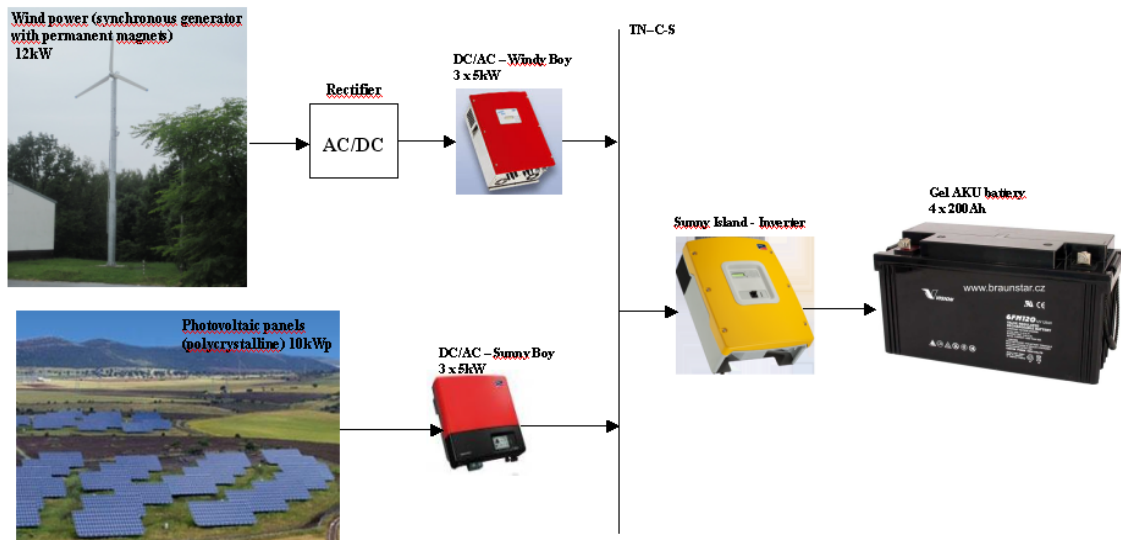


Fig.3. – Schema diagram of a hybrid system

Table 2. Rough estimate of investment costs of a hybrid system

The various components of the system	Parameters	Valuation	Number of Units	Total
AKU -gel batteries	12V/200Ah	12 000 CZK	4	48 000 CZK
Photovoltaic panels	polycrystalline, 210Wp	13 000 CZK	48	624 000 CZK
Wind power	12kW	1 200 000 CZK	1	1 200 000 CZK
Inverters	6 x 5kW	65 000 CZK	6	390 000 CZK
Rectifier	12kW	70 000 CZK	1	70 000 CZK
Regulator	do 100kW	90 000 CZK	1	90 000 CZK
Rough estimate of the price of CZK 2,422 million				

Conclusion

The concept of hybrid systems is applicable wherever it is not commonly available distribution network, and where it would be very difficult to keep cable lines. For such an imaginary case, we simulated the proposal for a combined system for Klimkovice tunnel and back up of the emergency exit lighting. This tunnel is 1089 meters length and the total electricity consumption for lighting is very difficult for the possible implementation and using of a hybrid system. The final financial calculations would be almost a hundred times exceeded than the commonly used system for backup power in the form of diesel.

Combining renewable sources should have much better importance of the technical and financial terms for smaller buildings, in which installed power for lighting moves to 1kW. This means especially highway underpasses and upperbridges, ecoducts for animals and short tunnels, where the initial investment would be comparable to other alternative power options.

Acknowledgement

This article was created under project SP/201073, "Využití hybridních obnovitelných zdrojů elektrické energie"

References

[1] Mišák, S., Prokop, L.: Analysis of technical and economic parameters of hybrid systems. In 11th International Scientific Conference Electric Power Engineering 2010; (EPE 2010), 2010.

[2] Novák T., Mišák S., Sokanský, K.: Use of renewable energy to power lighting fixtures. In 11th International Scientific Conference Electric Power Engineering 2010; (EPE 2010), 2010.

[3] Available from WWW: <
<http://www.eltodo.cz/informacni-servis/fotogalerie/fotogalerie-doprava.html>>

[4] Available from WWW: <
<http://www.schreder.com/90-12-25-28/product/detail.aspx>>

Hybrid power system of public lighting in smaller villages.

Abstract. This article deals with the possibility of public lighting power from renewable resources, it means of a hybrid system consisting of solar panels and wind power. The factual data for dimensioning the system was obtained by extensive exploration of the state and consumption of public lighting in the villages of the Czech Republic. The article contains an economic reasoning and analysis of investment costs compared to cable distribution.

Keywords: public lighting, solar power station, wind power station, hybrid power source, energy balance

Introduction

During the realization of the SGS Project SP/201073 we have solved this year on the VSB-TU Ostrava, we implement a hybrid system using renewable energy sources (solar and wind power). These resources are applied to households with a defined power consumption. System consists of wind energy power 12kW and solar panels with capacity about 2kWp. Batteries are charging by the photovoltaic panels through the regulator.

Output of wind power is through the converter rectified into batteries, from which is continuously supplied simulated household during the time, according to its consumption. Based on this concept, we will try to apply the power of public lighting (hereafter PL) in small villages. The purpous is to modify the system so that can

supply electricity public lighting in small villages or remote areas without power.

Statistical data on consumption

The data about electrical energy consumed by public lighting were obtained by extensive exploration, in which were subpoenaed cities and towns of the Czech Republic with a query about consumption in their city. The date we received was statistically processed and evaluated and results for small and medium-sized villages are listed in Table 1. Details of which we will determine are the installed power of one light point (hereafter SM) and the average number of lighting points per hundred inhabitants.

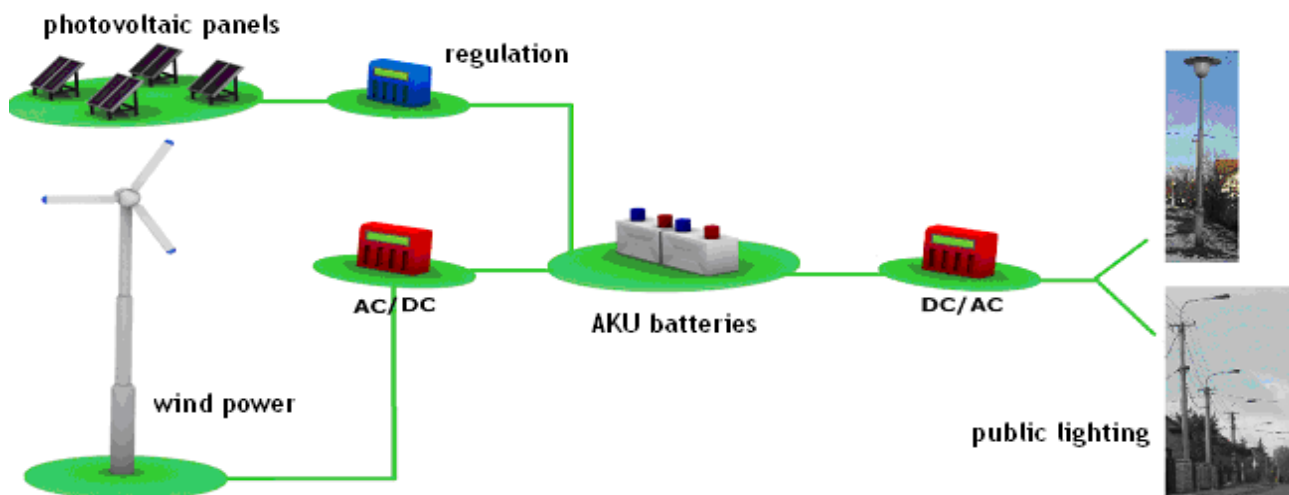


Fig.1. The concept of the proposed hybrid power system for public lighting

Table 1. Statistical data on electricity consumption of public lighting for small and medium-sized villages

size of the villages	power consumption to light point	power consumption per capita	installed power of light point	installed power per capita	number of lighting points per 100 inhabitant
	<i>kWh/SM</i>	<i>kWh/per capita</i>	<i>W/SM</i>	<i>W/per capita</i>	<i>SM/100 inhabitants</i>
< 500	329	57	78	14	17
500 - 1000	320	49	76	12	14
1000 - 5000	377	56	90	13	13

Of the values listed in Table 1. is expressed the average number of lighting points and the average installed power for public lighting. In Table 2. is then calculated the average installed power of village public lighting. For the smallest intended village is power 6,63 kW, and this value will be dimensioned to hybrid system.

Table 2. Calculated data for public lighting

size of the villages	number of lighting points per 100 inhabitant	average number of light point	average installed power PL of village
-	SM/100 inhabitants	ks	kW
< 500	17	85	6,63
500 - 1000	14	140	10,64
1000 - 5000	13	650	58,5

Table 3. Parameters and the price of a hybrid system

The various components of the system	Parameters	Valuation	Number of Units	Total
AKU -gel batteries	12V/230Ah	11 000 CZK	88	1 232 000 CZK
Photovoltaic panels	polycrystalline, 210Wp	13 000 CZK	29	377 000 CZK
Wind power	30kW	1 800 000 CZK	1	1 800 000 CZK
Inverters	do 25kW	300 000 CZK	1	300 000 CZK
Rectifier	do 25kW	70 000 CZK	1	70 000 CZK
Regulator	na 6kW	50 000 CZK	3	150 000 CZK
Rough estimate of the price of CZK 3,929 million				

This system is used for illustrating the price costs of this kind of prototype and has function to explore whether is preferable to use a cable connection from the remote grid or need to build such a local island hybrid system. In both cases we expect that public lighting is newly built or will complete its reconstruction. The price of public lighting is not considered. Further there is the calculation and mutual comparison with a variant of remote connection and consumption of electrical energy to power 20 years, a life time of our hybrid system.

Proposal of a hybrid system to power public lighting the village

For using this system year round it must be designed to operate in winter months when the public lighting consumes electricity 16 hours a day. With regard to the possible realization and investment costs are for the calculation considered villages in which there lives 500 inhabitants or less. For this category of villages, the average installed power on light point is 78W, as we count 85 light points. So we obtain the installed power of public village lighting 6,63 kW. Power take-off from the rechargeable battery is designed for two nights during the winter without any charge from one or other renewable sources. The consumption for these two nights is 212kWh. During the summer demands for electricity are lower indeed, we consider the operation time only eight hours and a half consumption.

For making an idea there are compared different lengths of power connections with price of a hybrid system. The following table shows that the hybrid system is repayable under the conditions where the length of the power supply cable connections exceed 4 kms. The calculation considers a standard rates of electricity for public lighting for the year 2010, which are fixed during all 20 years.

Table 4. Parameters and prices of electrical supply

Parameters	Price
Price of cable CYKY 3x2,5	20 CZK/m
Excavation work	340 CZK/m
Electricity consumption for 20 years (for tariff C62d PL)	691400 CZK

Table 5. Prices of electrical connections for various distances

Route length	Price including payment of consumption for 20 years
500m	861 400 CZK
1000m	1 031 400 CZK
5000m	5 157 000 CZK
10000m	10 314 000 CZK

Conclusion

This article shows theoretical possibility of solution of a separate power supply system for public lighting. Compares two different ways to power the locality and supply it by electrical energy. It demonstrate rough estimate of the cost for construction of electrical supply and costs of building the island hybrid system. The result shows that if the connection length exceeds 4 kms, the investment costs of these projects are equal. But if we take the life of the hybrid system maximum 20 years and the life of cable connection maximum 40 years then we have to submit that building connection with a length of 4 kms is much better from the economic point of view. For connections with a distance longer than 8 kms is preferable to install a hybrid system of the island power system. This application can be used especially for inaccessible areas with such a terrain, which would be considerably more expensive excavation works with regard to soil type and very remote areas, it means remote parkings and highway rest areas, a mountain cottages, villages or farms.

Acknowledgement

This article was created under project SP/201073, "Využití hybridních obnovitelných zdrojů elektrické energie"

References

- [1] Mišák, S., Prokop, L.: Analýza technických a ekonomických parametrů hybridních systémů. In 11th International Scientific Conference Electric Power Engineering 2010; (EPE 2010), 2010.
- [2] Novák T., Mišák S., Sokanský, K.: Využití obnovitelných zdrojů energie k napájení svítidel veřejného osvětlení. In 11th International Scientific Conference Electric Power Engineering 2010; (EPE 2010), 2010.

Concept of application of variable lighting surface in vehicle signalling lamps

Abstract. Present regulations allow using vehicle signaling lamps with variable levels of intensity. It gives better contrast and visibility than one level intensity lamp. Regulation is made by proportional changes of lighting intensity of all particular light sources in lamp. This article describes idea of rear signaling lamp which is able to fluently change luminance and additionally size of lighting surface. It impacts on improvement of signal visibility and drivers visual performance.

Keywords: signaling lamps, luminance, contrast, imaging luminance meter.

Current legislative situation

Technical requirements and prescriptions for testing of lighting and light emitting equipment are given in the Regulations which are Addendums to the Agreement Concerning the Adoption of Uniform Conditions of Approval and Reciprocal Recognition of Approval for Motor Vehicle Equipment and Parts, adopted in Geneva on 20 March 1958. Almost all European countries and also several other are Contracting parties to the Agreement.

Photometric performance testing plays main role in the process of type approval as conducted according to Regulations concerning lighting equipment assessment.

Generally, requirements concerning illumination, given in luxes are to be verified when lighting devices such as headlamps are tested. When light signalling devices are taken into account such as position, stop or reversing lamps, luminous intensity requirements in candelas are to be met. Testing light sources such as filament lamps, gas discharge light sources or LED sources requires verification of luminous flux represented in lumens. Luminance expressed in candelas per square meter is to be measured when device for the illumination of rear registration plates is a subject of testing. Retroreflecting devices require measurements of Coefficient of Luminous Intensity (CIL) in millicandelas per lux.

The requirements concerning luminous intensities do not take into account the changing luminance performance of lamps. As it was mentioned above, the luminance is measured only for the device's illuminating of rear registration plates. There are no requirements for such a measurement for other devices. Since the discomfort of observation depends on the angle of observation, the luminance plays significant role when lamp is observed from relatively small distances. Such situations take place when driving in a crowdie streets of big cities. The results of research project [1] indicate the importance of taking into account the factor responsible for glare effects – the luminance of lamp. The measurements of luminance of rear lamps with stop lamps activated revealed that many lamps cause discomfort of observation (more than 1500 cd/m²) and some of them cause glare when luminances reach hundreds of thousands of candelas per sq. meter.

In the case of signalling lights which can be an object of variable luminous intensities variable intensity control means the device which automatically controls rear light signalling devices producing variable luminous intensities to assure the unvarying perception of their signals. The requirements described in Regulation No 7 are given below as a representative example of technical requirements.

Regulation No. 7 concerns front and rear position lamps and stop lamps [2] [3].

Lamps must be so constructed that apparent surface must conform to specifications so to be recognized as one lamp and in the case of a light-signalling device producing variable luminous intensities, its apparent surface may be variable.

In order to apply variable intensity, the requirements of Reg. No. 7 introduced light categories R2 (variable intensity rear position lamp, steady luminous intensity lamp – R1) and S2, S4 (variable intensity stop lamps equivalents of steady luminous intensity lamps S1 and S3). In case of failure of the variable intensity control of lamp category R2 emitting more than the maximum value of category R1 the requirements of steady luminous intensity of the respective category shall be fulfilled automatically. The same requirement concerns categories S2 and S4.

In the reference axis, the light emitted by device must be of not less than the minimum intensity and of not more than the maximum intensity specified in table 1.

As it can be seen from the table, for the lamps designed to operate variable intensity mode, maximum requirement is higher than for steady mode, in order to allow higher luminous intensity

Regulation No. 38 concerning rear fog lamps introduces two categories F1 steady and F2 variable luminous intensity lamps and also implies necessity of heat resistance test and limits the apparent surface in the direction of the reference axis to 140 cm² [4].

Table 1: Luminous intensity for R1, R2, S1, S2 lamps in reference axis [2]

	Minimum intensities [cd]	Maximum values in cd when used as		
		Single lamp	Lamp (single) marked "D"	Total for the assembly of two or more lamps
R1 (steady)	4	12	8.5	17
R2 (variable)	4	30	21	42
S1 (steady)	60	185	130	260
S2 (variable)	60	521	365	730
S3 (steady)	25	80	55	110
S3 (steady)	25	114	80	160

Other regulations containing requirements for light signalling devices: direction indicators (Reg. No. 6), reversing lamps (Reg. No. 23), parking lamps (Reg. No. 77) daytime running lamps (Reg. No. 87), side marker lamps (Reg. No. 91) do not contain provisions for variable luminous intensity. The Reg. No. 6 allows the measurements in

flashing mode (since direction indicators operate in this way). According to the Reg. No. 87 the area of the apparent surface in the direction of the axis of reference of the lamp shall be not less than 25 cm² and not more than 200 cm² [5]

Light signals perception

Luminance and background contrasts are of great significance, for physiological reasons, in the process of observing signalling lights. We are unable to recognize the details of a given object if it is not characterized by an appropriate ununiformity of luminance. This is why the sensitivity of the eye retina to the differences in luminance should be quite high, which takes place at the appropriate luminance levels. During a day, an eye is adapted to high and medium luminances and is capable of differentiating very small relative differences of luminance (contrast). With an adaptation to the low levels of luminance, taking place in the night conditions, an eye is capable of differentiating only much larger relative luminance differences. Hence conclusion, that at low levels of background luminance, relatively higher contrast should be used in order to compensate for this phenomenon (fig. 1).

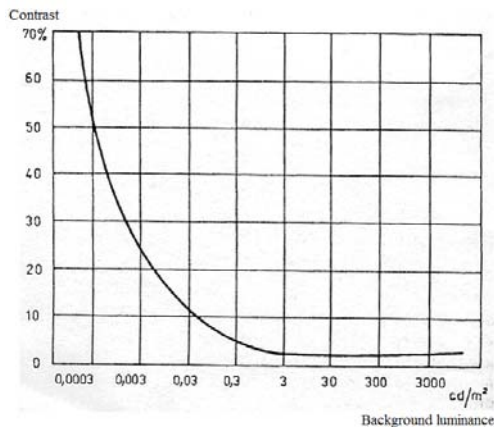


Fig. 1 Contrast differentiating curve as a function of the background luminance [6]

Additionally, the next essential factor in the seeing process is angular value of the detail observed. Increasing angular value of the detail, affects the improvement of its visibility to a greater extent than increase of luminance and contrast.

From that stems the necessity of subjective determining of the luminance contrast range for the selected characteristic background luminance levels (background luminance in a sunny day, cloudy day, at dusk, at night in the built up area, at night outside the built up area), as a function of the detail angular value (lamp's luminous area), ensuring effective observation of the detail and the comfort of vision. The phenomenon of glare is linked with the term - comfort of vision, occurring at the certain luminance levels or distributions, in the field of view, when the eye sight adaptation level is felt as a unpleasant condition or can be characterized by complete or partial loss of the ability to differentiate objects. Hence the discomfort glare (causing the unpleasant feeling without inseparable lowering of the ability to see), disability glare (diminishing the ability to see without inseparable causing of the unpleasant feeling) and blinding glare (making it impossible to observe objects). Thus, the lower limit of the established luminance contrast range will reflect the minimal contrast, while the upper, the discomfort glare.

Subjective method of evaluating discomfort glare relies on experimentally determining the borderline between

comfort and discomfort BCD as a function of the background (fig. 2):

$$L = c \cdot L_t^{0,44}$$

where

L – BCD luminance

c – constant dependent on the test conditions of the characteristics of the tested group of observers

L_t – background luminance

It is possible, in the similar manner, to determine the influence of the size of the glare source on the BCD luminance at the different levels of the background luminance (fig.3).

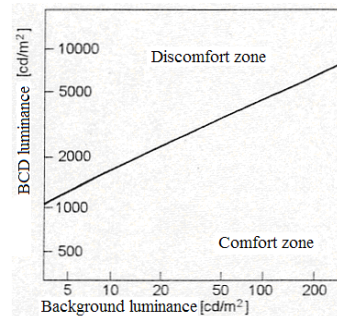


Fig. 2 Boundary luminance BCD as a function of the background luminance (to which the eye is adapter) – average background luminance values that occur indoors [7].

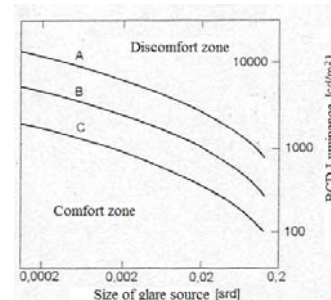


Fig. 3 Influence of the size of the glare source on the boundary luminance BCD at the three levels of the background luminance: A=343 cd/m², B=34,3 cd/m², C=3,43 cd/m², average background luminance values [7].

Signal lamps perception model

It is accepted, that the distance of the driver's eyes from the signal lights of the preceding vehicle, depends on the speed of the vehicles on the road. The analysis was conducted for the traffic in the built up area as well as on the stationary vehicles (e.g. stuck in the traffic jam, on the red lights, at the junction). Observation distance for each variant was determined using a principle of 3 seconds. This is a safety rule, which says, that the distance from a preceding vehicle should be equal to the distance covered by vehicle at a given speed during 3 seconds. Obtained distances are presented in a table 2.

The driver is observing signalling lights of the preceding vehicle in a direction close to the direction of viewing. The observation background is the rear of the vehicle, line of the horizon and the street surface. The background luminance measurements were conducted for the several typical traffic situations:

- at night on the road, lit up by the street lights,
- during a day with a cloudless sky,
- during a day with a clouded sky.

The distribution of the luminance measured in the real conditions is presented on the fig. 4. Because it is difficult to ascertain how strongly, each fragment of the observed area influences the eye sight adaptation level, it was accepted, for the purpose of the analysis, to use the average value from the area covering the vehicle being observed and its surroundings.

Table 2: Vehicle signaling lamps observation distance

Situation on the road	Observation distance [m]
Vehicles halted directly one after the other	3
Urban traffic 50km/h	42



Fig. 4. Background luminance in typical road situations: a) 1,5 cd/m²; b) 4600 cd/m²; c) 7000 cd/m² + additional glare from the reflections of the car bodies

Measuring luminance of the brake lights

The stand to measure luminance is presented on the fig. 5. For the purpose of the measurements, the matrix luminance meter was used. It is placed at the distance of $d=10\text{m}$ from the surface of the light lenses of the vehicle tested. The position of the matrix luminance meter with respect to the measured vehicle is corresponding to the position of the driver's eyes in relation to the preceding vehicle, during normal traffic. Optical axis of the camera coincides with the axis running through the centre of the driver's seat, at the height of the eyes. In order to lower the

amount of cases being considered it was accepted that the luminance of the surface of the lamp does not change as a function of observation angle and the measurement was made only for one distance of the camera to the vehicle. The tests were divided into two stages. In the first one, the background luminance was measured for the cases described earlier, while in the second, the luminance of the signal lights' lenses was taken for various vehicles. The subject of the analysis was the stop lights. The results of the luminance measurements and estimated light emitting surface of lamps are presented in the table 3.

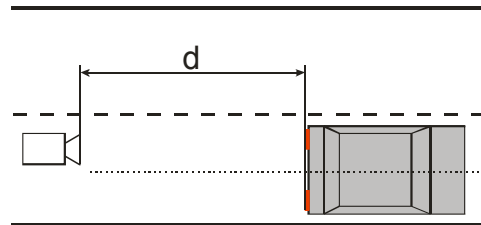


Fig. 5 Luminance measurement stand

Table 3 Measured luminance of the stop light lens

No.	L [cd/m ²]	S [cm ²]
1	30000	50
2	15000	262
3	5000	166
4	10000	48
5	8500	53
6	3000	46
7	14900	195
8	14800	89
9	3240	117
10	3300	60
11	38100	40
12	8900	64
13	24600	63
14	11000	82
15	3100	93

The tests were carried out for 15 different passenger cars. The age and condition of the cars varied. The first stage of the analysis was to establish the BCD curve for the background luminance corresponding to the observation of the vehicle in the night time, and the street lights illumination, during a day with the clear sky and during a day with a full cloud cover. The measured parameters of the brake lights were superimposed on the curve (fig. 6). The size of the glare source was determined based on the light emitting area of the lamp and the observation distance corresponding to the stationary vehicle and driving in the built up area. The lights, whose luminance lies above the BCD curve, cause the feeling of discomfort, thus the driver following the vehicle equipped with such lights may have problems with observing the situation on the road.

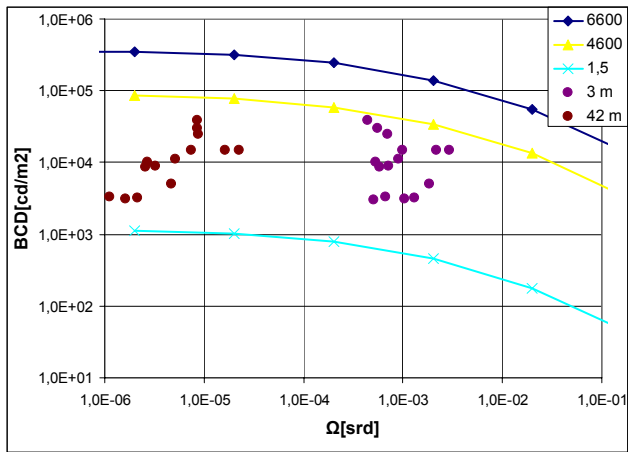


Fig. 6. BCD curve.
 1,5 – BCD curve for the background luminance 1,5 cd/m²,
 6600 – BCD curve for the background luminance 6600 cd/m²,
 4600 – BCD curve for the background luminance 4600 cd/m²,
 3 m – parameters of the measured brake lights converted to a
 observation distance of 3m
 42 m – parameters of the measured brake lights converted to a
 observation distance of 42 m

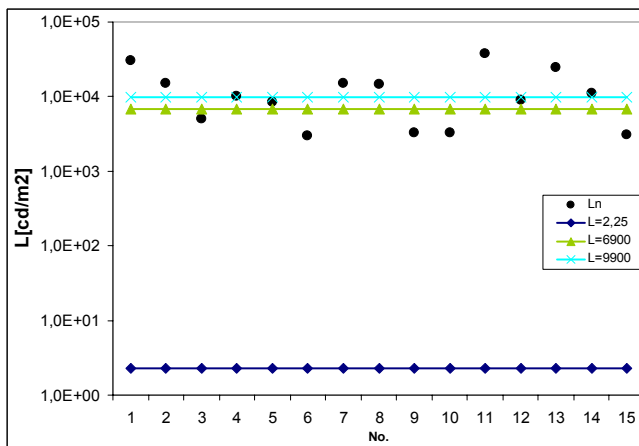


Fig. 7 Stop lights luminance of the tested vehicles.
 Ln – Stop light luminance of the n-tieth vehicle, 2,25 - 50% contrast
 above the background luminance 1,5 cd/m², 6900 - 50% contrast
 above the background luminance 4600 cd/m², 9900 - 50% contrast
 above the background luminance 6600 cd/m²

For the night time, all the lights tested lied above the BCD curve. Increasing the observation distance causes approaching the BCD curve, but the lights are still in the discomfort zone.

For the day time and cloudless sky, the points are decidedly below the BCD curve, irrespectively of the observation distance.

With a moderate background luminances (cloudy sky, dusk, autumn/winter season) and small observation distances some lights lie very close to the BCD curve. That means, that in particular cases, the feeling of discomfort, caused by too large luminance of the stop light lens, may occur also during a day.

Subsequently, the minimum luminance contrast was determined necessary, for the driver to be able to see activation of the stop light. The minimum contrast that the human is capable of observing, depending on conditions and the observer himself, is from several to few dozen percent above the background luminance. For the purpose of the publication it was assumed, that the contrast of 50 % in relation to the background will ensure sufficient visibility [8]. The results are presented on the fig. 7. It is important to

note that, in the case of the daylight and cloudless sky, apart from high average background luminance, there are also sun light reflections from the car body occurring, whose luminance is in the magnitude of a few hundreds of thousand of cd/m², and which cause glare and additionally make the observation of the light signals difficult.

In a night time, the contrast was sufficient for all the stop lights tested.

In a daytime and the cloudy sky only five, and for cloudless sky – seven of the stop lights lied below the line depicting 50% contrast in relation to the background. That means that the light may become unnoticed by the driver and subsequently lead to a dangerous situation on the road.

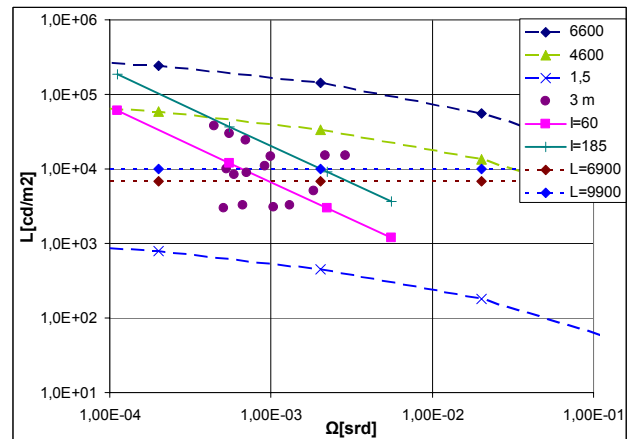


Fig. 8 determining optimal parameters for the stop lights.
 6600 – BCD curve for the background luminance 6600 cd/m²,
 4600 – BCD curve for the background luminance 4600 cd/m², 1,5 – BCD curve for the background luminance 1,5 cd/m², 3 m – parameters of the measured brake lights converted to a observation distance of 3m, I=60 – lens luminance for luminous intensity I_{const}=60cd for the light emitting surface between 10-500cm², I=185 – lens luminance for luminous intensity I_{const}=185cd for the light emitting surface between 10-500cm², L=6600 – luminance for the contrast 50% above the background luminance L=4600 cd/m² (cloudy sky), L=9900 – luminance for the contrast 50% above the background luminance L=6600 cd/m² (cloudless sky)

Conclusions

Half of the signal lights tested did not ensure sufficient contrast in the daytime conditions. That means, that there might be problems with the perception of the signals emitted by such lights, which effectively can lead to dangerous situations on the road.

Luminance of the lights was strong enough, to cause in each case a feeling of discomfort during observations in a night time conditions. The further away from the BCD curve, the stronger the feeling of discomfort. In the extreme cases, the glare can take place, which disrupts driver's observations of the road.

Signal light must meet two contradictory requirements: be visible in a daytime (have a large luminance contrast in relation to the background) and at the same time, not cause glare at night (be contained in the comfort zone). The fig. 8 presents the requirements concerning comfort of vision, minimum contrast and, theoretical position of the lights, complying with minimum and maximum requirements for luminosity, determined according to Reg. No. 7 for the cat. S1 lights. Luminance was obtained assuming the light emitting surface being between 10 cm² and 500cm² and constant luminance I_{min}=60cd and I_{max}=185cd. It was proven, that simultaneous ensuring the comfort of vision in a night-time conditions and sufficient contrast, is impossible. The light should be as close as possible to the BCD curve,

for the night vision (1,5cm/m²) and at the same time be above the minimum luminance line for the day vision. Analysing the graph, it is possible to state, that the optimal stop light should have luminance equal to 60cd and the lens luminance of about 10000 cd/m², which corresponds to about 50cm² light emitting area.

In order to increase the luminance contrast in a day light conditions, it is possible to use S2 cat. lamp (with the variable luminous intensity).

LITERATURA

- [1] Żagan W., Targosiński T., Turek L.: "Podstawy teoretyczne i koncepcja techniczna nowatorskiego systemu kompleksowej diagnostyki oświetlenia pojazdów samochodowych." Research project: 9T12 C 017 19 (nr ITS 9017/PLE/00)
- [2] UN ECE Regulation No 7 "Uniform provisions concerning the approval of front and rear position (side) lamps, stop-lamps and end-outline marker lamps for power-driven vehicles and their trailers"
- [3] UN ECE Regulation No 48 "Uniform provisions concerning the approval of vehicles with regard to the installation of lighting and light-signalling devices"
- [4] UN ECE Regulation No 38 "Uniform provisions concerning the approval of rear fog lamps for power-driven vehicles and their trailers"
- [5] UN ECE Regulation No 87 "Uniform provisions concerning the approval of daytime running lamps for power-driven vehicles"
- [6] Bąk J., Pabiańczyk W. „Podstawy techniki świetlnej”, Politechnika Łódzka, 1994
- [7] Praca zbiorowa członków PKOśw SEP „Technika świetlna'98 - poradnik, informator”, 1998
- [8] Siva M., Schoettle B., Flannagan M. J., Minoda T., „Effectiveness of clear-lens turn signals in direct sunlight”, Report No. UMTRI-2005-19, The University of Michigan

Autor: dr inż. Wojciech Moćko, Instytut Transportu Samochodowego, ul. Jagiellońska 80, 03-301 Warszawa, e-mail: wojciech.moćko@its.waw.pl, tel.: (22) 811-32-31 do 39 w. 525

Approximation spectroradiometric data by fractional model

Abstract. In the paper results of approximation spectroradiometric data by fractional model are presented. Investigations of fractional parameters show that they are independently on the interval of lambda. By fractional model approximation we illustrate the theoretical approach for emission intensity model. For the development we use the fractional series model that comes from the similar model for energy.

Streszczenie. W pracy została dokonana analiza aproksymacji modelem potęgowym, z potęgą niecałkowitą, danych pochodzących z pomiaru spektrometrycznego. Model opisu z potęgą niecałkowitego rzędu wykazuje zbieżność z teoretycznym opisem zjawiska. Użyto modelu szeregu potęg niecałkowitego rzędu, który pochodzi z podobnego modelu dla zależności od energii. (**Aproksymacja modelem potęgowym ułamkowego rzędu rozkładu egzytancji widmowej mierzonego promieniowania świetlnego**)

Keywords: approximation, fractional model, spectroradiometric data.

Słowa kluczowe: aproksymacja, model potęgowy, pomiary spektrometryczne.

Introduction

In the paper we analyze the possibility of describing the spectroradiometric measured data. The question is what approximation method and what type of a mathematical model we can use. We analyze some privileged models. As a lineshape seems to be Gaussian we checked the goodness of fitting by that type of models. Moreover we take under consideration also the nature of optical properties of the emission intensity for an ideal LED, [1]. And after analysis of the theoretical description we propose the exact fractional power model that coincides with the theoretical assumptions.

We use the approximation, not interpolation [2]. Methods of interpolation or approximation is widely discusses in the literature, e.g. see [3]. However one can find the discussion of sensitivity analysis of regression.

All calculations are done in MATLAB 7.5.0 (R2007b). As the main criterion we take the minimalisation of the sum of squares of errors – SSE and the same time the maximization of the determination coefficient *R-square*. Such parameters we obtain directly working with *Curve Fitting Toolbox* in MATLAB program. We also point the important case like confidence intervals for parameters. They are given by 95% realization of confidence intervals. We do not make any revision of approximation general methods. Additionally one can find the description of methods and guide of used commands in Matlab in description of *Spline Toolbox 3* or in *Curve Fitting User's Guide*. Moreover some basic commands are explored in the text. For Polish readers we refer also [4,5,6].

Theoretical emission spectrum of an LED [1]

The physical mechanism by which semiconductor LEDs emit light is spontaneous recombination of electron-hole pairs and simultaneous emission of photons. The properties of spontaneous emission in LEDs are discussed in [1]. In our paper we only shortly describe the situation following this book. The emission intensity as a function of energy is proportional to the product of the joint density of states $\rho(E)$ and the distribution of carriers in the allowed bands. Moreover, according to [1], we have that

$$(1) \quad \rho(E) = \frac{1}{2\pi^2} \left(\frac{2m_r^*}{(h/2\pi)^2} \right)^{3/2} \sqrt{E - E_g},$$

where h is Planck's constant,

$$(2) \quad m_r^* = \frac{1}{m_e^*} + \frac{1}{m_h^*}$$

is the reduced mass for m_e^* and m_h^* being the electron and hole effective masses, E_g is the bandgap energy.

The distribution of carriers in the allowed bands is given by the Boltzman distribution, i.e.

$$(2) \quad f_B(E) \propto \exp\left(-\frac{E}{kT}\right).$$

Then the emission intensity is written as the propotion of mentioned multiplication of Eqs. (1) and (2).

$$(3) \quad I(E) \propto \sqrt{E - E_g} \exp\left(-\frac{E}{kT}\right).$$

In that case we easily see that $I(E)$ is the multiplication of power function of $E - E_g$ and exponential function for E . Then theoretical emission intensity of an LED as the function of E is presented in Fig. 1.

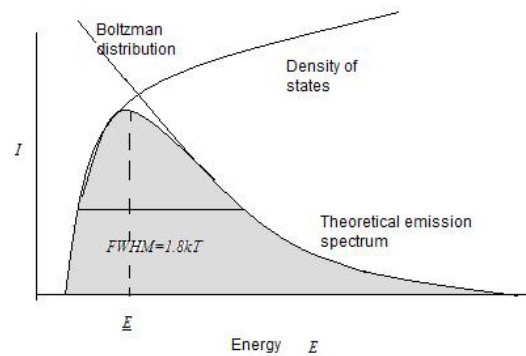


Fig. 1. Theoretical emission spectrum of an LED. The full width at half maximum (FWHM) of the emission line is $1.8kT$ [1].

The full width at half maximum at half maximum of the emission is:

$$(4) \quad \Delta E = FWHM = 1.8kT.$$

Let us notice that

$$(5) \quad E = \frac{hc}{\lambda},$$

where c is the light velocity and λ is wavelength then the relation given by Eqs. (3) can be interpreted as the function

of the inverse $\frac{1}{\lambda}$. It can be proved analytically proved that the relation remains to be the power type function of λ . Then we claim that the emission intensity given by Eqs. (3) we can rewrite as

$$(6) \quad I(\lambda) \propto \sqrt{\lambda} \sqrt{hc - \lambda E_g} \exp\left(-\frac{hc}{\lambda kT}\right).$$

The formula in Eqs. (6) it is very sensitive in using it in nonlinear approximation and it is dependent on E_g . However it can be investigated by using series expansion to two one-sided infinite series of type

$$(7) \quad \sum_{-\infty}^{+\infty} a_k (E_g - \lambda)^{\frac{k}{2}}$$

and

$$(8) \quad \sum_{-\infty}^{+\infty} a_k (\lambda - E_g)^{\frac{k}{2}}.$$

But from another side we can also think about two-sided approximation: one type of function up to the point of maximum and the next function on the right of maximum. And in our investigation we can use class of approximating function as comes from the model of the emission intensity given by formula in Eqs. (3)

Approximation for measurement LED data type

For a chosen measurement vector data type for LEDs firstly we consider general Gaussian model. And applying the curve fitting tool we get the following results for the model its goodness.

fittedmodel1 =

General model Gauss2:

$$fittedmodel1(x) = a1 * \exp(-((x-b1)/c1)^2) + a2 * \exp(-((x-b2)/c2)^2)$$

Coefficients (with 95% confidence bounds):

$$a1 = 0.4571 (0.4537, 0.4605)$$

$$b1 = 379.8 (379.7, 379.8)$$

$$c1 = 10.07 (9.98, 10.15)$$

$$a2 = 0.001245 (-0.001518, 0.004008)$$

$$b2 = 506.9 (479.2, 534.6)$$

$$c2 = 15.27 (-23.87, 54.41)$$

Goodness of fit:

$$SSE: 0.01614; \quad R\text{-square}: 0.9937$$

The plot of fitting curve is presented at the Fig. 2. (red line: fitting curve, blue points: measurement points). From the values of SSE and R-squared we see that the model is very well fitted to the data. What it is only with doubt are some points on the top excluded from the fitted curve.

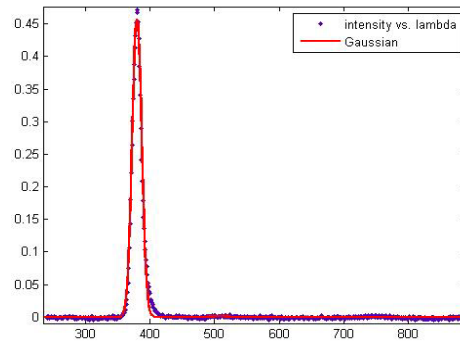


Fig.2. Gaussian approximation function for LEDs data type.

As the next step we reconsider the half right part of data and the left part of data.

General model Power1:

$$f(x) = a * x^b$$

Coefficients (with 95% confidence bounds):

$$a = 3.68e+131 (-2.311e+132, 3.047e+132)$$

$$b = -51.09 (-52.31, -49.86)$$

Goodness of fit:

$$SSE: 0.008155; \quad R\text{-square}: 0.9925$$

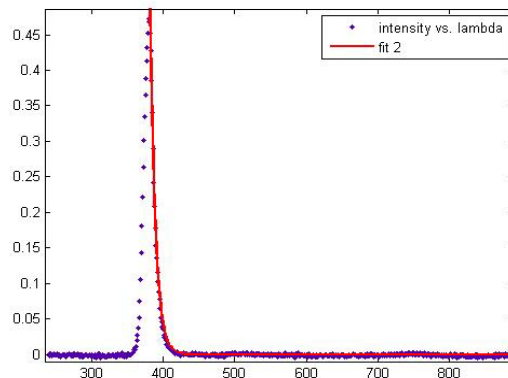


Fig. 3. Right part approximation function for LEDs data type for lambda > 380 nm.

General model:

$$f(x) = a * (385 - x)^c$$

Coefficients (with 95% confidence bounds):

$$a = 1.761e+004 (8614, 2.66e+004)$$

$$c = -4.294 (-4.486, -4.102)$$

Goodness of fit:

$$SSE: 0.003924; \quad R\text{-square}: 0.979$$

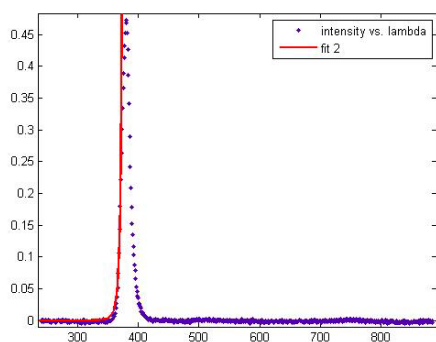


Fig.4. Left part approximation function for LEDs data type for $\lambda < 380$ nm.

We also show by the example that considered model is with agreement with measured data. For those purpose we produce two vectors by excluding procedure in Matlab. One for data with wavelengths longer than 380 nm and the second with wavelengths not longer than 380 nm. And we use the following models with calculated coefficients.

I) For wavelength greater than 380 we use the following model:

General model:

$$f(x) = a + b*(x-380)^{0.5} + c*(x-380)^{-0.5} + d*(x-380) + e*(x-380)^{3/2} + f*(x-380)^{-3/2}$$

Coefficients (with 95% confidence bounds):

$$\begin{aligned} a &= -0.7023 \quad (-0.7502, -0.6544) \\ b &= 0.08275 \quad (0.0741, 0.09141) \\ c &= 2.078 \quad (1.991, 2.166) \\ d &= -0.004044 \quad (-0.004656, -0.003432) \\ e &= 7.012e-005 \quad (5.561e-005, 8.463e-005) \\ f &= -1.004 \quad (-1.059, -0.9479) \end{aligned}$$

Goodness of fit:

SSE: 0.01205

R-square: 0.9889

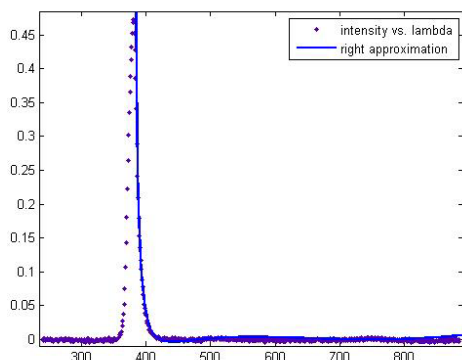


Fig.5. Right approximation by the sum of power functions: $f(x) = a + b*(x-380)^{0.5} + c*(x-380)^{-0.5} + d*(x-380) + e*(x-380)^{3/2} + f*(x-380)^{-3/2}$ for $\lambda > 380$ nm.

II) For wavelength less than 380 we use the following model

General model:

$$f(x) = a + b*(380-x)^{0.5} + c*(380-x)^{-0.5} + d*(380-x) + e*(380-x)^{3/2} + f*(380-x)^{-3/2}$$

Coefficients (with 95% confidence bounds):

$$\begin{aligned} a &= -0.7667 \quad (-1.529, -0.004206) \\ b &= 0.2014 \quad (0.06283, 0.34) \\ c &= 0.3815 \quad (-1.295, 2.058) \\ d &= -0.01943 \quad (-0.03078, -0.008083) \\ e &= 0.0006445 \quad (0.000298, 0.0009911) \end{aligned}$$

$$f = 10.97 \quad (7.721, 14.22)$$

Goodness of fit:

SSE: 0.001904

R-square: 0.9898

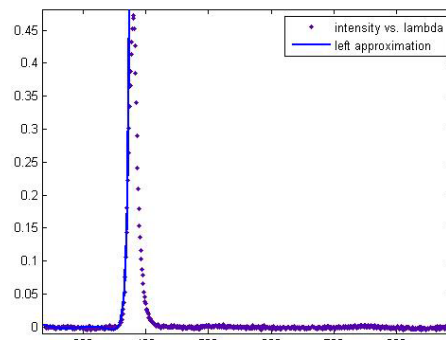


Fig.6. Left approximation by the sum of power functions: $f(x) = a + b*(380-x)^{0.5} + c*(380-x)^{-0.5} + d*(380-x) + e*(380-x)^{3/2} + f*(380-x)^{-3/2}$ for $\lambda < 380$ nm.

Conclusion

In all proposed models we get very high value of criterias. Considered data we can approximate by fractional power model by one-sided function because of its behaviour. Series given by Eqs. (7-8) we use by extracting few terms and check if the goodness of fit is high enough. It is worthy to notice that also the confidence intervals for coefficients are short. That is that because we have only one-sided description but it comes from the same analytic series hence also from the same analytic description. Moreover the model comes from the theoretical development given by the equation (6) for the emission intensity vs energy. Our goal was to check if from the model for energy we can introduce also model for the wavelength and check using measurement data the possibility of approximation by functions close to the model family function.

The work was done in Białystok University of Technology under grant S/WI/1/08.

Pracę wykonano w Politechnice Białostockiej w ramach działalności naukowej S/WI/1/08

REFERENCES

- [1] Schubert E. F., Light-Emitting Diodes, Cambridge University Press (2003)
- [2] Mozyrska D., Fryc I., Dokładność wyznaczania wartości pośrednich w zmierzonym rozkładzie egzytancji widmowej promieniowania optycznego a przyjęta metoda interpolacji i aproksymacji, *Przegląd Elektrotechniczny* R.85, nr 11 (2009)
- [3] Fortuna Z., Macukow B., Wąsowski J., Metody numeryczne, WNT, Warszawa, (1993)
- [4] Brzózka J., Dobroczyński L., Matlab. Środowisko obliczeń naukowo - technicznych, PWN, Warszawa, (2008)
- [5] Mrozek B., Mrozek Z., Matlab i Simulink, Helion, Gliwice, (2004)
- [6] Zalewski A., Cegieła R., Matlab-obliczenia numeryczne i ich zastosowania, Wydawnictwo Nakom, Poznań, (2000)

Authors: Dorota Mozyrska, PhD, Białystok University of Technology, Faculty of Computer Science, Department of Mathematics, Wiejska 45a, 15-351 Białystok, E-mail: d.mozyrska@pb.edu.pl; Irena Fryc, PhD, DSc, Białystok University of Technology, Faculty of Electrical Engineering, Department of Optical Radiation, Wiejska 45d, 15-351 Białystok, E-mail: fryc@pb.edu.pl;

HELVAR / 920 IMAGINE ROUTER

komerčně architektonické řízení osvětlení DALI / DMX / SDIM

V dnešní době i relativně skromné osvětlení kombinuje komerční a architektonické prvky. Například hotely s energeticky úsporným osvětlením ve veřejných prostorech a společenských místnostech nebo velké kancelářské budovy, kde je požadována kombinace energeticky úsporného vnitřního osvětlení s externím dekorativním plošným osvětlením průčelí.

Helvar 920 Imagine Router je svým provedením stavebnicový řídicí modul, jenž obsahuje to nejlepší, co lze v rámci komerčně architektonického řízení osvětlení nabídnout. Zároveň velmi zjednodušuje práci instalatérů, systémových integrátorů a designérů osvětlení.

920 Imagine Router rovněž umožňuje napojení systémů třetích stran, jako jsou systémy správy budov, vytápění, ventilace, klimatizace a audio/video techniky.

Řešení výrobku

920 Imagine Router poskytuje standardně řídicí protokoly DALI, DMX, Ethernet (TCP/IP) a Helvar S-DIM k řízení jakékoliv osvětlovací soustavy v kombinaci se systémy třetích stran s umístěním do rozváděče na DIN lištu (9 modulů).

Ovládání

V architektonických aplikacích systém umožňuje uživateli ovládat osvětlení a vytvořit tu správnou atmosféru. Pouhým stiskem tlačítka systém poskytne maximální uživatelský komfort a bezpečnost. V komerčních aplikacích je díky použití řízení konstantního osvětlení s detekcí přítomnosti, automatizovaným časovým rozvrhům plánovaných událostí nastavených v routeru, dosažena maximální úspora energie.

Monitorování

920 Imagine Router dokáže monitorovat a načíst stav systému, což je důležité pro systémy managementu budov (BMS). Úrovně osvětlení mohou být monitorovány a zároveň je lze využít jako indikátor spotřeby energie v systému. Umožňuje řídit systém nouzového osvětlení vybaveného jednotkami nouzového osvětlení DALI s možností nouzová svítidla monitorovat, testovat a to manuálně nebo pomocí přednastavených testů.

Základní charakteristika

- Univerzální napájení z napájecí sítě
- 2x DALI sběrnice s integrovaným napájením 2x250mA (max. 128 DALI komponent / router)
- Override port /vstup pro nastavení světelné úrovně zabezpečovacích systémů budov
- S-DIM port pro Helvar Imagine komponent
- DMX port (vstup / výstup)
- Ethernet port pro připojení ethernetové sítě
- OPC rozhraní pro systémy managementu budov (BMS)

Systém Imagine Router je založen na Ethernetové páteřní síti. Vytváří tak vyšší flexibilitu ve vývoji kreativních světelných řešení při propojení s komponenty BMS, MaR přístupnými po Ethernetové síti. Instalace je rovněž díky Ethernetu jednodušší, jelikož eliminuje nutnost použití drahých kabelů a nástrojů. Systém Ethernetové páteře může propojit až 100 ks Imagine Routerů v systému.

DMX / S-DIM protokol

DMX port může být využíván buď pro odesílání DMX údajů (např. řízení barevných LED í) nebo pro přijímání DMX povelů (např. z DMX řídicího panelu). S-DIM port poskytuje rychlou RS 485 sériovou komunikaci pomocí Helvar S-DIM protokolu s možností řízení 252 kanálů. Imagine Routery jsou propojeny a programovány pomocí standardního Ethernetového připojení 10/100 Mbit/s pomocí internetového protokolu (TCP/IP). 920 Imagine Router je napájen univerzálním síťovým vstupem (85-264 VAC, 45-65 Hz).

Integrace systému

Systém 920 Imagine Router je schválený a programovaný pomocí Helvar Designer software. Software může být navíc vybaven OPC serverem. OPC softwarové komunikační rozhraní nabízí otevřené zapojení pro interaktivní výměnu povelů a údajů mezi Helvar router systémem a externím hostitelským systémem jako je BMS, MaR (OPC klient). Přímý přístup jiných systémů do Imagine routeru je umožněn přes integrovaný přímý ethernetový vstup I/O (součást routeru). Imagine Router tak eliminuje potřebu softwarového rozhraní a zajišťuje přímé zapojení Imagine routeru do dalších ethernetových systémů např. BMS.

Síťová řešení

Helvar routery mohou být propojeny do jedné společné sítě a vytvořit tak rozsáhlý systém komerčně architektonického řízení osvětlení (kancelářské a hotelové komplexy, konferenční, obchodní centra).

Designer software

Helvar Designer je software kompatibilní s Microsoft®. Obsahuje inovativní nástroje sloužící k vytváření návrhů, testování a programování Helvar router systémů. Designer se skládá ze základního softwaru, volitelných přídatných softwarových modulů a USB klíče. Helvar do budoucna garantuje stálý vývoj tohoto softwaru a zajišťuje, že komponenty systému budou poskytovat odpovídající požadované systémové operace.

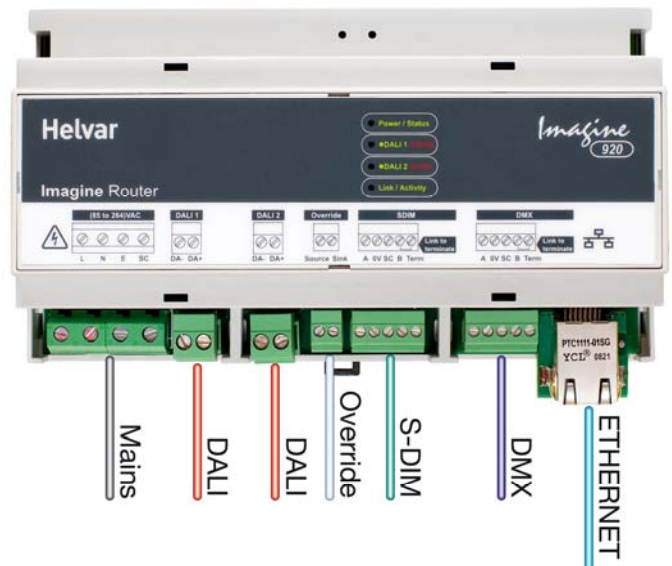
Projekční podpora

Volitelný modul softwaru (dostupný od verze 4.3) umožňuje importování AutoCAD náčrtů a grafických

zobrazení komponent Helvar do projektové dokumentace elektro.

Technické údaje

Síťový přívod: 85-264 VAC, 45 Hz - 65 Hz
Externí jistič: 4A
DALI napájení: 2x250 mA (součást routeru)
Okolní teplota: 0...40°C
Skladovací teplota: -10...70°C
Relativní vlhkost: 90% bez kondenzátu



HELVAR / 920 IMAGINE ROUTER

Využití obnovitelných zdrojů energie pro napájení svítidel veřejného osvětlení

Abstract. Public lighting in the Czech Republic consumes approximately 550 GWh/year annually. Decreasing of it can bring remarkable savings of electrical energy. One possibility of power consumption decreasing in public lighting systems is using renewable energy sources for their charging. Using these sources for public lighting in the certain areas can bring savings linked to investment cost decreasing because a cable line is not needed. There are the localities where the public lighting is far away from the main. This kind of the public lighting systems can work as the separate units and do not need a distribution network for their charging.

At VŠB – Technical University of Ostrava was made two separate units for public lighting with photovoltaic cell and wind powerplant in the frame of ČEZ company project „Zelená energie“. At this time these two units are being prepared for automatical data collecting. And now we need to know information about energy balance to be able to optimize every part of these units (it means – luminaire wattage, useable energy from photovoltaic cell and wind powerplant and battery capacity).

Keywords: Photovoltaic cell, Small wind powerplant, Public lighting, Bateria, Energy balance

Úvod

Veřejné osvětlení spotřebuje v ČR ročně cca 550 GWh. Snižování jeho spotřeby přináší výrazné úspory elektrické energie. Jedním z prostředků snižování energetické náročnosti osvětlovacích soustav veřejného osvětlení je i využití obnovitelných zdrojů pro jejich napájení. Využití těchto zdrojů může při napájení veřejného osvětlení ve vybraných lokalitách přinést také úspory související se snížením investičních nákladů na kabelové soubory. Jedná se o lokality, ve kterých jsou osvětlovací místa mimo dosah napájecích míst. Takto vzniklé osvětlovací soustavy mohou pracovat v ostrovním režimu a nepotřebují distribuční síť ke svému napájení.

Na Vysoké škole báňské byla v rámci projektu „Zelená energie“ Skupiny ČEZ – Osvětlová činnost v oblasti využití obnovitelných zdrojů energie pro napájení svítidel veřejného osvětlení“ instalována dvě nezávislá svítidla veřejného osvětlení s fotovoltaickou a větrnou elektrárnou za účelem jejich propagace.

V současné době se tyto dvě autonomní jednotky připravují k automatickému sběru dat tak, aby bylo možné optimalizovat jednotlivé prvky těchto jednotek, zejména z pohledu jejich energetické bilance.

Základní struktura nezávislého svítidla:

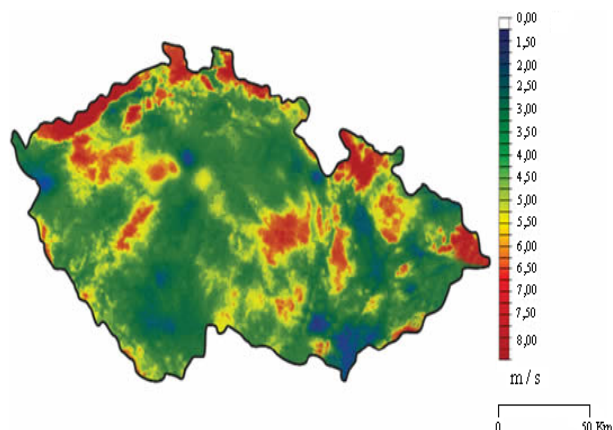
- obnovitelný zdroj elektrické energie – malá větrná elektrárna a fotovoltaický panel
- akumulace energie – akumulátorové baterie s regulátory a měniči
- spotřebič - svítidlo veřejného osvětlení
- speciální stožár veřejného osvětlení

Použití obnovitelných zdrojů energie záleží především na sladění požadavků spotřebiče s možnostmi akumulace energie a samozřejmě i s možnostmi zdrojů energie.

Článek je zaměřen zejména na možnosti a požadavky jednotlivých komponentů s cílem sestavení nezávislé jednotky zajišťující provoz svítidla veřejného osvětlení.

Podmínky pro využití větrné energie v ČR

V České republice nejsou v porovnání s Nizozemím či Německem tak ideální větrné podmínky, nicméně jsou zde lokality, které jsou pro výstavbu větrných elektráren vhodné (viz Obr. 1).



Obr.1 Větrný atlas ČR [3]

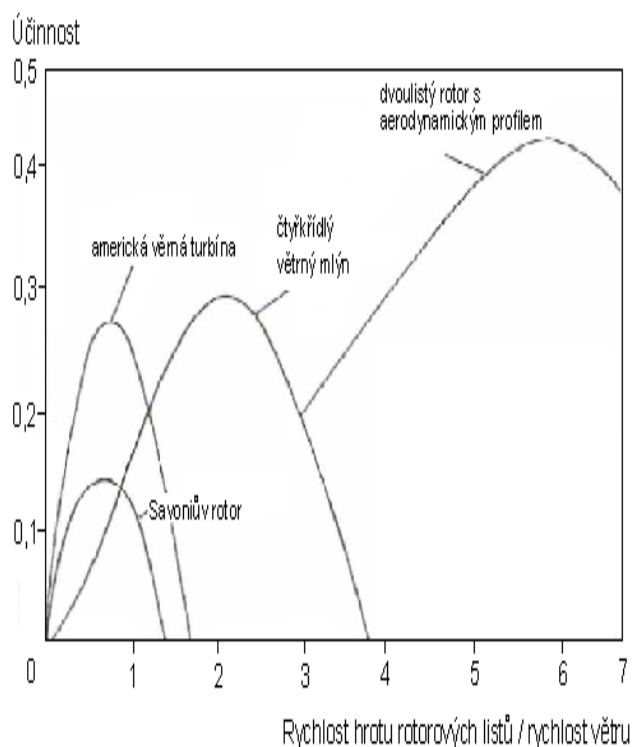
Pro výstavbu obnovitelných zdrojů energie v kombinaci s veřejným osvětlením, je ale nutné umísťovat malé větrné elektrárny na sloupech veřejného osvětlení právě tam, kde je toto veřejné osvětlení vyžadováno. Dalším specifickým provozem je i výška umístění malé větrné elektrárny nad zemí, která se může pohybovat mezi 6 – 8 m.

Dle technické specifikace malých větrných elektráren je možné očekávat, že budou schopny dodávat elektrickou energii do akumulátorů již od rychlostí větrů vyšších než 3 m/s. Pokud bychom ale chtěli využít pouze větrné elektrárny pro napájení autonomních svítidel VO, museli bychom se pohybovat se špičkovým výkonem větrné elektrárny nad 1 kWp (podle lokality umístění).

Umístění větrné elektrárny obdobného výkonu na sloup veřejného osvětlení je z hlediska dimenzování takového sloupu obtížné.

Maximální hodnota špičkového výkonu větrné elektrárny umístěné na klasickém sloupu VO se pohybuje v oblasti mezi 200 Wp – 300 Wp.

Vzhledem k tomu, že převažující rychlosti větrů v avizovaných výškách se pohybují do rychlostí 3 m/s, tak je namístě řešit pro napájení svítidel veřejného osvětlení i typy větrných motorů, které by byly schopné výroby elektrické energie i při těchto nižších rychlostech. Pro výběr vhodného typu elektrárny jsou k dispozici různé křivky větrných motorů (viz Obr. 2).



Obr. 2 Součinitel účinnosti různých forem větrných kol jako funkce rychloběžnosti.

V rámci našich dvou jednotek byly zvoleny dva různé typy větrných motorů. Horizontální vrtulový motor (viz Obr. 3), který sice startuje až při vyšších rychlostech větrů, ale jeho účinnost je nejvyšší (viz Obr. 2) a vertikální (Darrieův motor - viz Obr. 4), který může vyrábět elektrickou energii už při nižších rychlostech větrů. U tohoto motoru se očekává delší doba využití při nižších špičkových výkonech.



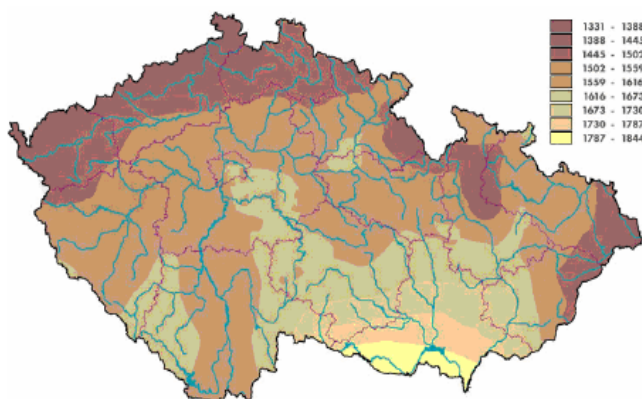
Obr. 3 Horizontální vrtulová malá větrná elektrárna (300 Wp) v kombinaci s fotovoltaickým panelem (130 Wp) a LED svítidlem o příkonu 31 W.



Obr. 4 Vertikální Darrieova malá větrná elektrárna (200 Wp) v kombinaci s fotovoltaickým panelem (130 Wp) a výbojkovým svítidlem o příkonu 51 W.

Podmínky pro využití fotovoltaických systémů v ČR

Pokud bychom analyzovali podmínky pro provoz fotovoltaických systémů na území ČR, je možné využít mapu slunečního záření, kde je uvedena roční průměrná doba slunečního záření (viz Obr. 5). Z obrázku je zřejmé, že pro provoz fotovoltaických systémů jsou nejvhodnější lokality na jižní Moravě s intervalem slunečního záření vyšším než 1800 hodin ročně. S ohledem na plochu fotovoltaických panelů je možné na sloup VO umístit maximálně 2 m². Tato plocha odpovídá při použití panelů s cca 15-ti % účinností špičkovému dosažitelnému výkonu cca 200 Wp. Z energetického pohledu, lze při optimálním nastavení fotovoltaického panelu, získat v našich zeměpisných podmínkách z nainstalovaných 100 Wp cca 90 kWh/rok při nasměrování panelu směrem na jih a náklonu 35°.



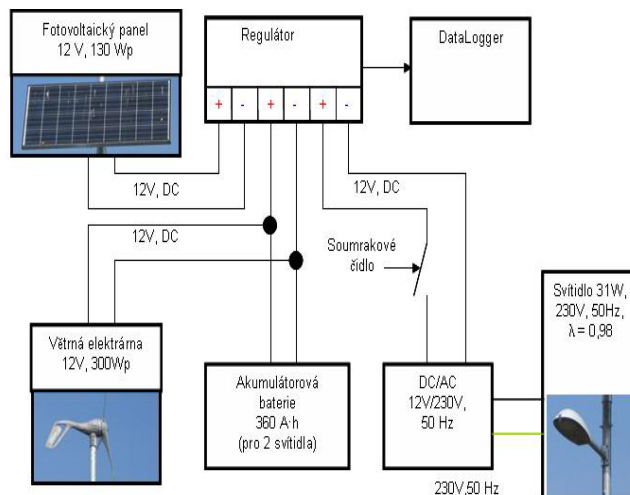
Obr.5 Roční průměrná doba slunečního záření (h) [3].

Podmínky pro využití svítidel VO napájených z obnovitelných zdrojů

Srovnáním možností napájení VO obnovitelnými zdroji s požadavky na hladiny osvětlenosti a jasů na komunikacích dojdeme k závěru, že pro napájení z obnovitelných zdrojů, lze využít svítidla VO pro osvětlování nejnižších tříd komunikací (S) s minimálními nároky na příkon.

Princip funkce napájení svítidla VO z obnovitelných zdrojů

Hybridní (kombinované) systémy je možné s ohledem na kombinaci několika nezávislých zdrojů využít pro výrobu elektrické energie a následnou spotřebu pro různé druhy zátěže. Blokové schéma hybridního systému, který byl použit při realizaci je znázorněn na obrázku Obr. 6 [2].



Obr.6 Hybridní systém řízení pro napájení osvětlovací soustavy.

Systém je tvořen dvěma větrnými elektrárnami se špičkovým výkonem 200 Wp a 300 Wp a výstupním napětím 12V a dvěma fotovoltaickými panely o maximálním výkonu 130 Wp/ks. Tyto zdroje nabíjejí speciální akumulátory firmy SAFT s celkovou kapacitou 360 A·h. Tok výkonu je pro optimální zatížení akumulátorové baterie řízen pomocí regulátoru. Výstup z regulátoru je přiveden na střídač 12V DC/230V V AC pro napájení svítidel PHILIPS Mini-Iridium se světelnými zdroji LED 31 W a CPO 45 W. Samotné sepnutí svítidel je realizováno na základě signálu ze soumrakového čidla.

Teoretické předpoklady pro stanovení energetické bilance

Na základě popisu jednotlivých komponentů svítidel VO napájených z obnovitelných zdrojů byl proveden odborný odhad energetické bilance tohoto kompletu. Energetická bilance je zobrazena v tabulce (viz Tab. 1) a vychází ze základního požadavku na maximální dobu provozu VO v zimním období. Tato doba je 16 h/den. Vzhledem k tomu, že je téměř nemožné odhadovat průměrné rychlosti větrů a průměrnou dopadající sluneční energii v jednotlivých dnech či měsících, byly do energetické bilance použity průměrné hodnoty v rámci celoročního provozu. Na základě níže uvedené energetické bilance z průměrných výrob pro nejhorší situaci ve spotřebě vychází sestava mírně pozitivně. To znamená, že při průměrné dodávce energie do baterií by tyto měly být schopny pokrýt maximální spotřebu soustavy v nejexponovanějším zimním období. Z energetické bilance vychází pozitivně i nadimenzování akumulátčního systému, který je schopen při plném nabití dodávat energii na svícení v nejdelších nocích více než 3 dny.

Tab.1 Předpoklad energetické bilance svítidel VO napájených obnovitelnými zdroji

Svítidlo	Philips Mini Iridium	
Světelný zdroj	LED 31 W	CPO 45 W
Příkon světelného zdroje	31 W	45 W
Příkon svítidla	31 W	51 W
Spotřebovaná energie při provozu 16 h/den (nejhorší případ v zimě)	496 Wh/den	816 Wh/den
Doba provozu max. 16 h/den v nejhorším případě v zimě pro obě svítidla	1312 Wh/den	
Baterie 12 V, 360 Ah – společná pro obě svítidla	4320 Wh	
Rezerva při plném nabití baterie pro situaci - nefouká, nesvítlí	nejméně 3.2 dne	
Větrná elektrárna – špičkový výkon	300 Wp	200 Wp
Typ větrné elektrárny	horizontální – vrtulová	vertikální
Doba využití za rok	cca 1000 h	cca 1500 h
Průměrná výroba za den	821 Wh	821 Wh
Fotovoltaická elektrárna	130 Wp	130 Wp
Průměrná výroba za den	320 Wh	320 Wh
Průměrná výroba celkem (větrná + fotovoltaická elektrárna)	1141 Wh/den	1141 Wh/den
Předpokládaná průměrná účinnost systému v čase a teplotě (regulátor, baterie, měnič)	60 %	
Možnost průměrné dodávky energie do svítidla	684 Wh/den	684 Wh/den
Možnost průměrné dodávky energie do obou svítidel	1368 Wh/den	

Závěr

V rámci příspěvku je stručně uveden popis dvou nejdynamičtější se rozvíjejících obnovitelných zdrojů elektrické energie v součinnosti s veřejným osvětlením. Pozornost je věnována především energetické bilanci hybridního systému, který byl vybudován na VŠB-TU Ostrava za podpory projektu „Zelená energie – Osvětová činnost v oblasti využití obnovitelných zdrojů energie pro napájení svítidel veřejného osvětlení“. Systém je ve fázi optimalizace chodu. Do budoucna je počítáno s podrobnou analýzou toku výkonů a energetickou náročností systému v rámci dlouhodobého testování.

Literatura a odkazy

- [1] Solareni – sluneční elektrárny, Dostupné z WWW: <http://www.solareni.cz/show.php?id=4&ids=3&ar>
- [2] Dostupný z WWW: <http://www.alter-eko.cz/index.php?page=uvod>
- [3] EkoWATT přední česká poradenská společnost v oblasti energetiky, ekonomiky a životního prostředí. [cit. 22. prosince 2008] Dostupné z URL: <http://www.ekowatt.cz/cz/informace/obnovitelne-zdroje-energie/energie-vetru>
- [4] Mišák, S., Prokop, L., Sikora, T., Daşal K., Popławski T., Rusek B.: Wind Power Plant Production Prediction Using Various Models. In 10th International Scientific Conference Electric Power Engineering 2009; (IEEE EPE 2009), 2009, ISBN 978-80-248-1947-1, 2009
- [5] Mišák, S., Chmelík, K.: Generator for Wind Power Plant of Small and Medium Power Network. 10th International Scientific Conference Electric Power Engineering 2009; (IEEE EPE 2009), 2009 Ostrava:VŠB-TU Ostrava, 2009, 98-105, ISBN 978-80-248-1947-1

Measurement of Obtrusive Light in Terms of Czech Republic

Abstract. Obtrusive light (light pollution) refers to both the night sky luminance as well as any light that radiates to the places where it is not required. Moreover, this kind of light increases the energy losses. The measurements are done for the purpose of obtaining information about night sky luminance at different meteorological situations and in different locations. We want to know influence of the artificial light sources on the night sky luminance. Outputs from the measurements are used to verify the physical model of the night sky. The aim of this model is to find out how the artificial light sources (public lighting, or whole cities) are capable to influence the sky luminance at different distances and under different meteorological conditions. The future of this model is to compare influences of the new artificial outdoor lighting systems to the night sky luminance in the project phase.

Keywords: obtrusive light, illuminance, luminance, measurement

Introduction

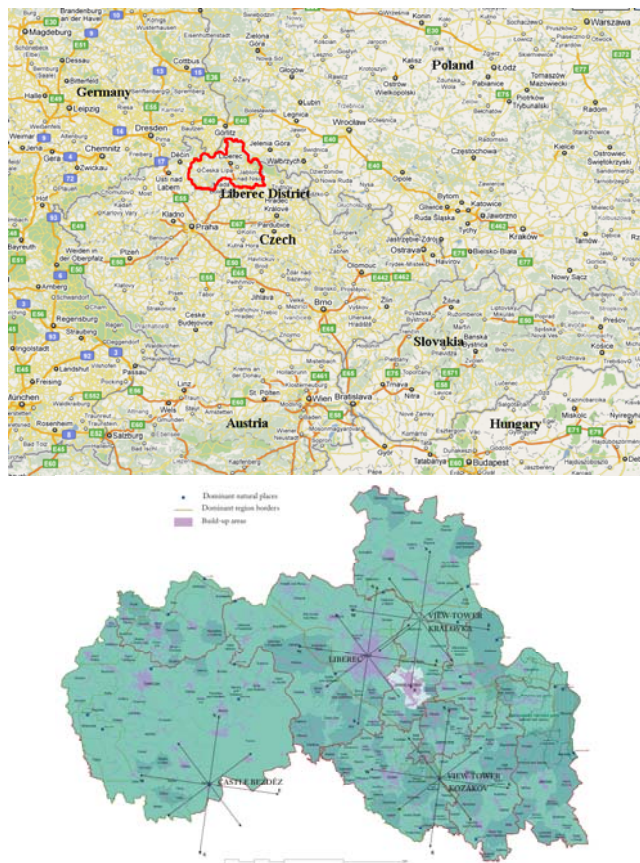
Light pollution has not been quantified so far from the point of view of separated groups of light sources. We mean for example the public lighting, windows, neon signs, billboards and other light commercials, architectonic lighting, shopping centers and outdoor sport areas lighting. This measurement was focused on the judging one of the light pollution sources – the public lighting, which is considered to be most dominated nowadays.

The real state quantification could have an important influence on looking for the ways of the obtrusive light limiting, solving of citizens', biologists', ecologists', astronomers', eventually other groups' complaints.

The measurements were done to find out night sky glares dates in different localities which were produced by artificial light sources. The results are going to be used for physical night sky model verification. This model should help to set-up different light sources influence (we mean not only the public lighting, but all cities, towns and villages) to the night sky glares, unwanted landscape illuminance and other disturbing effects. We are interested in light source acts locally and in further destinations, both under clear sky and under many different meteorologist conditions too.

In the mid September 2009 was done a large measurement of the night sky parameters. There was switched off the public lighting in all Liberec district. The aim of the measurement was to judge the changes of radiating during the night time which was caused by public lighting and as well as by other light sources. Liberec district was not chosen accidentally. In this area are many different environmental zones (from the industrial and shopping centers to the protected landscape area). Topography of this area is very kindly too, because it is possible to judge light radiating of the whole district from three positions. Last but not least is important the cooperation with public lighting providers. We also used the Public Lighting Study in this district published in 2008.

The measuring stations in Liberec district were chosen so that whole district would be visible and bigger cities would be observable from more measuring stations to compare measurement results. In the picture we can see Liberec district map. There are 4 highlighted comas roses with measuring stations. The number of district citizens is 433 948 and its area is 3.163 km².



Picture 1 – maps of Liberec district – area where were PL switched off

Public lighting system description in the district

- Regulation of luminous flux: partly (only 10 % of all public lighting systems)
- Power supply voltage: 230V
- Power supply voltage during regulation: 200V
- Average power consumption of 1 Public lighting (PL) luminaire: 130 W
- General power consumption of PL: 9.217.215 kW
- Number of citizens per 1 PL luminaire: 6,14
- Number of PL luminaires per 1 km²: 22,3
- PL systems which are operating whole night (4100 hours/year): especially towns and cities

- PL systems which are operating only part of the night (2870 hours/year): especially villages

Measuring plan

We prepared measuring plan, because we wanted to find out maximum information about lighting during night. Our biggest problem was with switching off the public lighting because we could switch off PL in the whole district only for short time.

- 21h – 21h 45min – first measurement, PL and other light sources working 100%
- 22h 30min – measurement effected by windows
- 23h 00min – 00h 00min – measurement with regulated PL (certain urban areas only)
- 00h 00min – 00h 45min – measurement of regulated PL (urban areas where PL is operating only parts of the night are switched off)
- 01h 05min – PL switched off
- 02h 15min – PL switched on again

Atmospheric (weather) conditions during the measurement

As the preparing of the measurement was longer than half a year and we cooperated with many people and organizations (all district municipality, police, PL controller etc.) we could not change the date of measurement and we did not wait for the ideal weather. Our conditions were following – cloudy weather and changeable fog.

Measurement description – Liberec

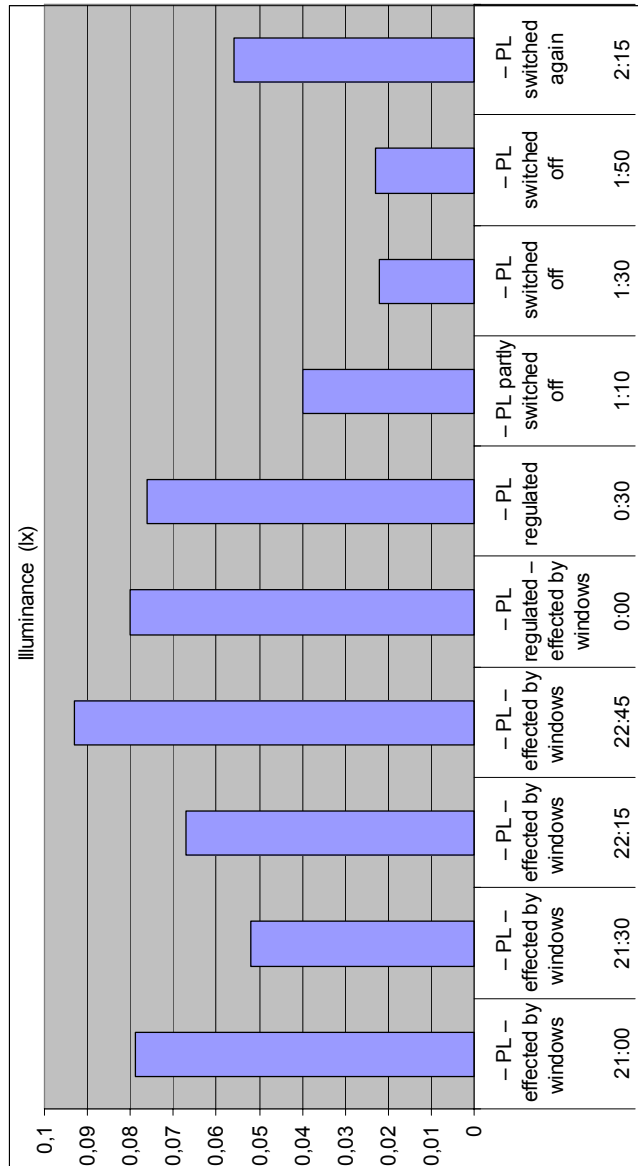
Very interesting results were taken from the measuring station in the centre of city Liberec. On this place there were used both the lighting equipment which is correlated by V_l (luminance meters and cameras, illuminance meters) and the astronomic equipment (sky quality meters). Due to cloudy sky there was possible to evaluate luminances produced by reflected matter from atmosphere directly above light source (city) very well. If we evaluate certain illuminances from the graph caused by reflected light from the sky during the night we will make following results:

during the night we will make following results:

- even if there was a cloudy sky, the reflected part of luminous flux is significantly lower (in this certain situation is maximum of illuminance 0,1 lx) than it is allowed by European norms (e.g. EN 12464 - 2 Lighting of work places — Part 2: Outdoor work places). Apart from really dark areas, such as national parks or protected sites where is supposed zero illuminance on the objects, there is in every other environmental zone permitted illuminance higher than 1 lx.
- due to changeable sky conditions the illuminances was increased even if the light sources (e.g. windows, billboards, industry, etc.) were gradually being switched off.
- in our opinion the most important conclusion from this graph is the difference between last 4 graph columns (see picture). There are visible the sudden differences among switched on and switched off PL not only in the city, but in the whole district. We could agree that the sudden decrease (increase) of the illuminance is only 50% of original value measured before switching off. We expected more significant differences caused by these PL states.

- in the point of view of the whole night, we can make a conclusion that the illuminances decreasing caused by switching off the PL is approximately only one third of the maximum value measured at the beginning of the night.

Results which are demonstrated by illuminances can be proved by luminance meters and luminance cameras and Sky quality meters too.



Picture 2: Graph with measured illuminances in the centre of Liberec (city of the district)

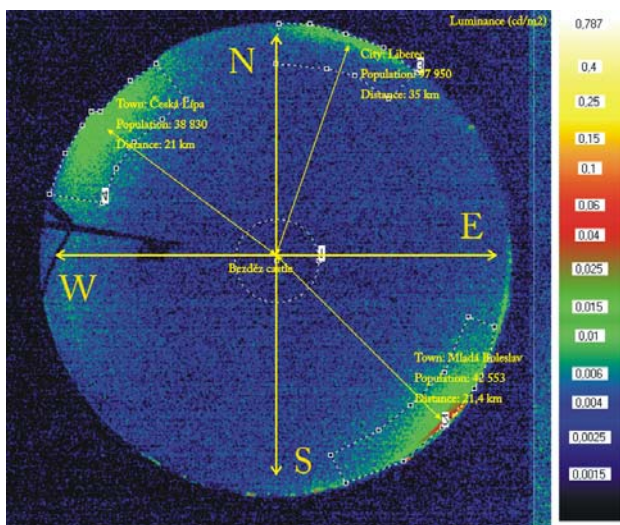
Measurement description – Bezděz castle

The station Bezděz was chosen because of several reasons. In its surrounding there are minimums of lighting sources (villages and towns) and its position is near the border of the district. We expected to compare approximately similar light sources (towns) with switched off PL and without switched off PL (other not switched off districts).

- first interesting conclusion from this station is about comparing zenith luminances in this minimally involved area with zenith luminances measured in the centre of city Liberec. In the Bezděz area during the atmosphere conditions which were described above were zenith luminances during night before switching off the PL in range 0,003 cd/m² – 0,005 cd/m², while

in the centre of the city Liberec it was one level higher, i.e. 0,015 cd/m² – 0,035 cd/m².

- after switching off the PL in Bezděz area the zenith luminances decreased to values about 0,002 cd/m² while in city Liberec the values decreased only to values about 0,004 cd/m². These zenith luminance values are similar to values which were measured in the Bezděz area before switching off the PL.
- another very interesting information is from comparing of luminances measured above horizons of some towns where the PL was switched off and switched on. During switching off the PL in the town Česká Lípa was measured an average luminance above the town horizon (up to 20o) approximately 0.002 cd/m² while above comparable town Mladá Boleslav was an average luminance above horizon about 0.006 cd/m², which is more than 3 x higher.



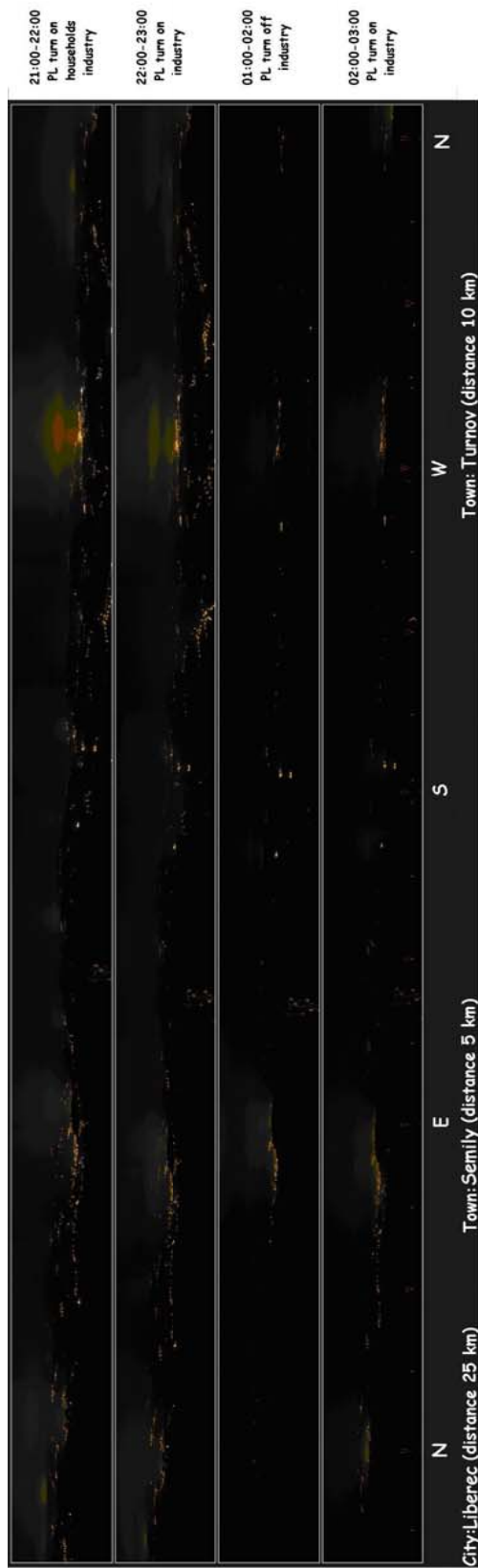
Picture 3: Luminance map measured from the Bezděz castle

Measurement description – Kozákov tower

Measuring station Kozákov has similar parameters as the station Bezděz, but it is situated in the opposite part of the switched off district. On this station were done similar measurements as on the previous ones. But there is an output from the classic digital panoramic photos (not correlated to $V\lambda$ curve). These photos were taken during different light situations at night (see picture 4). All photos were taken with the same time of exposure and then they were collected to panoramic view.

- from the photos there is significant luminances decreasing above city Liberec (distance about 25 km). You can notice the fact that the influence of the light from city Liberec (big source) is lower than from the smaller towns which are in shorter distances in the smaller elevation angle.
- another fact which is visible in the photos we can see in town Semily. This town was not switched off PL. During the night it happened that the luminances above this town were decreasing too.
- the most significant influence of switching off the PL was observed in town Turnov (distance about 9 km) where industrial and shopping zones effected the sky with higher luminances to high elevation angles. After switching off the industrial zone still worked, but this

certain zone effects the sky luminance increasing only minimally.



Picture 4: panoramic photos around Kozákov tower

Conclusion

From the measurement results that PL in the big cities in the Czech Republic generate luminous flux to the upper hemisphere which increase sky luminances approximately about one third. With decreasing of the citizens numbers or decreasing of the part of industrial and shopping zones in the populated areas this part increasing. In the small villages is the part growing up and during the night can be up to 100%.

Except expecting reflecting character variability of the night sky together with atmospheric conditions is during starting hours of the night showed strong influence of the windows in the residential sections on the sky luminances increasing. This variability we will study.

Results from this measurement will be used for verification of night sky model behavior. We prepare this model together with our colleagues from Slovak Republic.

REFERENCES

- [1] Sokanský, K., Novák, T., Dostál, F.: PUBLIC LIGHTING PART MEASUREMENT FOR NIGHT SKY GLARE INCREASING BEFORE AND AFTER SWITCHING OFF A BIG AREA (LIBEREC DISTRICT IN THE CZECH REPUBLIC), EPE 2010, 2010, Brno

- [2] Novák, T., Dostál, F.: Měření světelných parametrů pod noční oblohou, Kurz osvětlovací techniky XXV, 2006
- [3] Sokanský, K., a kol: Zpráva o řešení projektu „Výzkum emisí světelného rušení vyvolaného veřejným osvětlením za účelem jeho omezení v dopravě měst a obcí“, MR4515011, MMR, 2006, Ostrava
- [4] Sokanský, K. a kol. 26TH SESSION OF THE CIE, 4 JULY - 11 JULY 2007, Beijing
- [5] Novák, T., Dostál, F.: Měření rušivého světla v areálu VŠB – TU Ostrava - pokračování, mezinárodní konference SVĚTLO 2008, Ostrava, 2008
- [6] Sokanský, Maixner, T., Novák, T.: Rušivé světlo v ČR, mezinárodní konference SVĚTLO 2008, Ostrava, 2008

Authors: Ing. Tomáš Novák, Ph.D., VŠB-TU Ostrava, 17. listopadu 15, Ostrava-Poruba, 708 33, Czech Republic, e-mail: tomas.novak1@vsb.cz,
prof. Ing. Karel Sokanský, CSc., VŠB-TU Ostrava, 17. listopadu 15, Ostrava-Poruba, 708 33, Czech Republic, e-mail: karel.sokansky@vsb.cz,
Ing. Petr Závada, VŠB-TU Ostrava, 17. listopadu 15, Ostrava-Poruba, 708 33, Czech Republic, e-mail: petr.zavada@vsb.cz

Instrumentation for long term measuring of parameters under night sky

Abstract. The paper deals with equipment for long-term measurement. We want to collect information about night sky, quantify the obtrusive light and compare the level of it in industrial and habited areas and out of them. For long-term measurements of low level illuminance (about 10-3 lx) and luminance (about 10-3 cd/m²) should be applied not only the measuring equipments with high sensitivity, but also completely independent one with the ability to save the measured data.

Keywords: camera, obtrusive light, luxmeter, luminance analyzer, sky quality meter, illuminance, luminance, magnitude

Introduction

The main aim of this article is to introduce the possibility of luminance measuring by adjusted astronomical CCD camera cooled by Peltier cells. We selected a type of CCD camera which uses a monochrome cooled square chip with high-resolution and 16-bit A/D converter. It provides high sensitivity and wide dynamic range. Another important factor is that the camera is able to cooperate with the software (LumiDISP) for luminance evaluation from pictures taken by calibrated digital cameras. Taken pictures are immediately evaluated and transformed to luminance maps and stored in the preset database. In this way it is possible to set up long-term measurement, or control this measurement in distance measurement (the ability to communicate via internet).

The article also describes other measuring devices that are suitable for long-term evaluation of the state of obtrusive light at night (luxmeter, luminance analyzer, sky quality meter).

Description of the CCD camera G2-4000 used as a highly sensitive luminance analyzer

The camera is used for measuring the low levels of luminance for several reasons. The first reason is its high sensitivity, which is achieved by cooled CCD chip. The second very important reason is the possibility of inserting different optical filters in front of the black and white CCD sensor. It allows the optical adaptation to the human eye sensitivity for photopic vision, as well as we can measure mesopic and scotopic vision (while using other filters). The third reason is the possibility of exchanging the objective lenses and especially the using fisheye for whole upper hemisphere measuring. The last reason for using this type of sensor is the possibility of automatic operating and data storage to evaluating software. For the measurement of luminance is needed to connect the camera to the computer and use it together with optical equipment (objective lenses and filters).

For the night sky luminance measurements, the camera is equipped by a bayonet lens for Canon and disc for 5 filters per 1.25-inch holders.

Currently is for luminance evaluation used filter with characteristics for V_λ curve adaptation. In the near future we are thinking about the usage of filters, which in combination with a quantum efficiency curve of the CCD sensor dependent on the wavelength sensitivity of the measuring device adapted not only for sensitivity of the human eye for photopic vision V_λ , but also for scotopic vision V'_λ , and mezopic vision.



Fig. 1. CCD camera equipped with fisheye lens and placed on a tripod to capture the upper hemisphere luminance

CCD Camera Parameters:

Model G2-4000 uses a 4-megapixel CCD square chip Kodak KAI – 4022. Chip resolution is 2056 x 2062 pixels. Size of one pixel is 7,4 x 7,4 μm and image area is 15,2 x 15,2 mm. The full capacity of the pixel is approximately 40 000 electrons and full capacity output data is approximately 100 000 electrons. The manufacturer specifies dark current 0,3 e-/s/pixel at 0° C. The dark current doubling occurs at 7° C.

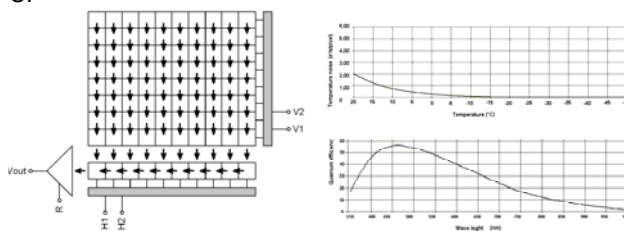


Fig. 2. Schema of CCD chip used for the CCD camera (left), its dark current (upper right) and quantum efficiency (bottom right)

After calibration of CCD camera can be expected range of the measured luminance from 10⁻⁴ cd/m². Maximum measured value of luminance is limited by shutter speed.



Fig. 3. Ventilator location for cooling Peltier cells and interior of CCD camera with disc for 5 filters

Temperature of the CCD is regulated with accuracy ± 0.1 ° C. Cooling minimizes dark current of CCD chip very effectively and precise temperature regulation allows proper calibration. Camera head contains two thermal sensors - the first directly measured temperature of the CCD chip, the second sensor measured the temperature of the hot side of Peltier cells.

The comparison of the measurement CCD camera and luminance analyzer LMK Advanced Mobile

CCD camera have 16-bit A/D converter with a correlated double sampling. This converter provides high dynamic range and read noise at the CCD chip level itself. Brightness range of one picture enables the resolution up to 65535 levels, while the luminance analyzer with 12-bit A/D converter allows a resolution only 4096 levels.

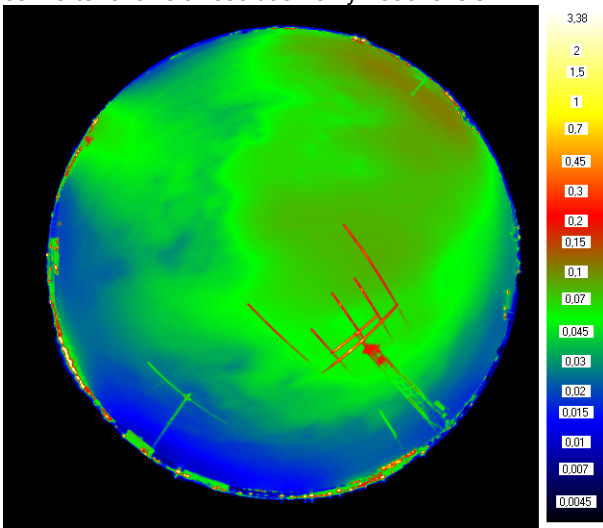


Fig. 4. Example of night sky luminance measurement by luminance analyzer LMK Mobile Advanced and with Fisheye lens

To compare the evaluation of pictures taken by a CCD camera are shown pictures taken by luminance analyzer LMK Mobile Advanced with Fisheye lens. In picture 4 we can see the luminance values assigned to individual colours. Luminance maps made with the program LMK 2000 are taken by numerical calculation from 4 colour pixels (R, G, B, G) which adapt photo to sensitivity of the human eye. These pictures have a resolution about 1730 x 1150 pixels. The pictures taken by the CCD camera are transformed to human eye sensitivity by optical filters (the filter can be changed and then realized the measurements in the field of scotopic and mezopic vision). The chip of CCD camera has a square form and its resolution is 2056 x 2062 pixels. It is better to use it with fisheye objective. The dynamic range of the both devices can be increased by combining the pictures which have different exposure time.

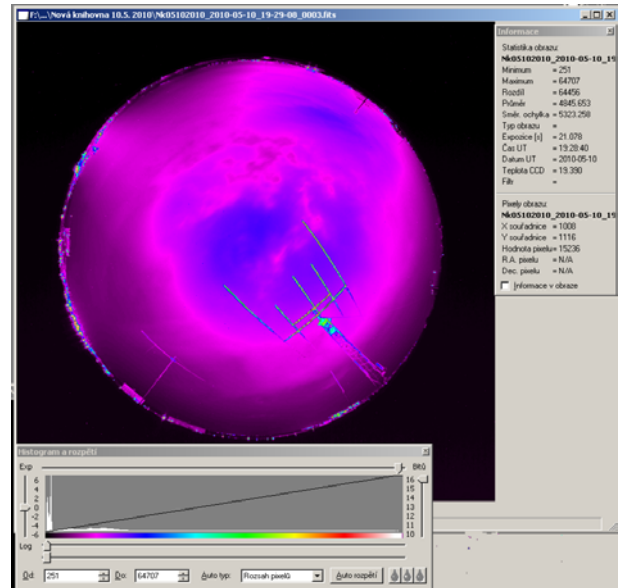


Fig. 5. Measurement of the night sky brightness using CCD camera with a Fisheye Lens

In picture 5 is shown night sky taken by CCD camera with fisheye lens in the programme SIMS. CCD camera communicates with the computer directly and individual pictures can be modified in other special software. In the picture with histogram is clear that the whole dynamic range is without saturation on the chip, and it wasn't necessary to take a new picture with a different exposure time. If we look properly at luminance maps taken by luminance analyzer LMK Mobile Advanced (see Fig. 4) we can find that too bright points near the horizon are already in saturation and therefore it is not possible to identify their luminance. Below the taken picture (see Fig. 5) there is shown a colour palette histogram that assigns values to each pixel. We can see (see Fig. 5) that the values of the excitation of most pixels in the picture are in the first fifth of the possible excitation.

In picture (Fig. 6) there is visible the window from programme LumiDISP with imported three identical test pictures with different exposure taken by the CCD camera. By the combination of three luminance channels from Fig. 6 can be obtained one luminance map of the situation so that it is possible to see lowest and highest luminance together. Programme LumiDISP also allows the values checking of individual pixels, evaluating the average values of specific areas, etc.

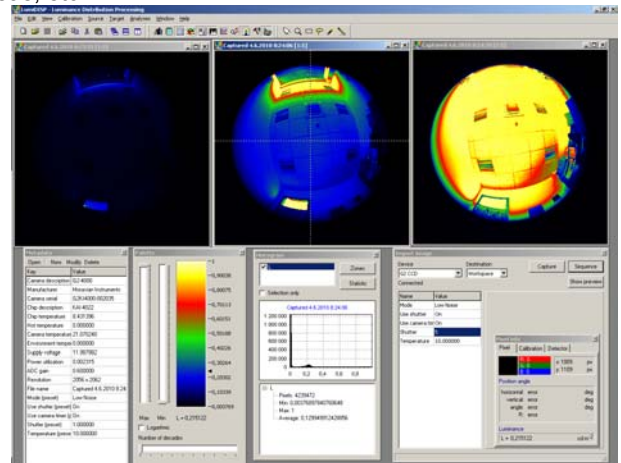


Fig. 6. Example of pictures evaluating by LumiDISP programme

To connect the CCD camera to the computer is fast USB interface, which allows image downloading within a few seconds (about 8 s). Maximum length of USB cable is 5 m. This length can be extended to 100 m using a USB hub or an active USB extension cable. Then the camera can be placed on a higher measuring point under cover and leave the computer in the room where his work will influence the weather conditions.

Station for long-term measuring of the night sky luminance is installed to the existing measuring instruments on the Nová Knihovna building of the Technical University of Ostrava.

Digital luxmeter for long-term measurement of illuminance

To measure of illuminance is needed quality photovoltaic sensor be able to convert a wide range of illuminance to current. In the design concept of this device was taken account the requirements for a wide measuring range (from 10^{-3} lux to 10^5 lux), the possibility of zero calibration, the possibility of long-term operation without operator, charging from the battery and from the electric distribution, automatic range switching, the possibility of sending the measured data into a computer, the possibility of saving measured data to internal memory and later downloading to computer.

With today's electronic equipment level, each of these requirements are achievable quite easily, but all together it is difficult task. A key problem is the measurement of small levels of illuminance.

Base for luxmeter with high sensitivity (the ability to evaluate illuminance about 10^{-3} lx) is a high quality sensor adapted to sensitivity of the human eye curve. If the sensor is not good enough, you can not evaluate objectively illuminance by the best electronic circuits.

For linear transfer of illuminance to the electrical units from very small illuminance values it is evaluated current and it is preferred in short state. This can be realized by current-voltage converter with an operational amplifier. Currents, which the converter operates with at the illuminance up to 1 lx are very small (approximately – nA). Operational amplifier for these currents must be able to evaluate very small input, preferably by several degree orders smaller than the operating current. These requirements meet the operational amplifiers with FET input. At the same time it needs to have a minimum noise and drift and it must be able to work with low supply voltage (the requirement for a battery). It was chosen operational amplifier AD822. To reduce the noise (to provide sufficient accuracy) an analogue part of the photometer is shielded.

Description of luminance analyzer LMK Mobile Advanced

To measure the luminance it is used digital reflex camera Canon EOS 350D, which records the real scene in digital form on a storage medium by the CMOS sensor. This camera can change different lenses so that the image evaluates the situation as the most authentic. This device is necessary to operate manually throughout the measurement. For this reason, it fits for short-term night sky luminance measurement only.

For the processing of the measured images from LMK mobile advanced must be used software LMK 2000. Evaluation is based on the data used in CR2 format, where the image is recorded in the RAW form. This form contains the "raw data", which means that the recorded information is stored in its original form, without any additional correction as it is in other formats (JPEG, BMP, etc.).

The software can extend the range of luminance analyzer and set the level of exposure to + / -2, so the scene is recorded to three separated places with the exposure levels -2.00 EV, 0.00 EV and 2.00 EV.

From the measured pictures (three composite exposures) it is computed a luminance channel. This channel stores information about the value of luminance for each macro-pixel. Macro-pixel contains 4 pixels (R - red, G1 – green 1, B - blue, G2 – green 2), where is stored the values recorded by CMOS sensor of camera. Adaptation of the camera relative spectral sensitivity to the human eye sensitivity ($V(\lambda)$) is performed by numerical matrix. Information stored in the luminance channel can be processed and evaluated further.

The measuring instrument operating is simple and it can be used for the terrain survey of luminance.

Analyzer is used to measure luminance ratios on roads, pedestrian crossings, sidewalks, tunnels, indoor surfaces, etc. Moreover it can be used for obtrusive light measurement.

Instrument SQM-LE

The last described device for long-term measuring of the night sky is astronomical instrument (Sky quality meter), which evaluates the luminance of the night sky. This instrument does not work with lighting units (cd/m^2), but in magnitudes (mag). For traditional reasons, astronomers use the term magnitude, expressed in units called magnitudes. Magnitude is a logarithmic value. This instrument is able to compare the astronomical measurements and lighting ones.

SQM (Sky Quality Meter) is a device for measuring the brightness of the night sky in the visible spectrum in astronomical units. Measurements display the results in $\text{mag}/\text{arcsec}^2$ units. The results can be converted to the luminance (cd/m^2) according to the following formula:

$$(1) L = 10,8 \cdot 10^4 \cdot 10^{(-0,4 \cdot \text{mags})} (\text{cd}/\text{m}^2; \text{mag}/\text{arcsec}^2)$$

where: L –corrected luminance

mags – measured value with SQM-LE

Long-term measurements by the SQM-LE device using the SQM reader software is performed by time intervals settings for data recording. This measurement setting may take place throughout the whole night and record the brightness values ($\text{mag}/\text{arcsec}^2$). Measured values can be converted to luminance values according to formula (1).

CONCLUSION

Using the above mentioned measuring devices and their accessories can be measured and evaluated different parameters of the night sky. The measured data can be converted to relative values and compare the results from different types of devices which can measure in different areas and during changeable weather conditions.

Suitable devices placing make it possible to observe the effect of measured light source (e.g., city) from several points and determine the level of the obtrusive effect of it.

ACKNOWLEDGEMENT

This article has been supported by common project KONTAKT 2010 with Czech and Slovak Republic, named "Overgrand light source, luminance, and night sky radiation: spectral and integral curves".

REFERENCES

- [1] Novák, T., Závada Petr, Dostál, F., Sokanský, K.: Rušivé světlo v podmínkách Slovenské a České republiky. In *EEE 2009*, 27.-29.5.2009, Bratislava:STU v Bratislave, Fakulta elektrotechniky a informatiky, 2009, 978-80-89402-08-3
- [2] Dostál, F., Sokanský, K., Novák, T.: Long-term measurement of obtrusive light in campus VŠB-TUO. In *sborníku EPE 2009*, Ostrava:VŠB-TUO, 2009, 3, Skupina ČEZ, Dalkia Česká republika, a.s.,Československá sekce IEEE, Ministerstvo průmyslu a obchodu, , ISBN 978-80-248-1947-1
- [3] Dostál, F., Novák, T., Sokanský, K.: Měření rušivého světla v areálu VŠB-TUO. In *sborníku EEE 2009*, 27.-29.5.2009. Ed. František Janíček, Daniela Reváková, Ivan Darul'a, Juraj Kubica, Igor Šulc, Bratislava:Slovak University of Technology in Bratislava, 2009, 8, ISBN 978-80-89402-08-3
- [4] Dostál, F., Novák, T., Sokanský, K.: Město a jeho vliv na hodnoty osvětlení v nočních hodinách. In *sborníku Kurz osvětlovací techniky XXVII*, Ostrava:VŠB-TUO, 2009, 30-36, ISBN 978-80-248-2087-3
- [5] Dostál, F., Novák, T., Sokanský, K.: Vliv městské aglomerace na hodnoty osvětlení v nočních hodinách. In *sborníku SVĚTLO 2009*. Ed. Emre Erkin, Bratislava., 2009, 8 s, ISBN 978-80-969403-7-0
- [6] Novák, T., Sokanský, K., Závada Petr, Dostál, F.: Měření rušivého osvětlení. In *XLI. sešit katedry elektrotechniky*, 17.6.2009, Ostrava:VŠB-TU Ostrava, 2009, 113-116, 160, 978-80-248-2020-0
- [7] Novák, T., Závada Petr, Dostál, F., Sokanský, K.: Rušivé světlo v podmínkách Slovenské a České republiky. In *EEE 2009*, 27.-29.5.2009, Bratislava:STU v Bratislave, Fakulta elektrotechniky a informatiky, 2009, 978-80-89402-08-3
- [8] Závada, P., Sokanský, K., Novák, T., Žwak, Z.: Měření jasů noční oblohy ve Frýdku-Místku, In *sborníku Kurz osvětlovací techniky XXVII*, Ostrava:VŠB-TUO, 2009, ISBN 978-80-248-2087-3 Ostrava, Sep/2009,
- [9] Závada, P., Sokanský, K., Novák, T.: Metering of light pollution, In *sborníku WOFEX*, VSB-TU Ostrava, 2009, 124-129, ISBN 978-80-248-2028-6
- [10] Závada, P., Sokanský, K., Novák, T.: Modelování rušivého světla. In *sborník Světlo 2009*. Ed. Erme Erkin, Jasná:, 2009, ISBN 978-80-969403-7-0 Kowalski J., Jak pisać tekst do Przeglądu, *Przegląd Elektrotechniczny*, 78 (2002), nr 5, 125-128

Authors:

Ing. Tomáš Novák, Ph.D.

VŠB-TU Ostrava, Department of General Electrical Engineering – 420, 17. listopadu 15, 708 33, Ostrava - Poruba, Czech Republic
E-mail: tomas.novak1@vsb.cz;

Ing. Pter Závada,

VŠB-TU Ostrava, Department of Electrical Power Engineering - 410, 17. listopadu 15, 708 33, Ostrava - Poruba, Czech Republic
E-mail: petr.zavada@vsb.cz;

prof. Ing Karel Sokansky, CSc.

VŠB-TU Ostrava, Department of Electrical Power Engineering - 410, 17. listopadu 15, 708 33, Ostrava - Poruba, Czech Republic,
E-mail: karel.sokansky@vsb.cz.

Influence of LED luminaires on supply network

Abstract. The article presents results of analysis of the effect of high-pressure sodium lamps on the supply network, compared with effect of multiple source LED matrices luminaires, of similar power rating. The study covered verification of impact of ambient temperature on electrical parameters, with particular emphasis on the level of generated interferences to the mains supply.

Key words: LED diodes, luminaires, electrical power quality.

Introduction

EU Directives on energy efficiency enforce on EU member states measures to reduce consumption of electric power, including consumption of electric power used for lighting. In practice this is accomplished by replacing incandescent light sources with compact fluorescent or LED sources. In the case of street lighting, multiple sources LED luminaires constitute alternative to high-pressure sodium luminaires. LED luminaires could also be used, inter alia, for lighting of architectural designs as well as for accent lighting.

Power supply unit with stabilization of voltage or current constitute an integral part of LED luminaires. In practice, the two types of power supply units are used, however, it is recommended to use power supply unit with stabilization of current, they are impulse suppliers. In this case, the unit power supply unit - LED matrix constitutes a non-linear receiver, which causes distortion of current at the power supply line. Higher harmonics current in the AC mains causes various adverse changes, among them being the deformation of supply voltage waveform, overloading of neutral lines as well as additional power loss, hence, in accordance with the regulations [1], the level of higher harmonics current should be limited.

The article presents results of experiments on LED luminaires in terms of generation of higher harmonics current. The results were compared with similar studies performed for the commonly used luminaires with high-pressure sodium lamps.

Luminaires installed outside buildings are exposed to changing weather conditions; of these conditions ambient temperature has the greatest effect on their operations. LED diodes used in luminaires require appropriate thermal conditions in order to obtain projected luminous efficacy. The paper presents results of measurement tests carried out in a wide range of ambient temperatures, which were designed to estimate their impact on change of electrical parameters of LED luminaires, with particular emphasis on level of higher harmonics current generated to the mains.

Comparison of performance of LED luminaires with performance of high-pressure sodium luminaire

Comparison was conducted on three luminaires of similar power:

- 100W traditional luminaire for high-pressure sodium lamp, designated as O1,
- 100W LED luminaire, designated as O2,
- 110W LED luminaire, designated as O3.

Measurements were carried out using power quality analyzer TOPAS 1000, a product of *Fluke Company*.

Results of measurement of basic electrical parameters of tested luminaires are summarized in Table 1.

Table 1. Measured electrical parameters of test fittings

Luminaire	O1	O2	O3
P [W]	92,63	101,15	113,60
I [A]	0,44	0,45	0,53
cos ϕ	0,98	-0,97	-0,94
tg ϕ	0,22	-0,26	-0,35
THD _i [%]	28,93	9,21	21,67

Figure 1.2 and 3 respectively show instantaneous input current and supply voltage waveforms for O1, O2 and O3 luminaires. Input current higher harmonics spectrum of O1 luminaire is presented in figure 4, while figure 5 and 6 respectively depict higher harmonics current spectra for O2 and O3 luminaires compared with permissible limit values specified in the PN-EN 61000-3-2: 2007 [1] norms, for Class C equipment.

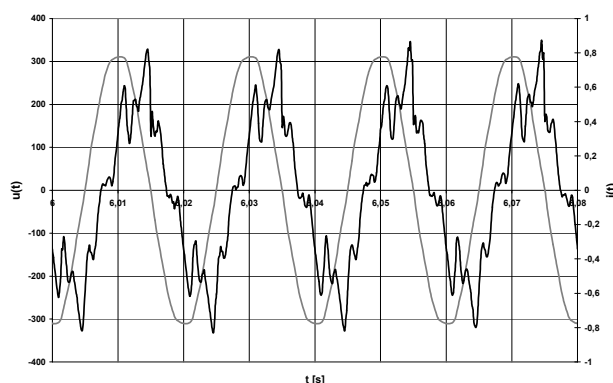


Fig.1. Instantaneous input current and supply voltage waveforms for O1 luminaire

Based on conducted analysis, it can be concluded that replacement of sodium luminaire with LED luminaire, having appropriately designed power supply, would not lead to increase in amount of generated interferences in the mains, but might even reduce amount of generated interferences to the mains, as illustrated by example of O2 luminaire, for which the value of THD current coefficient is 9.21% as compared to value of this coefficient for sodium luminaire, which is 28.93%, hence causes three times reduction of current distortion. For the O1 sodium luminaire the limit values of currents for the following harmonic: 5, 7, 9, 11, 15 and 17 were exceeded by 1.1%, 5.6%, 4.2%, 8.1%, 4.1% and 1.3% respectively.

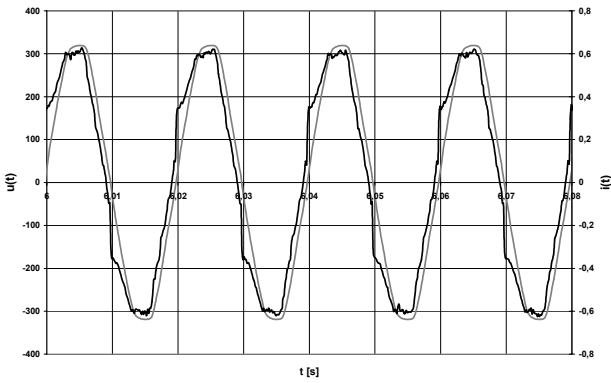


Fig.2. Instantaneous input current and supply voltage waveforms for O2 luminaire

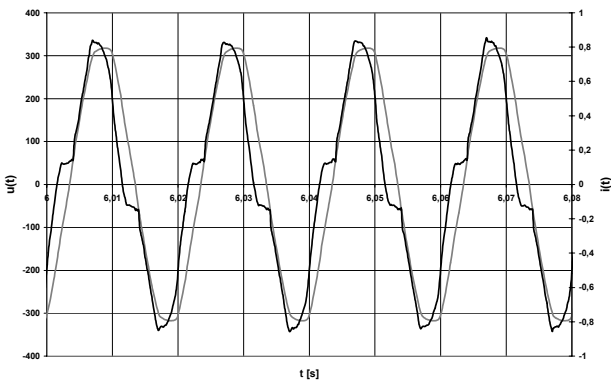


Fig.3. Instantaneous input current and supply voltage waveforms for O3 luminaire

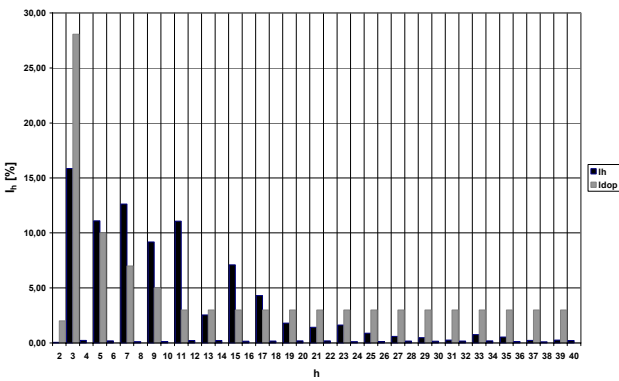


Fig.4. Input current higher harmonics spectrum of O1 luminaire

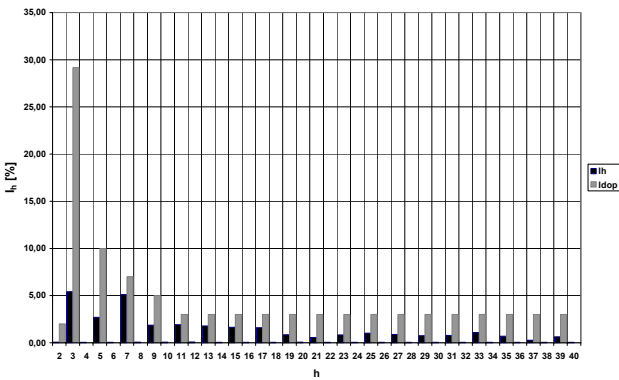


Fig.5. Input current higher harmonics spectrum of O2 luminaire

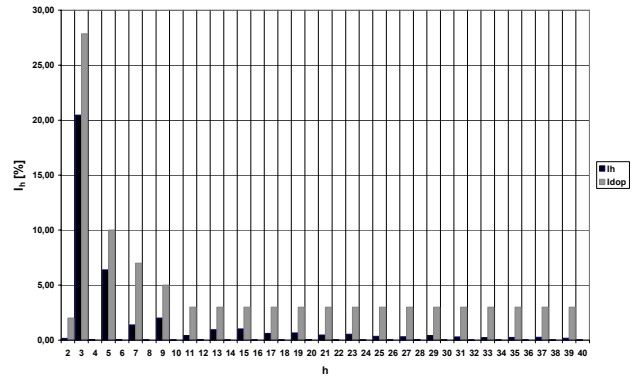


Fig.6. Input current higher harmonics spectrum of O3 luminaire

Effect of ambient temperature on electrical parameters of LED luminaires

Outdoor luminaires work under wide range of fluctuation of ambient temperature. For traditional luminaires, due to the high temperature of the light source, this problem is not significant. However, for LED luminaires, impact of changes in ambient temperature on electrical parameters should be considered.

Climate chambers, where tested luminaires were placed, were used to conduct the experimental measurements. Measurements were made for the following ambient temperatures $T = [-25 -10 0 25 40 60] \text{ } ^\circ\text{C}$. Three luminaires, designated as below, were selected for testing:
 OT1 – luminaire of power rating of 16.5 W,
 OT2 – luminaire of power rating of 35.4 W,
 OT3 – luminaire of power rating of 17.2 W.

The values of power rating of the luminaires were determined by experiment and are relevant under reference ambient temperature, $T_{ref} = 25 \text{ } ^\circ\text{C}$.

Measurements were carried out in a space of one hour, the luminaires were switched on after stabilization of thermal parameters under given ambient temperature. For analysis, parameters averaged over the final 5 minutes of measurement were recorded as required parameters.

Figure 7 shows instantaneous input current and supply voltage waveforms under $+25 \text{ } ^\circ\text{C}$ and Figure 8 presents higher harmonics current spectrum of OT1 luminaire under considered temperature range. Figure 9 illustrates the changes in the value of active power as well as current total harmonic distortion THD_I , as a function of temperature T . In addition, changes in the value of power factor, $\cos\phi$ and $t\phi$, also a function of temperature, were measured, as illustrated in Figure 10.

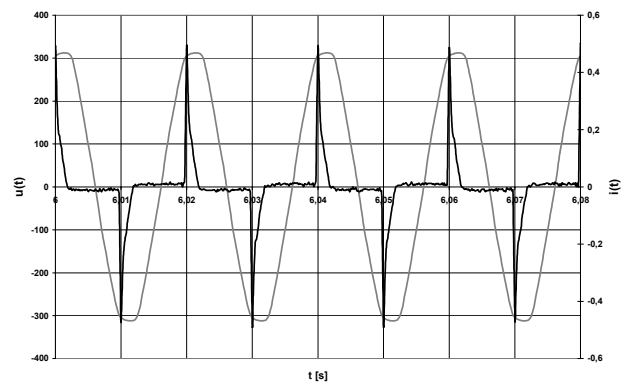


Fig.7. Instantaneous input current and supply voltage waveform for OT1 luminaire

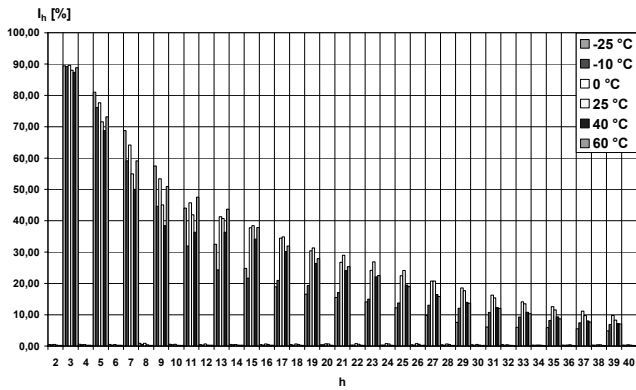


Fig.8. Input current higher harmonics spectrum of OT1 luminaire, under considered ambient temperature range

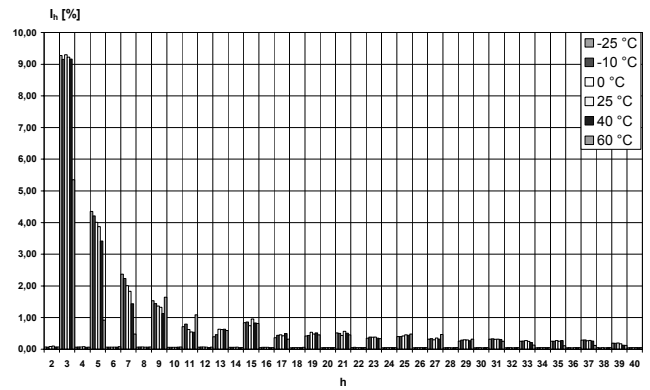


Fig.12. Input current higher harmonics spectrum of OT2 luminaire, under considered ambient temperature range

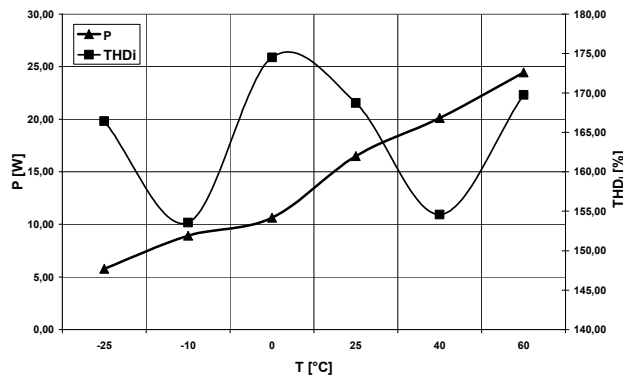


Fig.9. Changes in the value of active power P and THDi coefficient of OT1 luminaire, as a function of ambient temperature

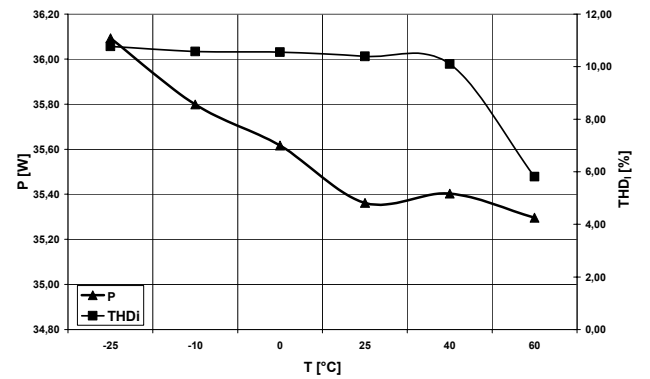


Fig.12. Changes in the value of active power P and THDi coefficient of OT2 luminaire, as a function of ambient temperature

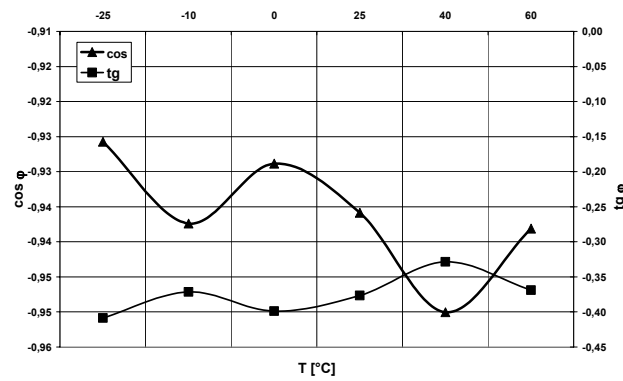


Fig.10. Changes in the value of power factor, $\cos\varphi$ and $\text{tg}\varphi$, of OT1 luminaire, as a function of ambient temperature

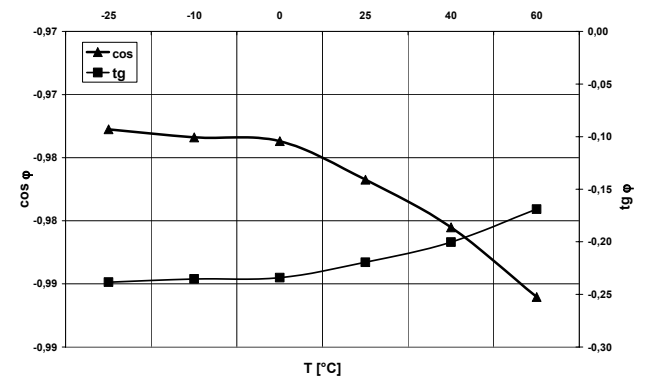


Fig.13. Changes in the value of power factor, $\cos\varphi$ and $\text{tg}\varphi$, of OT2 luminaire, as a function of ambient temperature

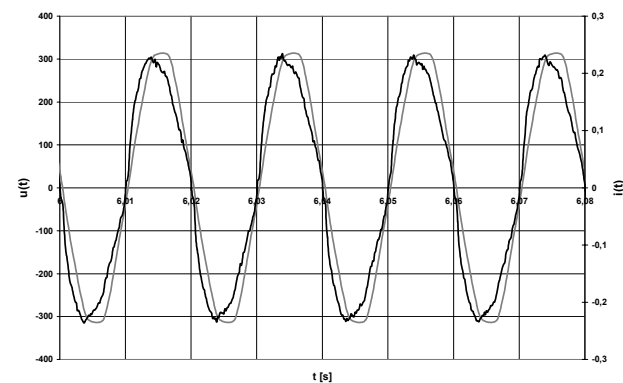


Fig.11. Instantaneous input current and supply voltage waveform for OT2 luminaire

Figures 10, 11, 12 and 13 respectively show instantaneous current and voltage waveforms, current higher harmonics spectrum, changes in active power and THDi coefficient as well as changes in $\cos\varphi$ and $\text{tg}\varphi$ for OT2 luminaire.

Just as in the previous luminaires, figures 14, 15, 16 and 17 respectively present instantaneous current and voltage waveforms, current higher harmonics spectrum, changes in active power and THDi coefficient as well as changes in $\cos\varphi$ and $\text{tg}\varphi$ for OT3 luminaire.

As can be seen, ambient temperature has a significant impact on the value of active power and THDi coefficient of OT1 luminaire. For the specified luminaire, the value of $\text{tg}\varphi$ coefficient exceeded the limit value of 0.4 [2, 3], under ambient temperature of -25 °C.

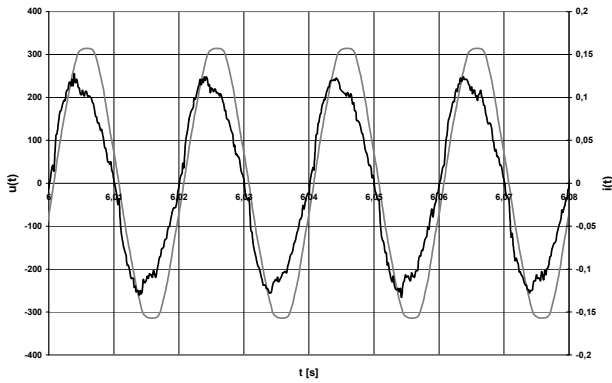


Fig. 14. Instantaneous input current and supply voltage waveforms of OT3 luminaire

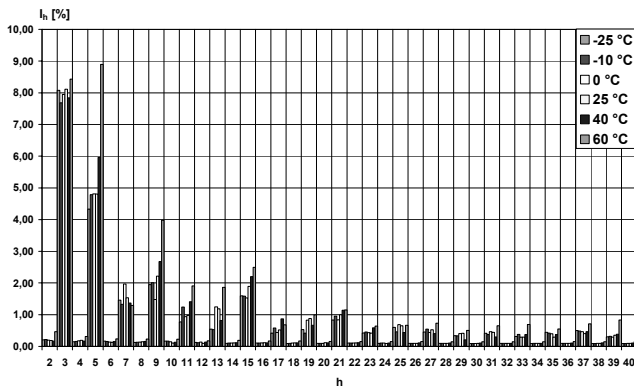


Fig. 15. Input current higher harmonics spectrum of OT3 luminaire, under considered ambient temperature range

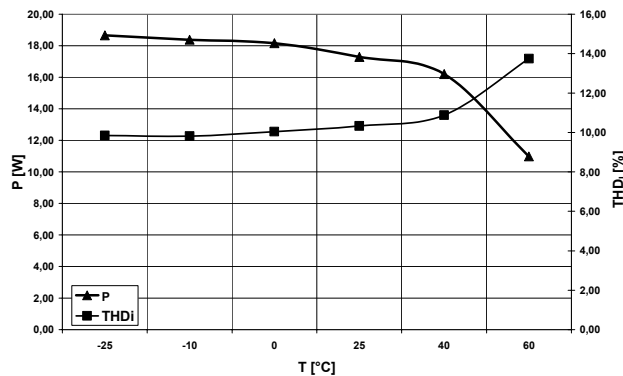


Fig. 16. Changes in the value of active power P and THDi coefficient of OT3 luminaire, as a function of ambient temperature

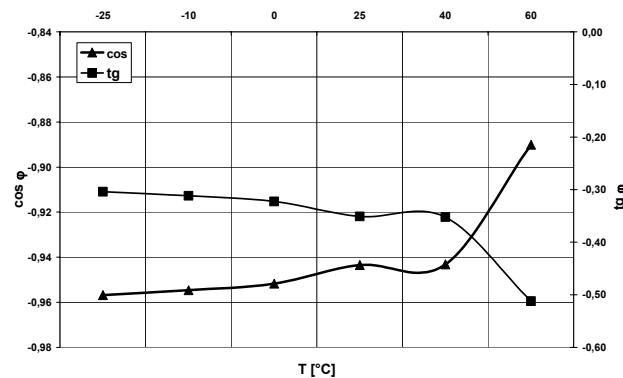


Fig. 17. Changes in the value of power factor, $\cos\phi$ and $\text{tg}\phi$, of OT3 luminaire, as a function of ambient temperature

In the case of OT2 luminaire, changes in both active power P as well as THDi coefficient are so small that they should not cause any problems in exploitation this luminaire.

Unlike OT2 luminaire, for OT3 luminaire, with increasing ambient temperature, there is an observed increase in the value of THDi and drop in power P.

Conclusion

Based on conducted experiments, it can be concluded that use of LED luminaire does not cause degradation of power quality compared with levels of permissive limits parameters. Comparison of these parameters with those of the traditional frames for sodium lamps is strongly in favor of LED luminaire, provided that they work with suitably designed power supply unit.

External luminaires should work under wide range of temperature fluctuation, while maintaining performance parameters as close as possible to rated parameters. As can be seen from presented results, ambient temperature has a significant impact on the electrical parameters of LED luminaires. Although, at the reference temperature of 25° C, the luminaire has relevant parameters that conform to statutory requirements, however, at extremely low or high ambient temperatures, electrical parameters of these luminaires may radically change, causing them to increase or reduce their negative impact on the power supply line.

REFERENCES

- [1] PN-EN 61000-3-2: 2007. Kompatybilność elektromagnetyczna (EMC), Część 3-2: Poziomy dopuszczalne – Poziomy dopuszczalne emisji harmoniczných prądu (fazowy prąd zasilający odbiornika ≤ 16 A).
- [2] PN-EN 50160: Parametry napięcia zasilającego w publicznych sieciach rozdzielczych. PKN,
- [3] Resolution of the Minister of Economy and Work of 20 December 2004 on detail conditions on connecting of facilities to main power supply lines, movement and exploitation of these power lines
- [4] Pabjańczyk W., Markiewicz P., Sikora R.: „Oddziaływanie opraw LED na sieć zasilającą. VII Ogólnopolska Konferencja Naukowo-Techniczna PES-7 POSTĘPY W ELEKTROTECHNICE STOSOWANEJ, Kościelisko, 22-26.06.2009 r., ss. 231-
- [5] Markiewicz P., Sikora R.: „Wpływ nowoczesnych opraw oświetleniowych na sieć zasilającą”, I Konferencja Naukowo – Techniczna „Energoszczędne Innowacyjne Technologie Oświetleniowe” EITO 2010, Łódź, 04-05.03.2010 r., ss. 101-110

Authors: dr inż. Wiesława Pabjańczyk, Technical University of Lodz, Institute of electric power engineering, ul. Stefanowskiego 18/22 90-924 Łódź, tel. 042-631-25-93, fax. 042-631-26-06, email: wieslawa.pabjanczyk@p.lodz.pl
 dr inż. Roman Sikora, Technical University of Lodz, Institute of electric power engineering, ul. Stefanowskiego 18/22 90-924 Łódź, tel. 042-631-25-93, fax. 042-631-26-06, email: roman.sikora@p.lodz.pl
 dr inż. Przemysław Markiewicz, Technical University of Lodz, Institute of electric power engineering, ul. Stefanowskiego 18/22 90-924 Łódź, tel. 042-631-25-93, fax. 042-631-26-06, email: przemyslaw.markiewicz@p.lodz.pl
 dr inż. Zbigniew Gabryjelski, Technical University of Lodz, Institute of electric power engineering, ul. Stefanowskiego 18/22 90-924 Łódź, tel. 042-631-25-93, fax. 042-631-26-06, email: zbigniew.gabryjelski@p.lodz.pl

Wpływ warunków środowiskowych na pracę opraw z modułami LED

Streszczenie. W artykule zostały przedstawione wyniki badań laboratoryjnych wybranych opraw LED, dostępnych na rynku, w zakresie wpływu zmian temperatury otoczenia na wartość strumienia świetlnego i skuteczności świetlnej opraw. Na podstawie przeprowadzonych badań zostały sformułowane praktyczne wnioski dotyczące eksploatacji tych opraw.

Słowa kluczowe: diody LED, matryce LED, oprawy oświetleniowe, badania środowiskowe.

Wstęp

Obserwuje się coraz szersze zastosowanie opraw z diodami LED w oświetleniu drogowym. Jest to możliwe dzięki coraz wyższej skuteczności świetlnej diod elektroluminescencyjnych, która staje się porównywalna ze skutecznością świetlną tradycyjnych źródeł światła. Okolicznością ułatwiającą popularyzowanie opraw LED jest również spadek ich cen.

Brak w dostępnej literaturze informacji na temat zachowania się opraw LED w rzeczywistych warunkach eksploatacyjnych, tj. przy zmiennych warunkach pogodowych, a przede wszystkim przy zmiennej temperaturze otoczenia. Trwałość diod LED silnie zależy od temperatury złącza półprzewodnikowe. Efektywność opraw LED zależy więc zarówno od ich konstrukcji, jak i od temperatury otoczenia.

W artykule zostały przedstawione wyniki badań laboratoryjnych, mających na celu określenie wpływu warunków środowiskowych na pracę opraw LED, w tym głównie na wartość strumienia świetlnego.

Badania były przeprowadzone w komorach klimatycznej, w której zmieniano temperaturę otoczenia w szerokim zakresie od -25°C do $+60^{\circ}\text{C}$. Rejestrowano wartość strumienia świetlnego oprawy LED umieszczonej w komorze przy zadanej wartości napięcia zasilającego w funkcji czasu, licząc od momentu załączenia oprawy przez okres jednej godziny. Przed pomiarem obiekt badany był umieszczony w danej temperaturze, aż do ustabilizowania się warunków termicznych.

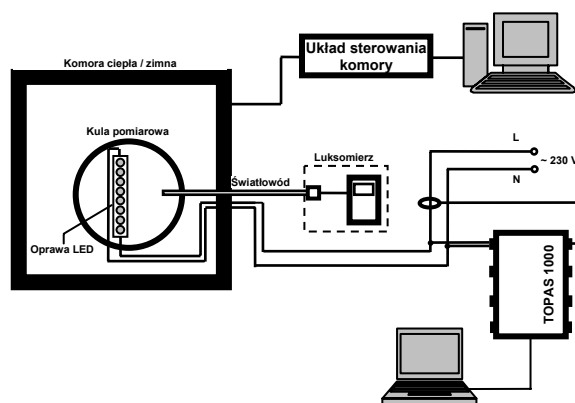
Według literatury [2],[3],[4], wartość strumienia świetlnego modułu LED jest nieliniowa zależna od temperatury złącza i rośnie wraz z jej wzrostem. Wyniki prezentowanych badań klimatycznych miały na celu znalezienie odpowiedzi na następujące zagadnienia:

- Czy i w jaki sposób temperatura otoczenia wpływa na strumień świetlny oprawy LED o różnej konstrukcji?
- Jak długo przy załączeniu od stanu ustalonego termicznie, następuje stabilizacja strumienia świetlnego dla różnych temperatur otoczenia?
- Czy zmiana sposobu zasilania matrycy LED wpływa na uzyskiwaną wartość strumienia świetlnego?

Opis stanowiska badawczego

Na rys.1. został przedstawiony schemat stanowiska badawczego. W komorze klimatycznej umieszczono kulę fotometryczną do pomiaru strumienia świetlnego, zbudowaną zgodnie z wymaganiami procedury tego parametru. W kuli umieszczano badane kompletne oprawy LED. Pomiar strumienia świetlnego wykonano za pomocą luksomierza z ogniwo krzemowe z korekcją $V(\lambda)$. W celu eliminacji błędów pomiarowych spowodowanych zmianami

temperatury otoczenia na parametry fotoogniwa, zostało ono umieszczone poza komorą klimatyczną.



Rys.1. Schemat stanowiska badawczego

Sygnal świetlny do ogniwa był transmitowany za pomocą światłowodu z PMMA o średnicy 12 mm, którego jeden koniec umieszczono w kuli fotometrycznej, a drugi koniec wyprowadzono przez przepust w ścianie komory i zbliżono do powierzchni światłoczułej ogniwa. Do pomiaru strumienia świetlnego wykorzystano luksomierz umożliwiający rejestrację mierzonego sygnału i transfer tych danych do komputera. Równocześnie z pomiarem strumienia świetlnego rejestrowane były przebiegi czasowe parametrów elektrycznych badanych obiektów za pomocą analizatora TOPAS 1000 firmy FLUKE.

Opis obiektów badań i prezentacja uzyskanych wyników

Jako obiekty badań wykorzystano kompletne oprawy z diodami LED, dostępne na rynku krajowym oraz pojedyncza matrycy 8 diodowa (matryca testowa) z różnymi typami zasilaczy (fot.1).

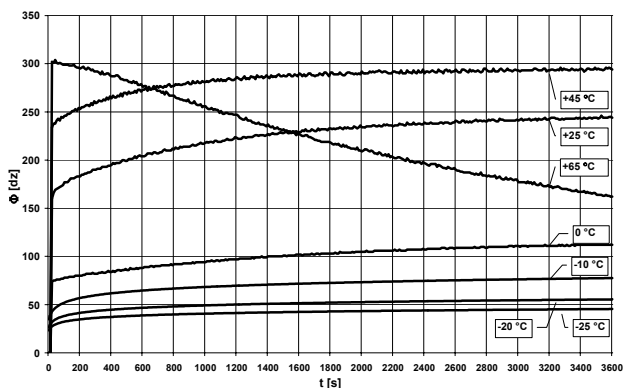


Fot.1. Widok testowej matrycy LED

Zestaw obiektów badań pozwolił na ocenę wpływu zmian temperatury otoczenia na same diody, na rezystancję termiczną radiatorów, na konstrukcję samej obudowy oraz na pracę zasilaczy stanowiących integralną część opraw oświetleniowych.

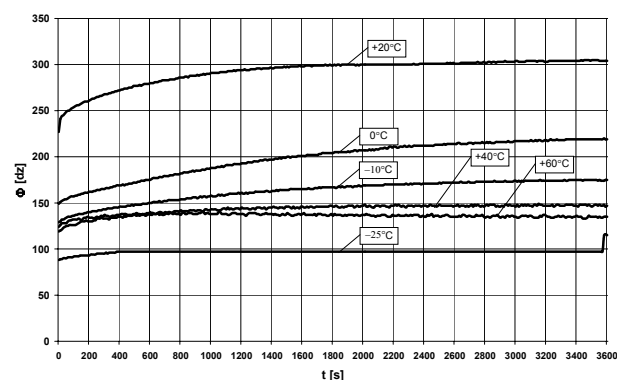
Wpływ temperatury otoczenia na strumień matrycy LED był omówiony przez autorów w literaturze [1].

Na rys.2. zostały przedstawione przebiegi strumienia świetlnego w funkcji czasu dla matrycy testowej dla różnych temperatur otoczenia.



Rys.2. Zmiana strumienia świetlnego w jednostkach względnych dla matrycy 8 diodowej z zasilaczem prądowym [1]

Prezentowane na rys.2 wyniki były uzyskane przy zastosowaniu zasilacza ze stabilizacją prądu. Natomiast na rys.3 prezentowane są wyniki badań dla matrycy testowej z zasilaczem napięciowym.



Rys.3. Zmiana strumienia świetlnego w jednostkach względnych dla matrycy 8 diodowej z zasilaczem napięciowym

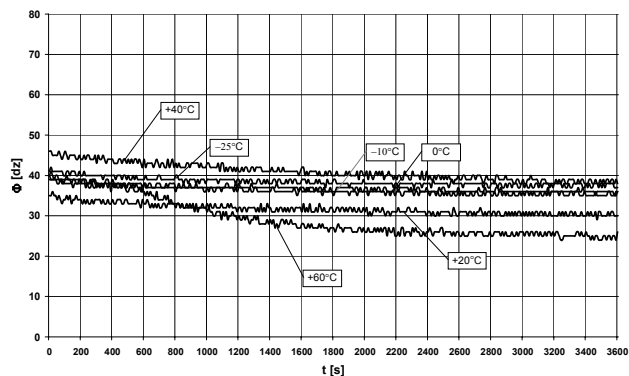
Jak wynika z rys.2 i rys.3, typ zasilacza wpływa w istotny sposób na wartość strumienia świetlnego badanej matrycy LED w funkcji temperatury otoczenia. W obu przypadkach dla temperatury otoczenia -25°C uzyskano najmniejszą wartość strumienia. Bez względu na rodzaj zasilacza spada wartość strumienia świetlnego wraz ze spadkiem temperatury otoczenia w zakresie poniżej +20°C. Zmiana typu zasilacza spowodowała uzyskanie maksymalnej wartości strumienia przy innej temperaturze. Testowa matryca LED bez obudowy silnie reaguje na zmiany temperatury otoczenia.

Kolejne wyniki badań dotyczą dwóch opraw LED, oznaczonych do celów pomiarowych jako oprawa 1 i oprawa 2. Rys. 4 przedstawia zmiany strumienia świetlnego w funkcji czasu dla oprawy 1, rys. 5 – dla oprawy 2.

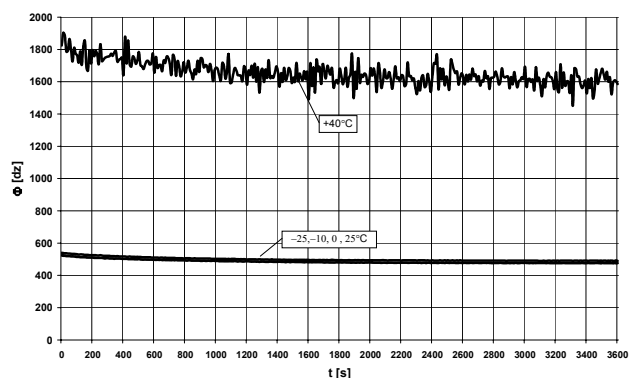
W przypadku opraw LED stwierdzono inną tendencję zmian strumienia w czasie jego stabilizacji niż dla matrycy LED, a mianowicie strumień maleje w funkcji czasu. Może to oznaczać, że oprawy LED wymagają dłuższego niż się

przyjmuje dla opraw tradycyjnych, czasu wygrzewania przed pomiarem parametrów.

Ważnym wnioskiem z prezentowanych badań jest to, że konstrukcja oprawy ma duży wpływ na zależność strumienia opraw od temperatury otoczenia. Dla oprawy 1 różnica w uzyskanej wartości strumienia po jego stabilizacji są dla rozważanego zakresu około kilkunastu procent. Dla oprawy 2 przy temperaturach do + 25°C przebieg zmian strumienia jest praktycznie identyczny.

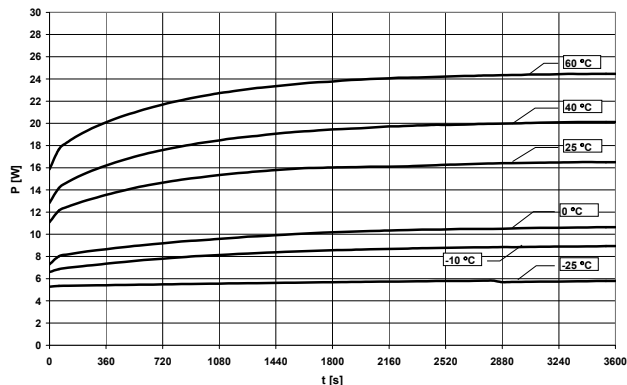


Rys.4. Zmiana strumienia świetlnego w jednostkach względnych dla oprawy 1.

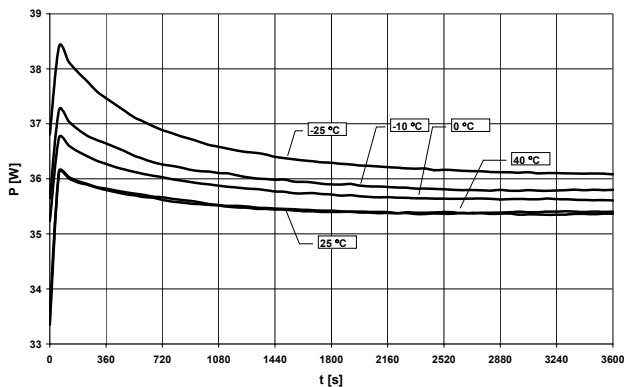


Rys.5. Zmiana strumienia świetlnego w jednostkach względnych dla oprawy 2.

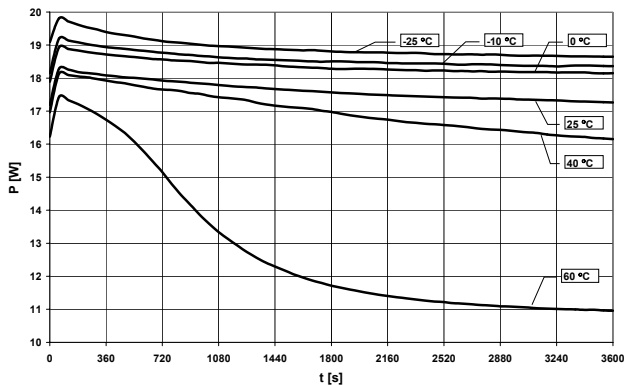
Na rys.6-8 zostały przedstawione przebiegi mocy czynnej pobieranej z sieci w funkcji czasu podczas procesu stabilizacji dla zadanej temperatury. W przypadku matrycy testowej można zaobserwować, że moc wzrasta wraz wartością temperatury otoczenia. Stabilizacja wartości pobieranej mocy następuje po około 45 minutach. W przypadku zmiany temperatury w zakresie od -25°C do 60°C moc w stanie ustalonym rośnie od 5.8 do 24.5 W, co znacząco wpływa na skuteczność świetlną.



Rys.6. Zmiana mocy czynnej w funkcji czasu dla matrycy testowej.



Rys.7. Zmiana mocy czynnej w funkcji czasu dla oprawy 2



Rys.8. Zmiana mocy czynnej w funkcji czasu dla oprawy 1

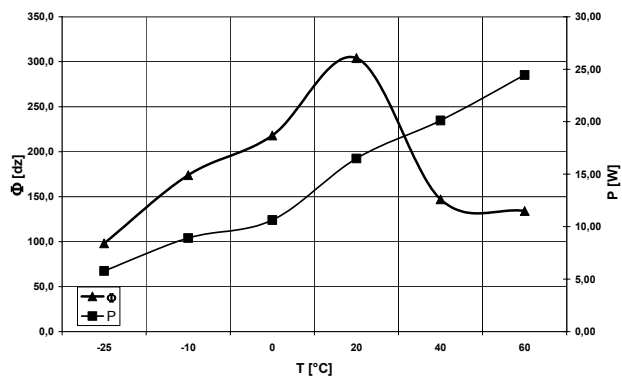
Dla oprawy 1 i 2 analogicznie jak w poprzednim przypadku można przyjąć, że stabilizacja mocy następuje również po czasie 45 minut. W przypadku oprawy 2 zmiana ustalonej wartości mocy jest niewielka. Moc oprawy 1 maleje wraz upływem czasu, podobnie jak dla oprawy 2. Dla temperatury otoczenia 60°C moc oprawy 1 znacznie maleje do wartości 11 W, a dla temperatury 25°C wynosi około 17,5 W. Oprawa 2 w temperaturze 60°C działała prawidłowo, tzn. strumień świetlny znacznie przekroczył wartość znamionową i był niestabilny, co praktycznie uniemożliwiło jego dokładny pomiar.

Ważnym z punktu widzenia efektywności energetycznej instalacji oświetleniowych jest skuteczność świetlna opraw, określana wzorem (1) wg. [5].

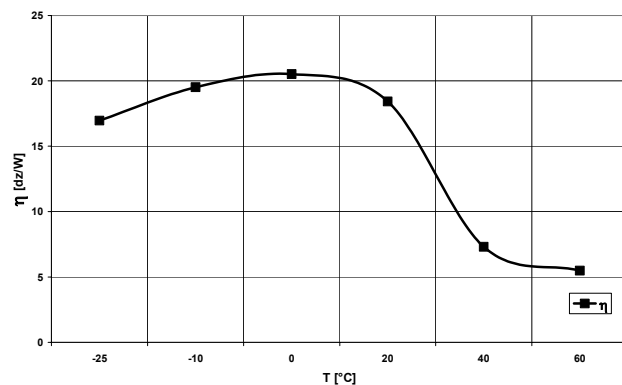
$$(1) \quad \eta = \frac{\Phi_{LED}}{P_{LED}} \quad [lm/W],$$

gdzie: Φ_{LED} – pomierzony strumień świetlny wyrażony w jednostkach względnych do +20°C, P_{LED} – moc oprawy pobierana z sieci zasilającej w [W].

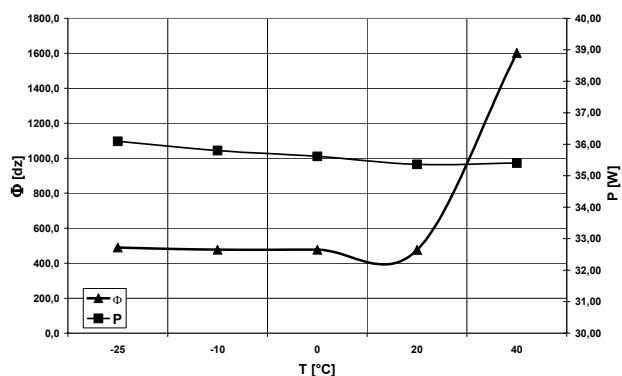
Na rys. 9, 11 i 13 zostały przedstawione przebiegi mocy czynnej i względnego strumienia w funkcji temperatury odpowiednio dla matrycy testowej, oprawy 2 i oprawy 1, a na rys. 10, 12 i 14 zamieszczono wykresy zmian skuteczności świetlnej w funkcji temperatury. Dla matrycy testowej skuteczność świetlna maleje wraz z wzrostem temperatury, zaś skuteczność świetlna opraw 1 i 2 wręcz przeciwnie rośnie. Dla oprawy 2 w zakresie temperatur otoczenia -25°C do 25°C zarówno strumień jak i skuteczność świetlna są praktycznie stałe. Dopiero po przekroczeniu temperatury 25°C obserwuje się wyraźny wzrost tych wielkości.



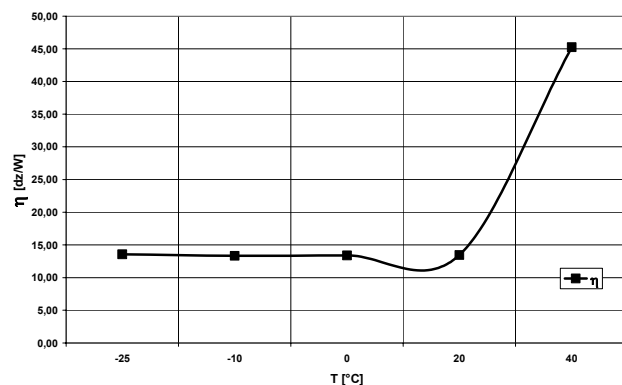
Rys.9. Zmiana mocy czynnej i względnego strumienia świetlnego w funkcji temperatury dla matrycy testowej



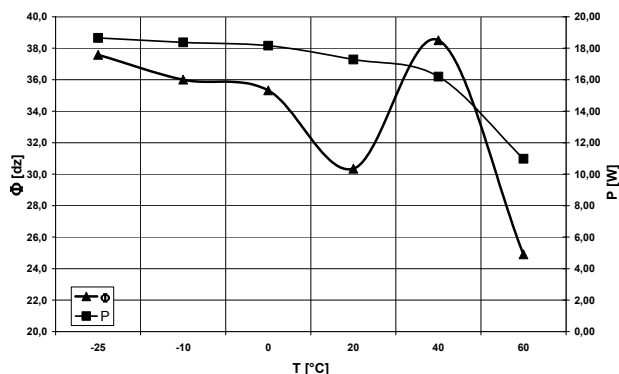
Rys.10. Zmiana skuteczności świetlnej w funkcji temperatury dla matrycy testowej



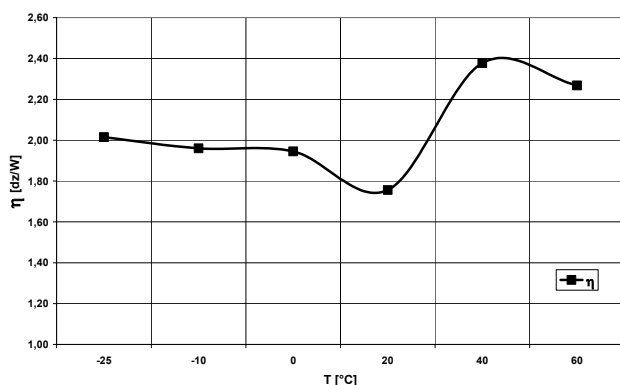
Rys.11. Zmiana mocy czynnej i względnego strumienia świetlnego w funkcji temperatury dla oprawy 2



Rys.12. Zmiana skuteczności świetlnej w funkcji temperatury dla oprawy 2



Rys.13. Zmiana mocy czynnej i względnego strumienia świetlnego w funkcji temperatury dla oprawy 1



Rys.14. Zmiana skuteczności świetlnej w funkcji temperatury dla oprawy 1

Z badanych opraw największą skuteczność świetlną posiada matryca testowa, jednak jej praca jest najbardziej niestabilna i wrażliwa na zmiany temperatury otoczenia. Matryca testowa nie została wyposażona w układ optyczny z założenia pogarszający skuteczność świetlną i nie posiada hermetycznej obudowy, której konstrukcja wpływa na proces chłodzenia diod.

Podsumowanie I wnioski

Na podstawie przeprowadzonych badań doświadczalnych na wybranych egzemplarzach opraw LED oraz matrycy testowej można sformułować następujące wnioski:

- Zastosowanie matrycy LED bez obudowy powoduje znaczne wahania wartości strumienia świetlnego w funkcji temperatury,
- Zmienność strumienia świetlnego w funkcji temperatury otoczenia dla opraw LED zależy od konstrukcji oprawy oraz od typu zasilacza.
- Dla temperatur poniżej +20°C skuteczność świetlna badanych opraw prawie się nie zmienia, różnice zaczynają być widoczne dopiero dla wyższych temperatur.
- Okres stabilizacji parametrów opraw LED jest znacznie dłuższy niż zalecane czasy wyświecania innych źródeł światła.

Na podstawie przeprowadzonych badań można stwierdzić, że przy doborze opraw LED do oświetlenia należy bardzo wnikliwie przeanalizować warunki ich pracy przy wysokich temperaturach otoczenia, możliwych do wystąpienia w warunkach rzeczywistej eksploatacji. Należy zobowiązać dostawców opraw LED do informowania użytkowników o zmianach parametrów tych opraw przewidywanym zakresie temperatur dla danej aplikacji.

LITERATURA

- [1] Pabjańczyk W., Markiewicz P., Sikora R., Gabryjelski Z., „Wpływ warunków środowiskowych na pracę opraw z modułami LED”: „Technika Światła '2009”, VII Ogólnopolska Konferencja Naukowo-Techniczna Warszawa: PTETiS Oddział Warszawski, 2009, 260 s., A4 ISBN 978-83-927653-2-5
- [2] Garcia J., Lamar D.G., Dalla-Costa M.A., Alonso J.M., Rico-Secades M. :”An Estimator of Luminous Flux for Enhanced Control of High Brightness LEDs” , IEEE Xplore 978-1-4244-1668-4/08 ©2008 IEEE
- [3] Biber C. :”LED Light Emission as a Function of Thermal Conditions” IEEE Xplore 978-1-4244-3123-7/08 ©2008 IEEE
- [4] Qin Y., Lin D. ,Hui S.Y. :”A Simple Method for Comparative Study on the Thermal Performance of LEDs and Fluorescent Lamps”, IEEE TRANSACTIONS ON POWER ELECTRONICS, VOL.24, NO.7, JULY 2009
- [5] publikacja elektroniczna :www.als-company.pl

•

-
- **Autorzy:** dr inż. Wiesława Pabjańczyk, Instytut Elektroenergetyki, Politechnika Łódzka, ul. Stefanowskiego 18/22 90-924 Łódź, tel. 042-631-25-93, fax. 042-631-26-06, e-mail: wieslawa.pabjanczyk@p.lodz.pl
 - dr inż. Roman Sikora, Instytut Elektroenergetyki, Politechnika Łódzka, ul. Stefanowskiego 18/22 90-924 Łódź, tel. 042-631-25-93, fax. 042-631-26-06, e-mail: roman.sikora@p.lodz.pl
 - dr inż. Przemysław Markiewicz, Instytut Elektroenergetyki, Politechnika Łódzka, ul. Stefanowskiego 18/22 90-924 Łódź, tel. 042-631-25-93, fax. 042-631-26-06, e-mail: przemyslaw.markiewicz@p.lodz.pl
 - dr inż. Zbigniew Gabryjelski, Instytut Elektroenergetyki, Politechnika Łódzka, ul. Stefanowskiego 18/22 90-924 Łódź, tel. 042-631-25-93, fax. 042-631-26-06, e-mail: zbigniew.gabryjelski@p.lodz.pl

Srovnání životností současných světelných zdrojů

Abstrakt. Tento příspěvek si klade za cíl zhodnotit a srovnat životnosti a parametry používaných světelných zdrojů, tak jak je uvádí odborná literatura a samozřejmě také výrobci. Tyto hodnoty se totiž ne vždy shodují a jsou některé hodnoty, zvláště ty, udávané výrobci, které jsou spíše teoretické a nebyly dosud prakticky ověřeny. V rámci výzkumu v této oblasti hodláme provést několik experimentů, které by měly přinést další poznatky o životnosti světelných zdrojů a to z různých pohledů.

Dalším důležitým faktorem, který může souviset i se životností, je rovněž změna parametrů světelných veličin v průběhu udávané doby životnosti zdrojů a také vlivy, které tyto parametry ovlivňují. I tímto jevem se chceme v daném příspěvku zabývat. Předpokládáme, že příspěvek bude z větší části rešerší dosud publikovaných informací s cílem navrhnout další cesty výzkumu, které by bylo vhodné v nejbližší době provést.

Klíčová slova: světelné zdroje, životnost

Úvod

Životnost světelných zdrojů je jedním z jejich základních parametrů. Zvláště dnes, kdy je účinnost světelných zdrojů, jejich spotřeba elektrické energie a potenciální úspory často diskutovaným tématem, nejen mezi odbornou veřejností, ale také na veřejné úrovni včetně všeobecných médií.

Mnoho výrobců uvádí nové světelné zdroje s lepšími parametry, ale podmínky, za jakých byly tyto zdroje testovány mohou být různé a proto mohou být uváděné údaje zavádějící. Jsou tyto parametry reálné, nebo se výrobci pouze pokoušejí nabízet svůj produkt uváděním nadhodnocených údajů provozních parametrů, zvláště pak životností zdrojů. Moderní zdroje jsou složeny z více prvků. Je prezentovaná životnost platná skutečně pro všechny tyto prvky? Tento článek se tyto otázky pokusí zodpovědět.

Životnosti současných světelných zdrojů

Trh se světelnými zdroji se v poslední době dynamicky a mohutně rozvíjí. Postupně dochází k nahrazování klasických zdrojů, jako jsou žárovky, moderními světelnými zdroji. K tomuto rozvoji samozřejmě přispívá i snaha výrobců takových zdrojů prosadit výměnu starých zdrojů za moderní zdroje legislativně, v našem případě nejlépe přes legislativu evropskou.

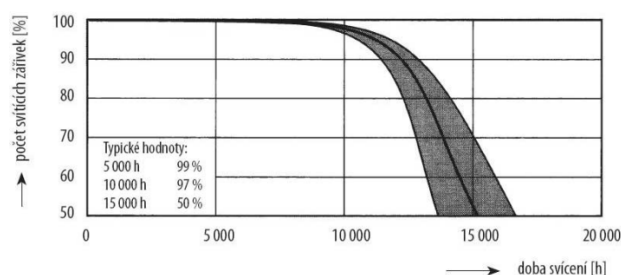
Srovnání běžně uváděných životností standardních zdrojů je uvedeno v Tab. 1. Jak je vidět, životnost klasické žárovky je násobně nižší, než například u zářivky. Zajímavý je údaj o životnosti halogenových žárovek. Vidíme, že obecně uváděné životnosti se u jednotlivých zdrojů liší několiknásobně. Ovšem každá osvětlovací soustava si žádá jiné zdroje a významnou roli hraje samozřejmě cena, protože nelze říci, že by životnost zdrojů rostla s pořizovacími a provozními náklady lineárně.

Tabulka 1. Běžně udávané doby životnosti sv. zdrojů

Typ světelného zdroje	Běžně udávaná životnost
Žárovka klasická	1000 h
Žárovka halogenová	5000 h
Zářivka lineární	10000 h
Halogenidová výbojka	24000 h
Sodíková výbojka	28000 h
LED	50000 - 100000 h

Důležitým údajem o životnosti výbojových zdrojů je křivka jejich vyhoření. Ta udává závislost procentuálního zastoupení z celkového počtu provozovaných zdrojů na době jejich životnosti. Křivky vyhoření zářivek jsou uvedeny

v obr. 1. Rozptyl těchto křivek je dán kvalitou konstrukce zářivek a totožností provedení jejich jednotlivých kusů.



Obr. 1. Křivky vyhoření zářivek T8 [1]

V poslední době jsou také stále častěji diskutované světelné zdroje na bázi LED. Hodně informačních materiálů hovoří o životnosti světelných zdrojů s LED až 100 000 h. Dosáhnout však této životnosti v reálných podmínkách je zřejmě vyloučeno a proto lze tyto údaje brát opravdu jen jako teoretické, resp. dosažitelné pouze za ideálních provozních podmínek.

Životnosti udávané některými výrobci

Při srovnání běžně uváděných údajů s údaji poskytovanými výrobci srovnáme hodnoty s daty výrobců OSRAM a GE Lighting. Údaje o životnosti konkrétních typů jsou uvedeny v tab. 2. a 3. Je vidět, že srovnatelné výrobky od různých renomovaných výrobců mají uvedeny srovnatelné doby životností. U výrobce GE Lighting není uveden zdroj pro LED, protože ho ve svém katalogu zdrojů nemá uveden.

Tabulka 2. Životnosti zdrojů OSRAM [2]

Typ sv. zdroje	Udávaná životnost	Model
Žárovka halogenová	2000 h	Halogen Classic A ECO 52 W
Zářivka lineární	20000 h	Lumilux T8 30W/827
Halogenidová výbojka	12000 h	Powerball HCI-T 100W/830
Sodíková výbojka	28000 h	Vialox NAV-E Super 4Y 100 W
LED	25000 h	Parathom Classic A 40 8 W

Tabulka 3. Životnosti zdrojů GE Lighting [3]

Typ sv. zdroje	Udávaná životnost	Model
Žárovka halogenová	2000 h	Halo GLS 60W
Zářivka lineární	15000 h	T8 Polylux XLR 30W/827
Halogenidová výbojka	12000 h	ConstantColor 100W/830
Sodíková výbojka	28500 h	Lucalox T 150W

U těchto výrobců lze tedy předpokládat určitou shodu v kvalitě dodávaných zdrojů. Jak je to mu ovšem u výrobců, např. z rozvojových zemí a jejich kontrolou jakosti si lze podle běžné kvality ostatních takovýchto výrobků představit.

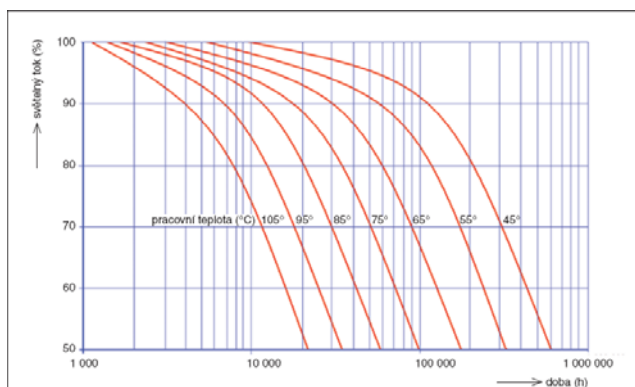
Otázka kvality provedení a s tím související životnosti může být pozorována u jednotlivých komponentů světelných zdrojů zvláště. Ať už se jedná o kvalitu materiálů použitého pro výrobu elektrod, kvalitu skla, luminoforu až po kvalitu celkového provedení předřadné elektroniky, která může být zrovna tak limitujícím faktorem pro životnost světelných zdrojů, jako provedení samotného zdroje světla, pokud je s tímto pevně spojena v jeden nerozebíratelný výrobek.

Nové provedení výbojek také ovlivňuje životnost těchto typů zdrojů. Například provedení předřadníku ovlivňuje životnost světelných výbojových zdrojů, protože novější typy předřadníků na elektronickém principu umožňují prodloužení životnosti díky technologii teplého startu. Také dříve používaná rtuť, v jejíž parách probíhá hoření oblouku, je v novějších typech zdrojů již vázána ve formě amalgámu, jehož vliv na luminofor není tak výrazný a proto umožňuje snížit rychlost jeho degradace. Použití amalgámu namísto rtuti má také za následek lepší stabilizaci hoření oblouku v průběhu aktivního provozu zářivky.

U světelných zdrojů na bázi LED se dnes obecně uvádí až 100 000 hodin. To samozřejmě značně závisí na mnoha jiných faktorech, než jen na provedení LED samotných. Významný je např. vliv teploty, jak je vidět na obr. 2. Proto je nutné dobré provedení chlazení svítidla, které bude použito pro LED zdroje.

Jak je vidět, od veřejně proklamovaného údaje o životnosti 100 000 hodin se udávaná životnost u významných výrobců liší již značně. Výrobci zdrojů (např. CREE) sice udávají možnost života 80 – 100 tisíc hodin, ale pouze za určitých podmínek. Proto například u společnosti OSRAM je světelný zdroj na bázi LED (náhrada klasické žárovky 40 W) uváděn se životností „pouze“ 25 000 hodin.

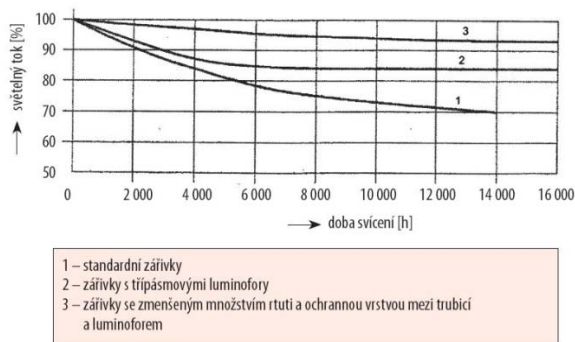
Jako nutné se samozřejmě také jeví zjistit, jaké parametry vstupních veličin je nutno udržovat v předepsaných mezích a jak by jejich nedodržení mohlo ovlivnit životnost světelných zdrojů. Mezi tyto veličiny jistě bude patřit okolní teplota, napájecí napětí, jeho frekvence, proud, aj.



Obr. 2. Životnost a světelný tok zdrojů LED v závislosti na teplotě [4]

Změny parametrů zdrojů v průběhu jejich životnosti

V průběhu života světelných zdrojů se mění jejich kvalitativní a kvantitativní parametry. Nejčastějším problémem je pokles světelného toku. Ten nastává u všech výbojových zdrojů světla. Příklad poklesu světelného toku zářivek je na obr. 3.



Obr. 3. Pokles světelného toku v průběhu životnosti zářivek [1]

Tomuto jevu samozřejmě nelze zabránit. Při znalosti průběhu tohoto poklesu u konkrétních světelných zdrojů však lze s takovýmto poklesem počítat a navrhnout osvětlovací soustavu s dostatečnou rezervou světelného výkonu. Pro zabezpečení rovnoměrného průběhu tohoto poklesu je samozřejmě nutné používat zdroje stejného typu, nejlépe od jednoho výrobce a to v celé konkrétní osvětlovací soustavě.

Proto se hodláme zabývat i tímto jevem a to u všech běžně využívaných i moderních světelných zdrojů. S tím samozřejmě souvisí i návrh měřicího zařízení, které by bylo schopno tyto parametry zaznamenávat a ty mohly být poté zpracovány.

Návrh metody pro měření parametrů světelných zdrojů

Průběh kvalitativních a kvantitativních parametrů však nelze sledovat při nepřetržitém provozu, protože tím dostatečně nenahrazujeme reálný provoz světelného zdroje. Výrobci sice simulují reálný provoz jistými metodami, jako je stanovení počtu spínacích cyklů za časové období, je však otázkou, zda je takováto zkouška dostatečně odpovídající.

Proto se jeví jako výhodné, nejprve zjistit, jak jsou světelné zdroje využívány v reálném provozu v různých aplikacích. Zcela jistě bude rozdíl v provozním zatížení zdrojů v domácnosti, na toaletě, či v obytných místnostech, nebo naopak ve veřejných budovách, v jejich chodbách, místnostech, výtazích apod. S touto znalostí pak lze simulovat využití různých typů zdrojů v různých konkrétních aplikacích a tím pádem lépe využívat vhodné zdroje do konkrétních osvětlovacích soustav, jak na základě sledovaných kvalitativních parametrů osvětlení, tak i na základě pořizovacích a provozních nákladů, souvisejících s ekonomickým hlediskem při návrhu konkrétních osvětlovacích aplikací.

Na životnost světelných zdrojů, resp. na životnost svítidel včetně předřadné elektroniky mohou mít vliv i parametry vstupních veličin, jakožto zejména kolísání vstupního napětí a frekvence. Tento jev je sice silně eliminován právě předřadnou elektronikou u moderních zdrojů na rozdíl od běžných žárovek, kde je závislost vyzářovaného světelného toku na napětí značná, ale při velkém kolísání těchto parametrů se může značně snížit životnost i předřadné elektroniky. Proto bude nutné provést měření, které zohlední tyto vlivy přicházející ze sítě, jako jsou vliv přepětí, nadproudů, vliv kolísání frekvence apod.

Závěr

Životnost světelných zdrojů je různá podle druhu světelného zdroje. Údaje renomovaných výrobců se u podobných typů zdrojů shodují a víceméně odpovídají i obecně uváděným hodnotám, prezentovaným v odborné literatuře.

Je však otázka, nakolik tyto hodnoty odpovídají skutečnému provozu v osvětlovacích soustavách, z nichž každá taková soustava je provozována zcela samostatně a rozdíly podle umístění, roční doby, ale např. i druhu budovy mohou být diametrálně odlišné. Proto by bylo vhodné nejprve zjistit typické provozní charakteristiky jednotlivých typů osvětlovacích soustav a poté v rámci těchto ověřených údajů teprve zjišťovat životnost konkrétních světelných zdrojů, vhodných pro danou aplikaci.

Dalším problémem je změna kvalitativních a kvantitativních parametrů v průběhu života zdrojů. Tu je důležité mít na paměti při návrhu konkrétních osvětlovacích soustav a při návrhu toto zohlednit.

Důležitým faktorem pro životnost světelných zdrojů mohou být i parametry vstupních veličin, jako proudu, napětí, frekvence, atd. Proto je nutné tyto také zohlednit při výzkumu životnosti světelných zdrojů, kterému se hodláme v nejbližší době intenzivně věnovat.

Poděkování

Tento příspěvek obsahuje výsledky výzkumné práce financované z projektu č. MSM0021630516 Ministerstva školství, mládeže a tělovýchovy České Republiky.

LITERATURA

- [1] Dvořáček, V., Světelné zdroje – lineární zářivky, časopis Světlo 2008/2, str. 56-58, ISSN 1212-0812.
- [2] Osram. *Osram product catalog* [online]. 20. dubna 2010, 20. dubna 2010 [cit. 2010-04-20]. Product catalog. Dostupné z WWW: <http://catalog.myosram.com/>
- [3] GE Lighting, *Ge Lighting Product catalog* [online]. 20. dubna 2010 [cit. 2010-04-20]. Product catalog. Dostupné z WWW: www.gelighting.com
- [4] Maixner, T., Skála, J., Svítidla LED ve veřejném osvětlení – mýty a skutečnosti, časopis Světlo 2009/5, str. 58-61, ISSN 1212-0812.

Autoři: Ing. Tomáš Pavelka, Vysoké Učení Technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, Ústav elektroenergetiky, Technická 2848/8, 61600 Brno E-mail: xpavel18@stud.feec.vutbr.cz; doc. Ing. Petr Baxant, PhD., Vysoké Učení Technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, Ústav elektroenergetiky, Technická 2848/8, 61600 Brno E-mail: baxant@feec.vutbr.cz

Estimation of equivalence colour contrast and luminance within Illumination

Keywords : illumination, luminance contrast, colour contrast, LED, questionnaire

Introduction

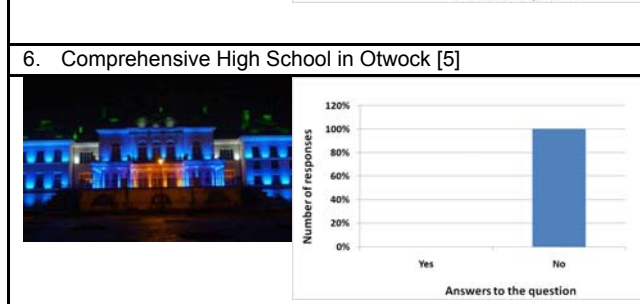
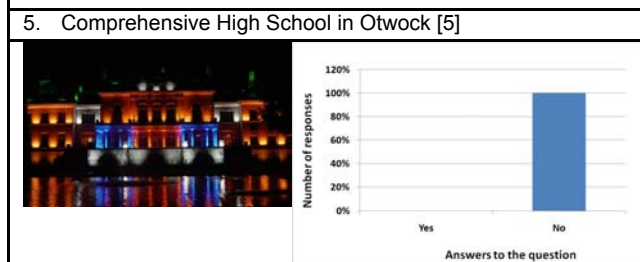
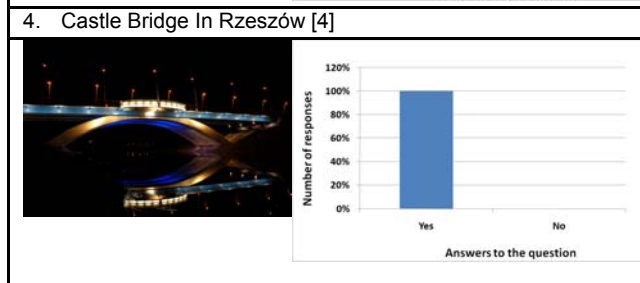
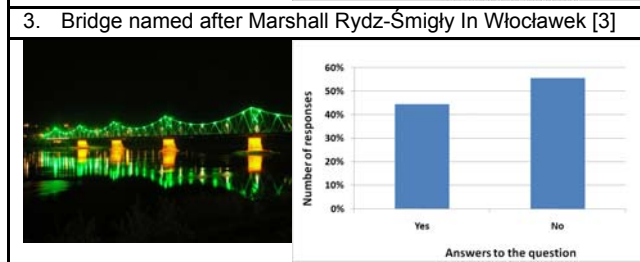
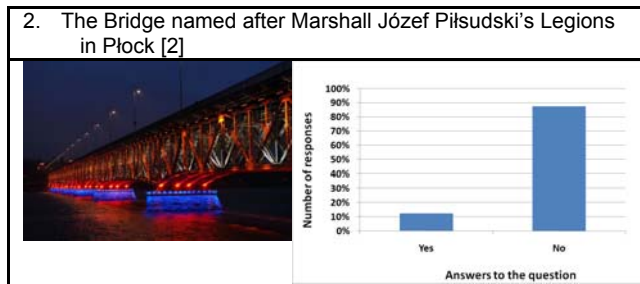
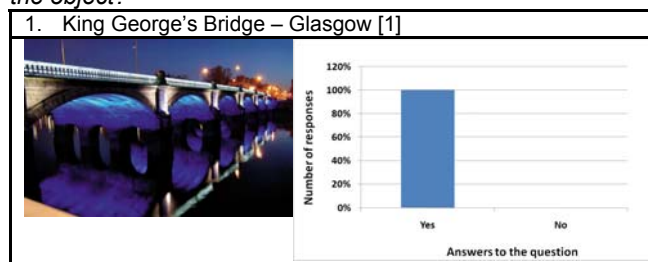
Illuminated objects can be seen in many cities and they frequently serve as the mark and a good advertisement for the place. People identify such sights with a given place. They are generally churches, town halls, palaces, towers, bridges and flyovers as well as certain plants and trees. They are illuminated by various methods. Some of them are flooded all over with light, whereas in others only certain architectural details and/or construction elements are highlighted. Still others are illuminated by means of a mixed method. The prevailing method, however, is the one in which colour contrast is applied instead of the luminance contrast. Dynamic luminance can be seen in many places, where smooth colours keep changing while illuminating objects. It results from continual development of sources of light, primarily due to usage of electroluminescence diodes. The question arises as to whether colour illumination is widely approved of by both city dwellers and tourists. To answer the question numerous surveys concerning the application of colour in illumination and the possibility of replacing luminance contrast with colour contrast have been conducted.

Research into application of colour in illumination

In order to obtain results of response to the question what types of illumination are widely approved of by respondents, many surveys have been conducted, the task of which was to learn which photo realization of colour light of objects with the simultaneous application of colour contrast were estimated the best. Each respondent was shown six samples of colour illumination and then asked whether they liked the colours used to illuminate a given object.

The photographs shown to respondents as well as the results of the survey are being presented in Table 1.







Table 1. Photographs show to respondents and responses to the question "Do you like the colours used to illuminate the object?"



The results of the survey, in which 21 respondents took place, prove that application of new methods of illumination do not enjoy great popularity. Deliberate choice of colour used to illuminate a given object frequently results in its unnatural appearance. It is clearly seen that only the combination of blue and white is approved and it is only true in case of bridges (cf positions/items 1 and 3 in Table 1). Application of the cold colour seems to be natural if the illuminated object happens to be located near a river or lake, which is generally associated with blue. In case of illuminating a light beige elevation of a building with blue light, the effect is unnatural. The effect seems to be even worse if the combination of orange and green is used (cf position 5 and 6 in Table 1) Colour contrast of red, blue, and orange applied to illuminate the bridge in Ptock was generally perceived likewise. Thus the research proves that objects illuminated with white gained most approval. To highlight space and certain architectural details it appears to be worth diversifying colour temperature and maintain detachment from the matter of application of intense saturated colour.

As for acceptability of colour illumination, a similar tendency can be seen when varicoloured light is used to highlight trees. The majority of respondents were for white light in that case. The results are presented in Table 2. As many as 86% of respondents were of the opinion that neutral white light was the most suitable. Greenery illuminated with warm or cold colour temperature did not win great recognition either. It was with surprise that we learnt that as many as 44% of respondents approved of trees illuminated by red light, as such light is not natural. It may have been due to the fact that the survey was being conducted in autumn when leaves turn yellow or red. If the survey were conducted in spring time, the results might be different.

Table 2. Research into the level of acceptability of trees illuminated by varicoloured light.

		
89%	67%	56%
		
44%	11%	11%

Sources of Light used to create colour contrast

The question arises whether application of colour light to illuminate objects has any advantages. The answer is YES.

LEDs, which are getting more and more popular nowadays, when used to illuminate objects in colour, show the same luminous efficiency, and it is even higher when compared with diodes which emit white light. (Figure 1) if we work on the assumption that all the sources are characteristic of the same wattage [6]. It can be clearly seen that application of red, green and amber diodes results in more luminous flux than in case of white LEDs. If luminance contrast is replaced by colour contrast, more luminous flux is pointed at the object. As it appears to be easy to dim these sources of light, it is possible to diminish the beam of light, and the wattage of luminaire at the same time. Here is the principal advantage.

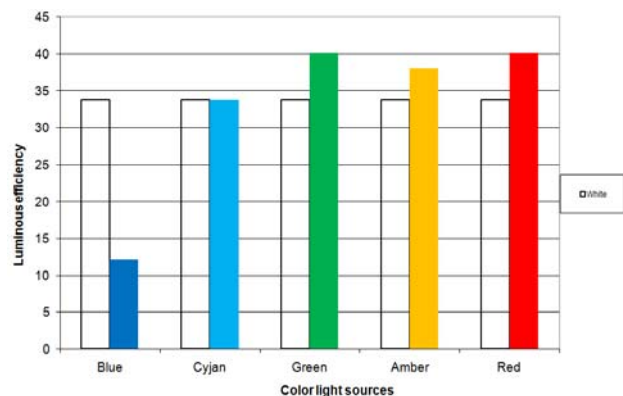


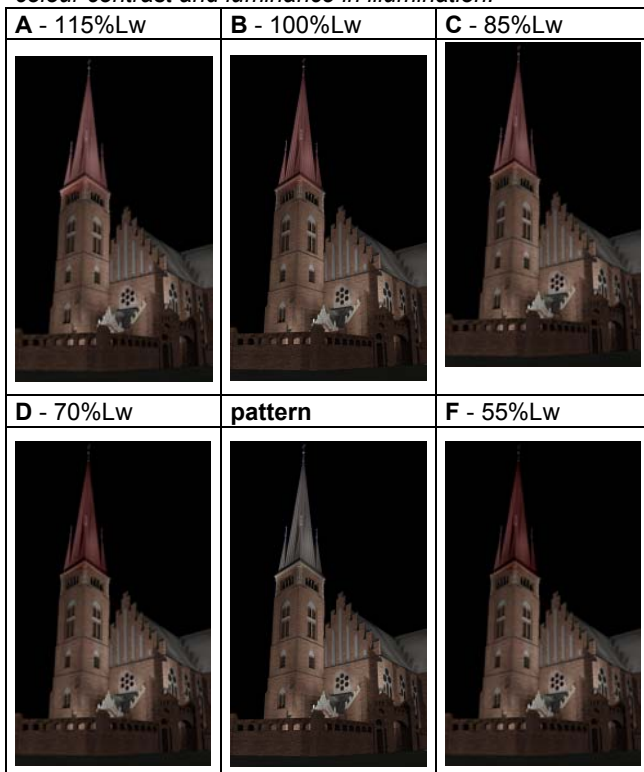
Fig. 1 Comparison of efficiency of light LEDs.

Advantages resulting from application of colour contrast in illumination

The additional chief asset concerning illuminating buildings by colour light are proved by the results of our research into luminance contrast equivalence and colour contrast in illumination. Our queries showed that when white light was replaced by red, green or blue, it was necessary to reduce the beam of light, which was proved by our respondents' opinions: with a given object being illuminated by luminance contrast and colour contrast, the respondents suggested that the luminance level of objects illuminated by white light should be reduced so as to make the same impression while using white light. Our respondents were shown five photographs of St. Mary-Magdalene's Church in Rabka (Table 3) with the cupola illuminated by red light. In photograph A, the cupola's level of luminance was increased by 15% as compared with the level of luminance of the model lit by neutral white light. In photograph B, the level of luminance was the same as that of the model. In photograph C, the level of cupola luminance was reduced by 15% as compared with the model, and the levels concerning D and E were reduced by 30% and 45% respectively.

The results are presented in Figure 2. It is clearly seen that the majority of respondents (38%) were in favour of photograph C, being equivalent to the model on the grounds of contrast with it. To sum up, the illumination level of the tower cupola lit with red light can be reduced by about 15%, and the exposition of the cupola will remain the same. Decreasing the level of luminance is connected with the reduction of both the light beam and the wattage of luminaire as well.

Table 3. A set of photographs shown to respondents participating in the survey concerning the equivalence of colour contrast and luminance in illumination.



Final results

More and more colour illumination can be seen nowadays. Our research proves that it is not always approved of. People are not fully satisfied with that kind of illumination at night. What is expected is more natural method of illumination of buildings and objects. Such an attitude seems to be dependent on such factors as the origin, cultural heritage, religion, etc. The fact that colour light does not accompany the night should be taken into consideration in that particular respect. Owing to such method of illumination consumption of electricity can be greatly reduced, which is vital in terms of ecological trends.

Materials

- [1] http://www.philips.swiatlo.pl/referencje/philips-na-swiecie/most_krola_jerzego_glasgow
- [2] http://www.philips.swiatlo.pl/referencje/iluminacje/most_plock
- [3] http://www.philips.swiatlo.pl/referencje/iluminacje/oswietlenie_most_Wloclawek
- [4] <http://www.rzeszow.pl/galeria/1508,rzesz-w-noc.html>
- [5] <http://www.otwock24.home.pl/?p=803>
- [6] Brochure: Lumileds future electronics all in 1 plug&play guide European version

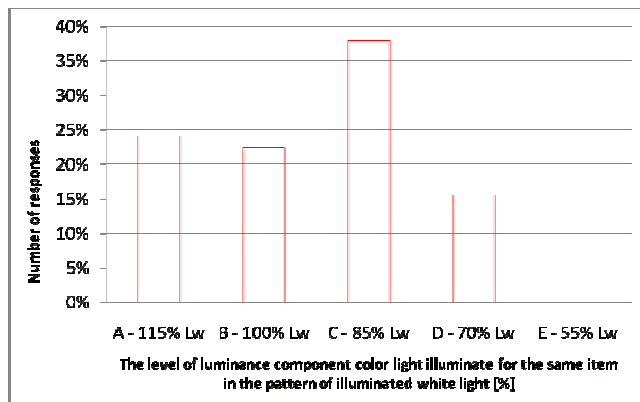


Fig. 2. The results of the survey concerning establishing the most favourable option of illuminating a cupola by red light in order to obtain the same effect as in case of applying white light.

Local Lighting Luminaires for People with Eyesight Impairments

Abstract. The paper presents lighting preferences of people with moderately impaired eyesight as well as suggestions for lighting of work places for that group of people, based on foreign literature. The main principles were estimated for a luminaire provided for additional lighting of working places for people with eyesight impairments. It presents also design of such luminaire prepared in CIOP-PIB, together with measurement results of its lighting parameters.

Keywords: High power LED diode; Colour temperature; Luminous intensity distribution; Eyesight impaired people.

Introduction

According to the data in possession of the Polish Association of the Blind, the number of people with severe and mediocre eyesight impairments registered for all the age groups is equal to 61 526 [8] and the number of working blind people amounts to 5396. Limited eyesight performance, which additionally deteriorates with age, very frequently prevents people not only from performing any precision work but also from performing such simple activities as reading or moving around. One of the secondary effects may include depression, premature retreat from the professional and social life. Under the conditions of lowered illumination, it is possible to observe deterioration of eyesight performance at the dusk and accommodation to darkness, especially in this group of people. That is why proper lighting with ability to adjust its intensity is included in the group of non-optical assistance measures, facilitating life of such people.

People with eyesight impairments represent a group of workers who should have guaranteed lighting conditions adjusted to the requirements of their functionally restricted eyesight. However, until today the necessary lighting parameters and the preferred lighting system for compartments and work places designated for such people have not been defined. Following the fact that the market is not offering any lighting system designed for work places for workers with eyesight impairments, it was decided to work out such system. The most important part of it is local luminaire that has to supply additional light on the working place. Following the fact that eyesight impaired people have very different eyesight requirements which may vary during the day, the possibility of adjusting of lighting levels on work places accordingly to the sort of task made, is very essential [3, 7, 9]. The colour temperature has to be regulated too. The luminaire has to be equipped with electronic ignition system in order to avoid inconvenient blinking light when fluorescent lamps are used. Such kind of lighting has to be uniform, not causing glare and hurting reflections. The luminaire can not be situated low or at the side of working place because appearing shades may disturb the work. The lighting part of the luminaire can not be situated over the working place especially over the head of sitting worker. The body of the luminaire can not be worn too much. According the foreign literature people with eyesight impairments may see much worse in the fluorescent lighting. The conclusion of the above guidelines is that the most appropriate light source that can be used in the model of luminaire are high power light emitting diodes (LEDs).

The existing standards of luminaires for eyesight impaired people

Only laconic references were included in the existing standards covering the issues of electrical lighting. There

are no investigations and design made for real work places that would provide safe and comfortable work conditions. The requirements of European Lighting Norm [11] are only related with the necessity of "increasing the required exploitation lighting levels for employees whose eyesight capacity is under the standard". Therefore, it is necessary to elaborate the appropriate lighting recommendations, which have to be based on the results of experimental work. In order to carry out such experimental work, it is necessary to produce a local lighting luminaire, which would be then included in the overall lighting system designated for illumination of work places for people with limited eyesight impairments.

Last year's publications [1, 2, 4, 5] brought some information about increased number of investigations on physiological and psychological limits of eyesight impaired people and gave some descriptions of features that influence on performance of duties of that group of people. Investigations published in [1] were devoted for lighting preferences of eyesight impaired people that work in offices. Local luminaires that have been used in that researches were conventional and of not the best quality. Figure 1 presents the types of them. The control was very short and concentrated on addressing envelopes and reading of a text from the PC screen. The time of performance and number of mistakes were the evidence of eyes fatigue. Unfortunately that investigations didn't give any substantial conclusions.



Fig. 1. Luminaires used in researches of eyes fatigue of eyesight impaired people

CIE publication [9] devoted for lighting problems concerned eyesight impaired people gives also some proposals of typical local lighting luminaires (see Figure 2) as additional lighting of work places.

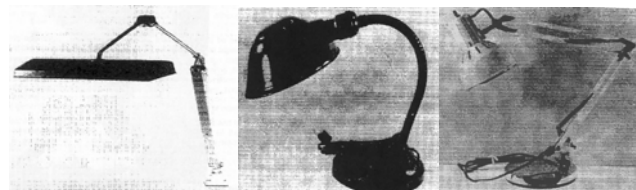


Fig. 2. Typical local lighting luminaires proposed by CIE [9]

Two of that luminaires use incandescent lamps as the source of light, the third uses compact fluorescent lamp. None of that luminaires has the possibility of luminous flux and colour temperature adjustment. As it is shown at the

picture, one of the luminaire has even no possibility of its height regulation. The CIE Publication [9] gives some recommendations for additional lighting of “riding corner” by using floor luminaire (see Figure 3). It is possible to regulate the height of that luminaire but light flux and colour temperature can not be adjusted.



Fig. 3. Luminaire for additional lighting of “riding corner” [9]

Specialists of the Polish Association of the Blind recommend two types of luminaires – made of SCHWEIZER and DAYLIGHT for the additional lighting for work places of eye impaired people. The design of both luminaries is generally similar. Compact fluorescent lamps 11 or 18 W are used. Adjusting of their light temperature is possible – from warm, through medium to cold (see Fig. 4).



Fig. 4. Some SCHWEIZER local luminaires [13]

None of that luminaires has the possibility of light flux and colour temperature adjustment. One of them is equipped with electronic ignition. Figure 5 presents SCHWEIZER luminaire that can use two fluorescent lamps at one time, one of cold colour temperature, second of warm.



Fig. 5. SCHWEIZER luminaire that can use two fluorescent lamps of different colour temperature [13]

DAYLIGHT company either offers floor luminaires and local luminaires. The standing lamps are equipped with compact fluorescent lamps of cold colour temperature. Figure 6 presents two examples of them, one of which has its height adjustable. Both of them has to be located just over the working place. Neither of them has light flux and colour temperature adjustable.



Fig. 6. Some DAYLIGHT floor luminaires [12]

DAYLIGHT offers also some local luminaires using 11 W, 13 W or two 15 W fluorescent lamps (see Figure 7) with colour rendering index exceeding 80 and any chosen colour temperature. The Twist’ luminaire is equipped with fluorescent lamp of 13 W, electronic ignition system that eliminates flickering and stroboscope effect. It gives large angle of lighting.



Fig. 7. Some DAYLIGHT local luminaires with fluorescent lamp of 11 W and 13 W [12]

An interesting solution is offered in the series of luminaires that are equipped with reading glass of diameter 13 mm, magnifying 1,75 times. It is mounted on spring arm of the length 46 cm and is illuminated directly by luminaire that is over it. Fluorescent lamps of 11,18 and 20 W were applied (see Figure 8). That kind of luminaires are used for performance of various hand work.



Fig. 8. Some DAYLIGHT local luminaires equipped with reading glass [12]

The eye work made with the application of these luminaires (see Figure 8) is significantly less tiring than with the luminaire presented on the Figure no 9 that is equipped with reading glass too. The reading glass is not lighted directly but it is illuminated around its circuit by round fluorescent lamp of 22 W. The reason of quicker eye fatigue is picture deformation that occurs around the reading glass. The glass can magnify 1,75 or 2,25 times and its diameter may amount 13 cm.



Fig. 9. The local DAYLIGHT luminaire with illuminated reading glass [12]

Another interesting design of DAYLIGHT is local Slimline luminaire, where 11 W fluorescent lamp of very small diameter, type T2, was applied.



Fig. 10. DAYLIGHT local Slimline luminaire with T2 11 W fluorescent lamp [12]

As it is easy to notice the above presented examples of luminaires offered for mediocre eyesight impaired people do not provide the possibility of flexible adjustment of illuminance on working surface neither the colour temperature nor the height of the luminaire.

Design assumptions for local lighting luminaire

Due to market unavailability of the lighting equipment designated for lighting workplaces for people with limited eyesight impairments, experimental work was undertaken in cooperation with CIOP-PIB aiming at designing such a system, taking into consideration particular requirements of this group of people. The critical element of such a system is the local lighting luminaire, which is responsible for providing additional illumination for the target work place. Based on the existing literature [3, 7, 9], it can be concluded that such a luminaire should have (among the others) the following features:

- the optical-lighting system should guarantee an asymmetric light distribution, i.e. the optical centre of such a system cannot be located directly over the working plane
- the assumed target eyesight area should be illuminated with the average illumination not lower than 1500 lx with the ability of continuous regulation and normative [3] uniformity ($\delta \geq 0.7$)
- colour temperature emitted by the designed luminaire should be regulated in a continuous manner between the intermediate (cold-white) and cold (daylight) colour
- the colour rendering index should be equal to approximately 80
- the distance between the light emitting section of the luminaire and the target area should be equal to approximately 1 metre, with the ability of continuous regulation up and down
- heat emission from the lighting-optical system of the luminaire should be limited as far as possible.

Based on the conducted review of the available local lighting luminaires, recommended for people with limited eyesight impairment, it was concluded that luminaires meeting such requirements are not offered by any company. In case of local luminaires with fluorescent lamps, it is possible to utilize light sources with different, available colour temperatures, though always with the same colour, without the possibility of their regulation. If the given luminaire illuminates the working area with a high level of illumination and good uniformity, then at a small distance. In any other case, the distance to the luminaire is regulated and may be equal to 1 metre, but the luminaire must be located directly over the working surface, i.e. directly over the head of the working person. No luminaire available on the market is equipped with the system for illumination level regulation, even though such systems are well known and commonly used in luminaires with light bulbs or fluorescent lamps. In relation with that, the only light sources which could meet the predefined assumptions are the high power light emitting diodes (LEDs).

Construction of a luminaire model

In the recent years, we have witnessed a dynamic evolution of light emitting diodes. They are applied nowadays not only in general signalization devices but also increasingly frequently in luminaires. For the lighting purposes, high power light emitting diodes with the total power on the order of 1÷6 W and the luminous flux of above 100 lm are already in use. All the high power light emitting diodes have luminous intensity distribution curves similar to the Lambertian (cosine) distribution, which allows for achieving uniform illumination on the working surface and

limits the glare. They are point light sources with luminance ranging between 1 Mcd/m^2 to 10 Mcd/m^2 , which is comparable with filaments in light bulbs in the main sequence. Therefore, to allow for the light emitting diodes to be used for illumination of work place with different levels of visual task complexity, it is necessary to assemble them in luminaires equipped with properly selected lighting-optical systems.

In the luminaire model developed in Central Institute of Labour Protection, the latest generation of high power K2-type light emitting diodes were used in the star version. The luminous flux emitted by such diodes is equal to 114 lm (at the nominal current 1000 mA), according to manufacturer declarations. The maximum current for which the diode junction is rated is equal to 1500 mA [10].

In the developed model of the target luminaire, the optical system contains (apart from the K2-type light emitting diode) a lens with the luminous flux distribution angle equal to 22° . Based on the initial examination, it was confirmed that application of only six such diodes with proper lens, the optical axes of which are shifted relative to each other along both the x and y axes by 20 cm (see Figure 11), may achieve the target average level and uniformity of illumination.

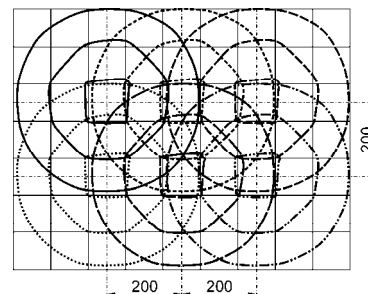


Fig. 11. A system comprising 6 light emitting diodes with shifted axes, which achieves large lighting uniformity on the target area with dimensions of 0.4 x 0.8 m

In the final version of the luminaire, in total 12 light emitting diodes were used - 6 with cold (daylight) colour and 6 with intermediate (cold-white) colour. This is caused by the required range of colour temperature regulation while maintaining the target illumination at the minimum value of 1500 lx. The diodes were distributed in three rows, 4 pieces per row (see Figure 12 a), while each row contains two diodes with cold colour and two diode with intermediate colour. In the case of light emitting diodes with colour, the colour rendering index declared by the manufacturer is equal to 70, with the typical colour temperature of 6500 K. However, according to the manufacturer's catalogue data, the distribution of the colour temperature for this particular light emitting diode type is quite large and ranges from 4500 to 12 000 K [10]. On the other hand, according to the manufacturer's declarations, the colour rendering index for the light emitting diode with the intermediate colour is equal to 75, with the typical colour temperature of 4100 K (with distribution ranging from 3500 to 4500 K) [10]. As presented on Figure 12 a, the luminaire model (without assembled shields) included also radiators, on which individual light emitting diodes together with lens were mounted.

Light emitting diodes with individual colours are connected in series and each row has the ability of independent regulation of the emitted luminous flux, achieved thanks to the PWM (*Pulse-width modulation*) method, which in turns achieves high precision and simplicity in terms of device control. In the manufactured luminaire model, the current signal regulation was achieved

through changes in the duty cycle for the rectangular current impulse with the maximum value of 1200 mA at the frequency of approximately 1000 Hz. This method is recommended by manufacturers of high-power light emitting diodes, since during the process of regulating the emitted luminous flux it affects the qualitative parameters of the emitted light to a much smaller degree when compared with simple DC current control. The whole system is powered with a current stabilized (4.5 A) 24 V power supply. Since the current flowing through each of the system branches has the maximum value of 1200 mA, assuming the total voltage drop per light emitting diode at 3.72 V (according to manufacturer's data [10]), the total power used per diode is equal to 4.5 W. Thus the total power consumed by the examined luminaire model, accounting for loss in the power supply, is equal to 70.6 W. When designing and implementing the luminaire model, manufacturer's requirements in terms of working temperature (providing proper cooling) and electrical connection system were taken into consideration. In the manufactured luminaire model, each of the installed light emitting diodes was assembled on a radiator with the total length of 40 mm (see Figure 12 a) which guaranteed that the proper thermal resistance was achieved, equal to approximately 8°C/W, that is two times more than the maximum acceptable thermal resistance required by the manufacturer. Figure 12 b) presents the local lighting luminaire model with the assembled shields on individual light sources.

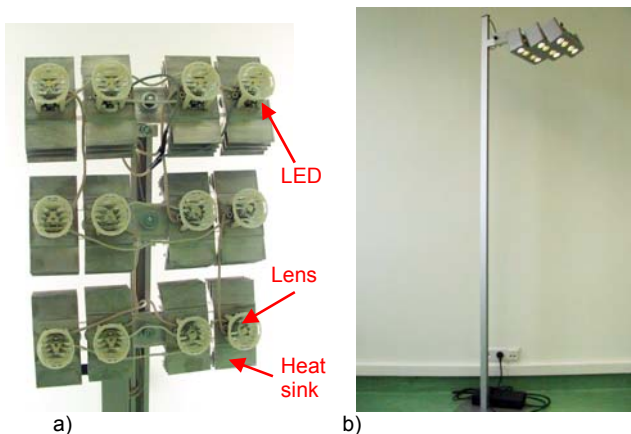


Fig. 12. a) the designed model of a luminaire for people with limited eyesight impairment, with disassembled shields: LED Z - LED with cold colour, LED P - LED with intermediate colour; b) the designed model of a luminaire for local lighting for people with limited eyesight impairment

Measurement results for the lighting parameters of the luminaire model

With the maximum setting for the luminous flux for all light emitting diodes, the luminous flux intensity distribution achieved on the target area 0.8 x 0.4 m is presented on Figure 13. The average luminous intensity value in the area $E_{av} = 2828$ lx (with the distance between the working plane and the lighting element equal to 1 m). The area of the standard compliant uniform lighting [11] is equal to 0.3 x 0.3 m, with the average luminous intensity $E_{av} = 3888$ lx.

Based on the conducted spectroradiometric analysis, it was identified that the changes for the colour temperature ranged from 3867 K to 4789 K. However, with the maximum setting for the luminous flux generated by all light emitting diodes, the colour temperature is equal to 4397 K. The light emitting diodes used the examined model have a very high colour rendering index [10] according to the manufacturer's declarations. In the effect, the presented luminaire model

has the colour rendering index of 72, based on the results of the spectroradiometric measurements. It is however necessary to remember that this luminaire is designed for providing additional illumination for work places with the already existing general lighting luminaire in place and working, with the lighting parameters meeting the standard-prescribed requirements. Currently, the manufactured light emitting diodes have the colour rendering index equal to 80 (LUXEON Rebel).

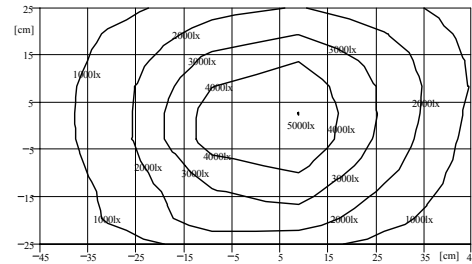


Fig. 13. The luminous intensity distribution on the target area illuminated with the manufactured luminaire model with the maximum setting for all luminous fluxes

Luminaire for general lighting

Following the review of general lighting luminaires with adjustable colour temperature, the conclusion was made that luminaires with fluorescent lamps of various colour temperature are the most appropriate for mediocre eyesight impaired people. Such kind of luminaire is manufactured for example by PHILIPS. It is Savio luminaire, that is offered in pendant version too. Figure 18 presents that kind of luminaire together with its distribution of luminous intensity.



Fig. 14. Savio luminaire made by PHILIPS and its distribution of luminous intensity [14]

Special board applied in that luminaire, consisting of great number of microlenses (so called optics MLO) gives the emotion that whole luminaire lights evenly from one edge to another and offers homogenous surface of light. Thanks to that board with MLO optics, three fluorescent lamps of 49 W are not visible, that gives full control of glare from all directions of sight. Following the data presented by the manufacturer this luminaire fulfils the requirement of PN-EN [11] referring to the average luminance of luminaires reflected on a screen. Luminance of that luminaire is smaller than 1000 cd/m² above the angle amounting 65°. Following the above the UGR index is smaller than 19 in all directions of sight. Distribution of luminous intensity of that luminaire has to be taken into account too, that reduces glare in great degree. Due to that advantages this luminaire can be applied instead of luminaires with "Darklight" louvres designed for lighting of work places equipped with computers. Moreover the light emitted from that luminaire doesn't cause bright reflections on PC monitors. Its light output ratio is more that 67%.

Savio luminaire offers dynamic lighting. Colour temperature can be adjusted depending on individual preferences, mood, change of the day time or season of the year. Individual adjustment of colour temperature between

3 000K and 5 000K is possible due to the implementation of digital electronic stabilizer DALI. One of the luminaires – version marked with the symbol CVC is equipped with infrared receiver and suitable controller. This configuration provides individual and very simple adjustment of colour temperature and light flux through remote control, of all luminaires being joined in one system. The luminaire is equipped with three 54 W fluorescent lamps PHILIPS MASTER TL5 HQ. Two of them have 6500 K colour temperature, the third - 2700 K. The Table 1 presents the dependence of the values of colour temperature, ratio correcting the light output ratio of the luminaire, its light flux and maximal illuminance value on the working place measured when the distance between the luminaire and working surface is 1,20 m.

Table 1. Presentation of the main light parameters of one of the Savio TPS 772 3xTL 5, 54W luminaire

Colour temperature [K]	Factor correcting the light output ratio	Light flux [lm]	E _{max} [lx]
3000	50%	6 475	871
3500	65%	8 418	1 133
4000	83%	10 749	1 447
4400	100%	12 950	1 743
5000	88%	11 396	1 534

Summary

Based on measurement results for the illumination intensity on the target area, illuminated with the designed and implemented luminaire model, it is confirmed that good uniformity and high illumination level were achieved. The obtained results confirm the stipulated assumptions, covering the application of two groups of light emitting diodes with lens, 6 diodes per group, the optical axes of which were shifted relative to each other both along the x and y axes by 20 cm.

The standard prescribed (0.7) [11] illumination intensity was achieved for the target area 0.3 x 0.3 m, which corresponds to e.g. a single A4 format sheet of paper. Moreover, the average illumination level on the said target area was equal to 3988 lx, which has a critical meaning for guaranteeing high illumination level for the target vision task area. Thanks to the independent regulation of the luminous flux generated by each diode group (achieved through the application of pulse width modulation), continuous regulation for both the luminous flux and colour temperature was achieved. The obtained range of colour temperature regulation, achieved in the manufactured luminaire model, ranging from 3867 K to 4789 K is completely sufficient to guarantee changes in the light colour according to preferences of the eyesight impaired people. In practice, the range of colour temperature regulation depends on the colour temperature of individual applied LED diodes.

The obtained technical parameters of the implemented luminaire model for local lighting indicate its potential

application in e.g. lighting system designated for illumination of compartments with computer work stations. On a work station illuminated with the use of the implemented luminaire model, experimental analysis will be conducted next, aiming at evaluating the eyesight fatigue levels for a group of people with limited eyesight impairment with retina and cornea ailments. The said analysis will aim at determining preferential illuminance levels and colour temperature for the given light emitting diode group.

This paper has been prepared on the basis of the results of a research task carried out within the scope of the National Programme "Adaptation of Working Conditions in Poland to European Union Standards", partly supported - within the scope of research - in 2008-2010 by the Ministry of Science and Higher Education. The Central Institute for Labour Protection - National Research Institute has been the Programme's main co-ordinator.

REFERENCES

- [1] Cook G.K., Hill M.S., Wright A.I., Slater A.I.: Task lighting for visually impaired people in an office environment. *Proc. CIE 24TH Session - Warsaw'79*.
- [2] JULIAN W.G.: The design of the visual environment of the aged partially sighted. *Archif. Science Rev.* 26,1983a.
- [3] Kowalski K.: Mieszkanie dostępne dla osób z dysfunkcjami wzroku. *Stowarzyszenie Przyjaciół Integracji*. Warszawa, <http://www.niepelnosprawni.pl>
- [4] SOUTHALL D.: Appraisal of a light box as a low vision reading aid. *Lighting Res. Techno*1.,15, 1983.
- [5] VAN DEN BERG, T.J.T.P.: Importance of pathological intraocular light scatter for visual disability. *The Netherlands Ophthalmic Research Institute, Dept. of Visual System Analysis, & University of Amsterdam, Laborat. of Med. Physics*, 1105, AZ. Amsterdam (Ndl.),1986.
- [6] Stan zdrowia ludności Polski w 2004 r. www.stat.gov.pl
- [7] Poradnik pracodawcy osób niedowidzących i słabo widzących. *Fundacja Aware Europe*, Warszawa 2000.
- [8] www.pzn.org.pl; www.niepelnosprawni.info;
- [9] Technical Report. Low Vision. Lighting needs for the partially sighted. *CIE123-1997*.
- [10] Technical Datasheet DS. 51. Power light source. LUXEON K2. *Philips Lumileds Lighting Company* 2008.
- [11] PN-EN 12464-1. Światło i oświetlenie. Oświetlenie miejsc pracy. Część 1: Miejsca pracy we wnętrzach.
- [12] Katalog Art. & Draft Lamps 2007. The perfect lamp for all your Hobbes. Produkt Guide. *Daylight*. <http://uk.daylightcompany.com/>.
- [13] Katalog Lightings. *Schweitzer*. www.schweitzer-optik.de.
- [14] Savio. Pure light. International brochure. *PHILIPS* 2005.

Author: mgr inż. Andrzej Pawlak, Central Institute of Labour Protection - National Research Institute, ul. Czerniakowska 16, 00-701 Warszawa, Poland; e-mail: anpaw@ciop.pl

Influence of Colour of Shading Obstacles on Indoor Daylighting

Abstract. Daylighting is one of major requirements for indoor climate. Quality of light is a factor which influences habitants comfort and health. Proper indoor visual climate depends on many factors. One of the influencing factors might be external shading obstacles which could reduce access of daylight significantly and their colours might also play negative role for spectral range of light. The main results of an evaluation of daylighting in a residential building influenced by a neighbouring building with brightly coloured façades are presented in the article.

Keywords: daylight, visual comfort, illuminance.

Introduction

Daylighting plays positive role in building indoor climate. Natural light represents healthy and energy saving alternative to artificial lighting. Modern energy efficient buildings are based on solar energy utilisation for solar gains and proper daylighting. Sufficiently large windows are only one of many design requirements. It means sufficient light transmittance of daylight in its natural spectrum is necessary for indoor visual comfort [1]. The visual conditions in buildings are determined mainly by a type of façade glazing and its framing and shading system, dimensions of windows and their positions with respect to the room dimensions and geometry, interior furniture and surfaces finishing – their shape and colours and surface properties - smooth, rough, polished surfaces or mirrors [2].

External shading obstacles as neighbouring buildings, trees, special constructions, billboards etc. can reduce and interior daylighting significantly. It is know fact which must be considered during the building design process. It is necessary to take into account positions and dimensions of the external obstacles and their distances from the designed building and its windows. Surface reflectance and colours of the shading obstacle can also highly influence indoor daylight quality in near buildings. The article presents results of evaluation of influence of large building with brightly coloured façade on indoor climate in a neighbouring building.

Investigated building and its shadings

An indoor daylighting of a residential building which opposes to the new big shopping store with large red coloured façade panels was investigated. Figure 1 shows an aerial photograph of the locality with the investigated residential building and the newly constructed building of the department store with red façade panels [3].



Fig.1. Aerial photograph of the investigated building and the coloured neighbouring obstacle

The following photographs present a part of the red coloured façade of the neighbouring building (Fig. 2) and its influence on the opposite residential building (Fig. 3) [3].



Fig.2. Red coloured façade of the department store

There is obvious high influence of the red façade on the colour of the residential building in photograph. The original yellow colour of the residential building façade seems to be orange in the shade of the opposite red panels Fig.3.

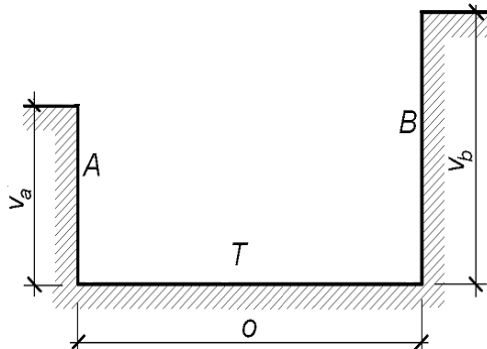


Fig.3. Influence of the red façade on the shaded opposite residential building façade

The brightly coloured neighbouring façade influences not only the residential building façade appearance but also internal visual comfort. The quality of internal daylighting is not proper which affects health of the building inhabitants.

Daylighting in the residential building

The influence of the façade bright colour on the indoor climate of the residential building was investigated. Geometrical relations between the two buildings are presented in Fig. 4.



- A – residential building, B – building with the red façade
- v_a – height of the centre of the window of the residential building on the 2nd floor $v_a=7.0$ m, on the 3rd floor $v_a=11.3$ m
- v_b – height of the opposing red façade building, 19.20 m
- T – road with two pavements
- O – horizontal distance between the building A and B, O=12 m

Fig.4. Geometrical relations between the residential building windows and the opposite shading building with the red façade

The internal illuminance on the working plane 0.85 m over the floor level on the 2nd floor was monitored for the daylight factor evaluation. The daylight factor DF [%] is a ration between internal illuminance and illuminance on the non shaded horizontal plane in exterior [4]. It consists of three components as $DF = SC + ERC + IRC$ [%], where SC-sky component, ERC-externally reflected component, IRC-internally reflected component (Fig. 5).

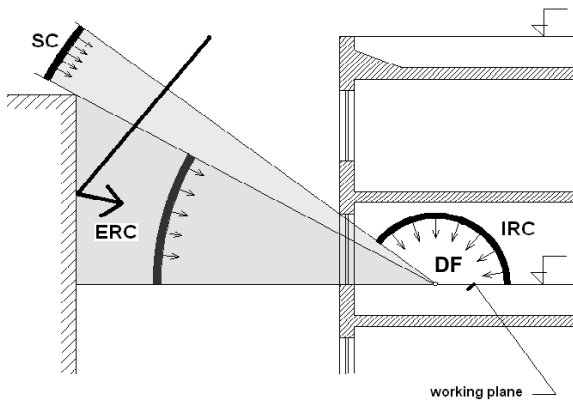


Fig.5. Daylight factor DF [%] components (SC, ERC and IRC)

Data of the illuminance measurements (luminance meter Minolta T10) were compared to daylight simulations in daylight simulation computer program WDLS [5]. The simulations were carried out for two design variations. Variation I was completed for the residential building without shading obstacles and Variation II compares the same residential building influenced by the shading of the opposite red façade building. The main results of maximal (DF_{max}), minimal (DF_{min}), and average (DF_{aver}) values as well as daylight uniformity DF_{min}/DF_{max} are summarised in Table 1.

Table 1. Results of the daylight factor DF evaluation

Evaluation	DF_{max} [%]	DF_{min} [%]	DF_{aver} [%]	DF_{min}/DF_{max} [-]
Variation I	7,29	1,23	3,18	0,436
Variation II	1,61	0,24	0,71	0,440

The daylight factor reduction in case of the shading obstacle is high. It means the opposite building decreases indoor illuminance level. But it is not the main problem of the residential building. The opposite building red façade causes deformation of the natural spectrum of the indoor light which is very negative and disturbing factor for the places with permanent inhabitancy.

Spectral radiance measurements

Spectral radiance measurements were carried out by the spectrometer Jeti Specbos. The following two figures compare spectral radiance of external places under clear blue and overcast sky (Fig. 6) and the space between the residential building and the opposite building with the red façade (Fig. 7).

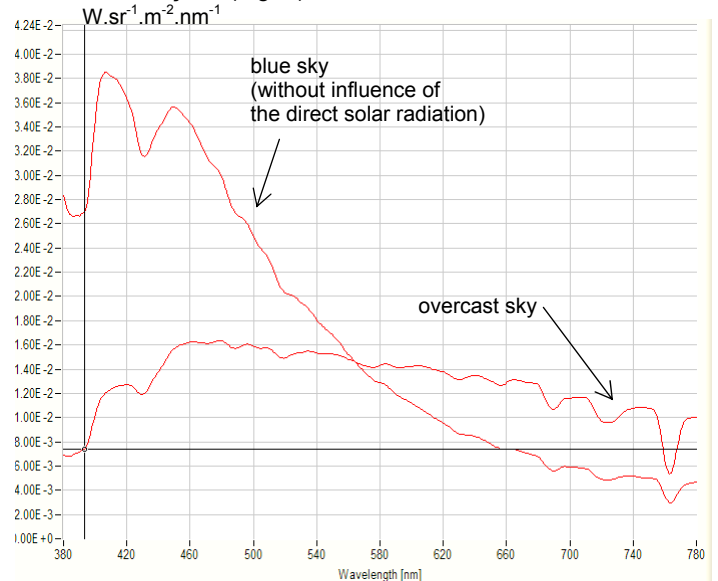


Fig.6. Spectral radiance of the blue and overcast sky

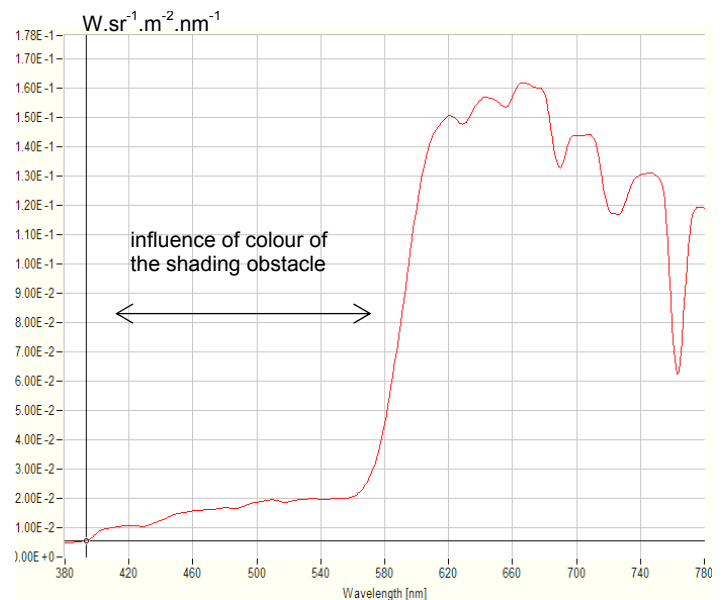


Fig.7. Spectral radiance [$W.sr^{-1}.m^{-2}.nm^{-1}$] of light reflected from the red façade

The externally reflected component of the daylight in the rooms of the residential building is highly influenced by the light reflected from the opposite red façade. It is obvious from Fig. 7 that the spectral radiance of the half of visible range (380-550 nm) is very low and it is highly increased from wavelength 600 nm. Maximal radiance was monitored in the spectral range between 670 and 690 nm.

Chromaticity diagram and circadian factor

The CIE chromaticity diagram [6] uses XYZ imaginary primaries to describe colour space. Chromaticity coordinates x , y and z represent the relative contribution of the three primaries, the sum of the coordinates is $x + y + z = 1$.

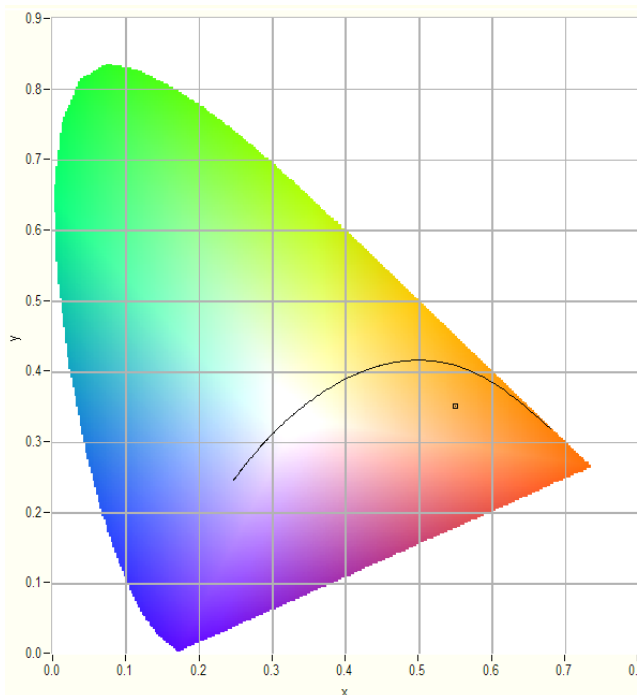


Fig.8. Chromaticity diagram of colour of the light reflected from the red façade

The evaluation of influence of light on health requires a *circadian factor* determination. The *circadian factor* is defined [7] as $a_{cv} = y/z = 1 - (x + y)/y$. It is recommended to specify so call *biological index of light* $Ra_{cv} = 100a_{cv}$ as an equivalent to the *colour rendering index* Ra . Estimated values of the *biological index of light* and *circadian factor* for the reflected daylight from the monitored red façade in the comparison with different light sources are presented in Table 2.

Table 2. Biological index of light and its circadian factor

Light source	Biological index of light Ra_{cv}	Circadian factor a_{cv}
Direct solar radiation	83	0.83
Cloudy sky light	173	1.73
Northern blue sky light	200	2.00
Moonlight	62	0.62
Reflected daylight from the monitored red façade	29-43	0.29 – 0.43

Conclusion

The evaluation of the brightly coloured shading obstacle and its influence on interior daylighting in the residential building presented in the article give unambiguous results. It is possible to summarise that the large red façade has a negative impact on the visual comfort in the opposite investigated building.

The improper visual indoor comfort due to the colour of the neighbouring building façade refers problems which might have serious unwanted impacts for indoor climate mainly in densely inhabited municipal areas with high rise buildings. The solution of these problems is in the integrated solar-daylight urban concept and optimised architectural design.

There are two major design tasks in this case which have to be considered in the building design process as light transmittance for sufficient internal illuminance without glare for the required visual activity and the quality of light in its natural spectral range and colour. The optimised design which respects the above mentioned requirements is very important for generation of proper indoor climate in buildings as well as comfort and health of their inhabitants.

REFERENCES

- [1] Boubekri, M., *Daylighting Architecture and Health. Building Design Strategies*. Elsevier, Architectural Press (2008)
- [2] Belcher, C.M., Kluczny R., Lighting ergonomics and the decision process. *Proceedings of the 8th Architectural Meeting of the ASEM* (1987)
- [3] Plch, J., Mohelníková, J., *Evaluation of influence of the coloured façade on visual comfort in neighbouring residential building. Expert Assessment* (2009)
- [4] Baker, N.V. et al., *Daylighting in Architecture. A European Reference Book*, James and James (Science Publishers) Ltd., London (1993)
- [5] Staněk, P., Computer program WDLS, Astra Zlin
- [6] CIE Chromaticity diagram (1931)
- [7] Gall D., Bieske K., Definition and measurement of circadian radiometric quantities. *Proceedings of the CIE Symposium '04 on Light and Health*. Vienna: Commission Internationale de l'Éclairage; (2004):129-32.

Acknowledgement

The article contains results of a daylight expertise assessment. Daylight evaluations were completed within the frame of project MŠMT Kontakt-mobility SK-CZ-0015-09 Modeling of daylight climate in energy efficient buildings.

Authors: Assoc. prof. Jiří Plch, Czech Lighting Society, Brno, E-mail: jiri_plch@volny.cz; Assoc. prof. Jitka Mohelníková, Faculty of Civil Engineering, Brno University of Technology, Veveří 95, 602 00, Brno, E-mail: mohelnikova.j@fce.vutbr.cz.

Analiza porównawcza wydajności energetycznej oświetlenia drogowego

Streszczenie. W artykule scharakteryzowano miary wydajności energetycznej oświetlenia dróg oparte na mocy instalowanej i rocznym zużyciu energii elektrycznej. Dla zmiennych warunków stosowania oświetlenia drogowego obliczono poziomy mocy jednostkowych skorygowanych, przy spełnieniu wymagań dotyczących otoczenia świetlnego. Porównano wydajność energetyczną analizowanych sytuacji oświetleniowych. Zwrócono uwagę na ograniczenia wynikające ze stosowania mocy jednostkowej skorygowanej jako jedynej miary wydajności energetycznej oświetlenia dróg.

Abstract. In this paper the measures of lighting energy efficiency on roads, related to power installed and annual energy use, were characterised. For various conditions on roads the levels of lighting power densities per 1 cd/m², at which lighting requirements are fulfilled, were calculated. The comparative analysis of lighting energy efficiency for various situations was conducted. Limitation of the use of the lighting power density per 1 cd/m² as the only measure of lighting energy efficiency was underlined. (**The comparative analysis of road lighting energy efficiency**)

Słowa kluczowe: wydajność energetyczna, oświetlenie dróg.

Keywords: energy efficiency, road lighting.

Wstęp

Oświetlenie dróg w porze nocnej powinno umożliwiać prowadzenie bezpiecznego i wygodnego ruchu wszystkim użytkownikom dróg, dzięki zapewnieniu wysokiej wydolności wzrokowej i komfortu widzenia. Kryteria projektowania i oceny stacjonarnego oświetlenia dróg są dobrze poznane i opisane, np. [1]. Obowiązujące wymagania oświetleniowe, określające pożądane zakresy parametrów charakteryzujących drogowe otoczenie świetlne, ujęte są w normach krajowych, np. [2].

Wybór rozwiązania oświetleniowego może być dokonany w oparciu o kryteria energetyczne lub ekonomiczne. Koszty inwestycji i eksploatacji drogowego urządzenia oświetleniowego związane są m.in. z liczbą słupów, opraw oświetleniowych i źródeł światła. Liczebność sprzętu oświetleniowego jest zdeterminowana jakością zastosowanego sprzętu oświetleniowego, sposobami jego lokalizacji oraz system konserwacji. Na koszty inwestycji i eksploatacji oświetlenia drogowego wpływają także realizowane poziomy luminancji nawierzchni jezdni (także jakościowe cechy oświetlenia), rodzaj nawierzchni jezdni, czas efektywnego działania urządzenia oświetleniowego oraz koszty energii elektrycznej. Analiza energetyczna lub ekonomiczna oświetlenia powinna być oparta na poziomach mocy instalowanej i zużycia energii elektrycznej oświetlenia oraz poziomach mocy oraz energii jednostkowych i skorygowanych. Ważna jest przy tym znajomość wpływu wielu parametrów technicznych, charakteryzujących tak sprzęt oświetleniowy jak i techniki projektowania oraz sposoby utrzymania oświetlenia, na poziomy wydajności energetycznej oświetlenia.

W ramach prowadzonych przez autora badań, których celem jest m.in. określenie charakterystyki energetycznej oświetlenia drogowego oraz opracowanie systemu oceny wydajności energetycznej oświetlenia obiektów projektowanych i eksploatowanych, dokonano analizy porównawczej wybranych sytuacji oświetleniowych na drogach z punktu widzenia ich wydajności energetycznej.

Celem badań było określenie poziomów mocy instalowanej (jednostkowej i skorygowanej) oraz rocznego zużycia energii (jednostkowego i skorygowanego) dla oświetlenia drogowego, przy stosowaniu różnych rodzajów źródeł światła i opraw oświetleniowych oraz różnych sposobach ich rozmieszczenia. Jednocześnie, szczególną uwagę zwrócono na sprawność oświetlenia drogowego w poszczególnych przypadkach. W artykule odniesiono się

przede wszystkim do mocy jednostkowej skorygowanej oświetlenia.

W ramach prowadzonych wcześniej badań określono teoretyczne poziomy mocy jednostkowych i skorygowanych [3] oraz poziomy rocznego jednostkowego i skorygowanego zużycia energii elektrycznej na potrzeby oświetlenia drogowego [4], dla szerokiego zakresu skuteczności świetlnych stosowanych źródeł światła, sprawności oświetlenia i współczynników utrzymania. Założenie zmienności sprawności oświetlenia na poziomie 30 ÷ 50 % wynikało z weryfikacji różnych sytuacji oświetlenia drogowego. Uznano za niezbędne poddanie weryfikacji założonych wcześniej – na podstawie analiz teoretycznych – poziomów sprawności oświetlenia oraz mocy (także energii) jednostkowych skorygowanych [5]. Weryfikacja polegała na analizie wyników obliczeń symulacyjnych różnorodnych sytuacji oświetleniowych. Wyniki tych badań przedstawiono w niniejszym artykule.

Miary wydajności energetycznej oświetlenia drogowego

Moc instalowana drogowego urządzenia oświetleniowego P_{iD} jest sumą mocy poszczególnych opraw oświetleniowych i można ją wyznaczyć na podstawie zależności:

$$(1) \quad P_{iD} = n_{op} \cdot P = \frac{L \cdot A}{q \cdot \eta \cdot \eta_{os} \cdot u}$$

Stosowane są dwie miary wydajności energetycznej oświetlenia dróg oparte na mocy instalowanej, a charakteryzujące potencjał energetyczny oświetlenia [3]:

- moc jednostkowa drogowego urządzenia oświetleniowego P_{jD} ;

- moc jednostkowa skorygowana drogowego urządzenia oświetleniowego P_{sD} .

Moc jednostkowa charakteryzuje moc instalowaną przypadającą na jednostkową powierzchnię roboczą oświetlanej drogi:

$$(2) \quad P_{jD} = \frac{P_{iD}}{A} = \frac{L}{q \cdot \eta \cdot \eta_{os} \cdot u}$$

Moc jednostkowa skorygowana charakteryzuje moc jednostkową przypadającą na 1 cd/m² realizowanego poziomu luminancji nawierzchni jezdni:

$$(3) \quad P_{sD} = \frac{P_{jD}}{L} = \frac{1}{q \cdot \eta \cdot \eta_{os} \cdot u}$$

gdzie: P_{iD} – moc instalowana drogowego urządzenia oświetleniowego [W]; P_{jD} – moc jednostkowa drogowego urządzenia oświetleniowego [W/m^2]; P_{sD} – moc jednostkowa skorygowana drogowego urządzenia oświetleniowego [W/m^2 | cd/m^2]; P – moc oprawy oświetleniowej [W]; n_{op} – liczba opraw oświetleniowych; L – eksploatacyjna luminancja nawierzchni jezdni [cd/m^2]; A – powierzchnia oświetlanej drogi [m^2]; q – wskaźnik luminancji nawierzchni jezdni [$cd/m^2/lx$]; η – skuteczność świetlna układu: źródło światła – układ stabilizacyjno-zapłonowy [lm/W]; η_{os} – sprawność oświetlenia [-]; u – współczynnik utrzymania [-].

Wartość energii elektrycznej zużywanej w ciągu roku na oświetlenie drogi W_D można wyznaczyć na podstawie zależności:

$$(4) \quad W_D = \frac{P_{iD} \cdot t_u}{1000} = \frac{L \cdot A \cdot t_u}{1000 \cdot q \cdot \eta \cdot \eta_{os} \cdot u}$$

Na zasadzie analogii do miar wydajności energetycznej opartych na mocy instalowanej, można podać dwie miary wydajności energetycznej oświetlenia oparte na zużywanej energii elektrycznej, a charakteryzujące dynamikę energetyczną oświetlenia [4]:

- energia elektryczna jednostkowa zużywana na oświetlenie drogi W_{jD} ;

- energia elektryczna jednostkowa skorygowana zużywana na oświetlenie drogi W_{sD} .

Energia jednostkowa charakteryzuje energię elektryczną (zużywaną w ciągu roku) przypadającą na jednostkową powierzchnię oświetlanej drogi:

$$(5) \quad W_{jD} = \frac{W_D}{A} = \frac{P_{jD} \cdot t_u}{1000} = \frac{L \cdot t_u}{1000 \cdot q \cdot \eta \cdot \eta_{os} \cdot u}$$

Energia jednostkowa skorygowana charakteryzuje energię elektryczną jednostkową przypadającą na 1 cd/m^2 realizowanego poziomu luminancji nawierzchni jezdni:

$$(6) \quad W_{sD} = \frac{W_{jD}}{L} = \frac{P_{sD} \cdot t_u}{1000} = \frac{t_u}{1000 \cdot q \cdot \eta \cdot \eta_{os} \cdot u}$$

gdzie: W_D – energia elektryczna zużywana na oświetlenie drogi w ciągu roku [kWh/r]; W_{jD} – energia elektryczna jednostkowa zużywana na oświetlenie drogi w ciągu roku [$kWh/(m^2 \cdot r)$]; W_{sD} – energia elektryczna jednostkowa skorygowana zużywana na oświetlenie drogi w ciągu roku [$kWh/(m^2 \cdot r)$ | cd/m^2]; t_u – roczny czas użytkowania oświetlenia drogowego [h/r].

Zmienne warunki stosowania oświetlenia drogowego

Określenie poziomów sprawności oświetlenia, mocy instalowanej (jednostkowej i skorygowanej) oraz rocznego zużycia energii (jednostkowego i skorygowanego) dla oświetlenia drogowego przeprowadzono dla wybranych typów opraw oświetleniowych i źródeł światła, przy różnych sposobach ich rozmieszczenia, w warunkach wybranych geometrii dróg i nawierzchni drogowych. Wynikowe wartości analizowanych parametrów uzyskano na drodze obliczeń symulacyjnych, uzupełniając je obliczeniami z wykorzystaniem arkusza kalkulacyjnego.

W zakresie geometrii dróg przyjęto analizować:

- drogę o jednej jezdni z dwoma pasami ruchu; szerokość każdego pasa ruchu wynosi 3,5 m;

- drogę o dwu jezdniach z trzema pasami ruchu na każdej jezdni; szerokość każdego pasa jezdni wynosi 3,5 m; jezdnie są rozdzielone pasem środkowym o szerokości 7 m.

Dla każdej geometrii przyjęto analizować dwa rodzaje nawierzchni jezdni [6]:

- „ciemną” (R3);

- „jasną” (R1).

Dla każdego z czterech przypadków geometrii i nawierzchni jezdni przyjęto analizować możliwość

uzyskania różnych warunków oświetleniowych, opisanych wymaganiami normatywnymi [2]:

- klasa oświetleniowa ME5 (m.in. średnia luminancja nawierzchni jezdni wynosząca 0,5 cd/m^2);

- klasa oświetleniowa ME3a (m.in. średnia luminancja nawierzchni jezdni wynosząca 1 cd/m^2);

- klasa oświetleniowa ME1 (m.in. średnia luminancja nawierzchni jezdni wynosząca 2 cd/m^2).

Uwzględniane będą także wymagania jakościowe, związane z równomiernością oświetlenia całkowitą i wzdłużną nawierzchni jezdni, stopniem olśnienia przeszkadzającego oraz poziomem oświetlenia poboczy.

Wygenerowanych zatem zostanie dwanaście sytuacji oświetleniowych, określonych poprzez geometrię jezdni, rodzaj nawierzchni i oczekiwany stan oświetlenia.

Realizację poszczególnych sytuacji oświetleniowych związane będą z zastosowaniem:

- dwóch typów opraw oświetleniowych;

- dwóch rodzajów źródeł światła.

Występuje duża różnorodność opraw oświetlenia drogowego. Dla typowych, najbardziej powszechnych sytuacji oświetleniowych zastosowanie znajdują przede wszystkim oprawy z kloszem płaskim lub wypukłym, do lamp sodowych wysokoprężnych, także do lamp metalohalogenkowych. Założono, że analizowane będą dwa typy opraw oświetleniowych:

- oprawy z kloszem płaskim (o rozsyle całkowicie ograniczonym – *full cutoff* [7] - FCO) – oznaczone literami A, B i C;

- oprawy z kloszem wypukłym (o rozsyle ograniczonym – *cutoff* [7] - CO) – oznaczone literami D, E i F.

W każdej z opraw możliwe będzie zastosowanie lamp:

- wysokoprężnych sodowych – oznaczonych literą S;

- wysokoprężnych metalohalogenkowych – oznaczonych literą M.

Każde ze źródeł dostępne będzie w przedziale mocy 70 ÷ 250 W, a wybór mocy będzie uzależniony od sytuacji oświetleniowej i rozmieszczenia opraw.

Reasumując założenia dotyczące typów opraw oświetleniowych i rodzajów źródeł światła, dostępnych będzie 12 typów opraw oświetleniowych – 6 opraw do lamp sodowych (3 z kloszem płaskim i 3 z kloszem wypukłym) i 6 opraw do lamp metalohalogenkowych (3 z kloszem płaskim i 3 z kloszem wypukłym). W tabeli 1 przedstawiono podstawowe dane techniczne wybranego sprzętu oświetleniowego.

Tabela 1. Podstawowe dane opraw przyjętych do badań.

Ozn.	Rozsył oprawy	Moc oprawy [W]	Spraw. oprawy [-]	Moc źródła [W]	Strum. świetlny [lm]	Skut. układu [lm/W]
AS	FCO	81	0,82	70	6600	81,48
BS	FCO	169	0,80	150	17500	103,55
CS	FCO	276	0,85	250	33200	120,29
DS	CO	81	0,85	70	6600	81,48
ES	CO	169	0,83	150	17500	103,55
FS	CO	276	0,87	250	33200	120,29
AM	FCO	86,2	0,80	70	6300	73,09
BM	FCO	167,5	0,78	150	13500	80,60
CM	FCO	271	0,78	250	22500	83,03
DM	CO	86,2	0,80	70	6300	73,09
EM	CO	167,5	0,81	150	13500	80,60
FM	CO	271	0,80	250	22500	83,03

FCO – rozsył całkowicie ograniczony

CO – rozsył ograniczony

Rozmieszczenie opraw jest wynikiem przeprowadzenia obliczeń symulacyjnych. Przed przeprowadzeniem obliczeń dokonano jednak założeń dotyczących układów

rozmieszczenia opraw, wysokości zawieszenia i nachylenia opraw.

Założono, że oprawy rozmieszczane będą w:

- dwu układach (jednostronnym lub naprzemianległym) dla drogi o jednej jezdni;
- jednym układzie (naprzemianległym – układ jednostronny dla każdej jezdni) dla drogi o dwu jezdniach.

Założono, że oprawy umieszczane będą na wysokościach:

- 6, 8 i 10 m – dla dróg o jednej jezdni;
- 10, 12 i 14 m – dla drogi o dwu jezdniach.

Oprawy nie będą odchylane – kąt nachylenia opraw wynosi 0° . Do obliczeń założono współczynnik utrzymania o wartości 0,74.

W wyniku obliczeń wyznaczone zostały odstępstwa pomiędzy słupami (oprawami) i wysunięcia opraw względem jezdni oraz poszczególne parametry charakteryzujące otoczenie świetlne i wydajność energetyczną oświetlenia.

Analiza porównawcza sytuacji oświetleniowych

Moce jednostkowe skorygowane przy stosowaniu opraw do lamp metalohalogenkowych na drogach o jednej jezdni z ciemnymi nawierzchniami zawierają się w granicach $0,73 \div 1,49 \text{ W/m}^2 | \text{cd/m}^2$, średnio $0,99 \text{ W/m}^2 | \text{cd/m}^2$ przy stosowaniu opraw o rozsyłe całkowicie ograniczonym i $0,95 \text{ W/m}^2 | \text{cd/m}^2$ przy stosowaniu opraw o rozsyłe ograniczonym. Wartość średnia dla tych przypadków wynosi $0,97 \text{ W/m}^2 | \text{cd/m}^2$.

Moce jednostkowe skorygowane przy stosowaniu opraw do lamp metalohalogenkowych na drogach o dwu jezdniach z ciemnymi nawierzchniami zawierają się w granicach $0,73 \div 0,97 \text{ W/m}^2 | \text{cd/m}^2$, średnio $0,85 \text{ W/m}^2 | \text{cd/m}^2$ przy stosowaniu opraw o rozsyłe całkowicie ograniczonym i $0,80 \text{ W/m}^2 | \text{cd/m}^2$ przy stosowaniu opraw o rozsyłe ograniczonym. Wartość średnia dla tych przypadków wynosi $0,83 \text{ W/m}^2 | \text{cd/m}^2$.

Wpływ bryły fotometrycznej oprawy i układu rozmieszczenia opraw na wartość mocy jednostkowej skorygowanej nie jest istotny. Na drogach o dwu jezdniach wartości mocy jednostkowych skorygowanych są średnio o 14% niższe w stosunku do przypadków dróg o jednej jezdni.

Moce jednostkowe skorygowane przy stosowaniu opraw do lamp metalohalogenkowych na drogach o jednej jezdni z jasnymi nawierzchniami zawierają się w granicach $0,44 \div 0,77 \text{ W/m}^2 | \text{cd/m}^2$, średnio $0,55 \text{ W/m}^2 | \text{cd/m}^2$ przy stosowaniu zarówno opraw o rozsyłe całkowicie ograniczonym jak i opraw o rozsyłe ograniczonym.

Moce jednostkowe skorygowane przy stosowaniu opraw do lamp metalohalogenkowych na drogach o dwu jezdniach z jasnymi nawierzchniami zawierają się w granicach $0,43 \div 0,54 \text{ W/m}^2 | \text{cd/m}^2$, średnio $0,48 \text{ W/m}^2 | \text{cd/m}^2$ przy stosowaniu zarówno opraw o rozsyłe całkowicie ograniczonym jak i opraw o rozsyłe ograniczonym.

Wpływ bryły fotometrycznej oprawy i układu rozmieszczenia opraw na wartość mocy jednostkowej skorygowanej nie jest istotny. Na drogach o dwu jezdniach wartości mocy jednostkowych skorygowanych są średnio o 13% niższe w stosunku do przypadków dróg o jednej jezdni.

Moce jednostkowe skorygowane przy stosowaniu opraw do lamp sodowych na drogach o jednej jezdni z ciemnymi nawierzchniami zawierają się w granicach $0,55 \div 0,93 \text{ W/m}^2 | \text{cd/m}^2$, średnio $0,75 \text{ W/m}^2 | \text{cd/m}^2$ przy stosowaniu opraw o rozsyłe całkowicie ograniczonym i $0,73 \text{ W/m}^2 | \text{cd/m}^2$ przy stosowaniu opraw o rozsyłe ograniczonym. Wartość średnia dla tych przypadków wynosi $0,74 \text{ W/m}^2 | \text{cd/m}^2$.

Moce jednostkowe skorygowane przy stosowaniu opraw do lamp sodowych na drogach o dwu jezdniach z ciemnymi nawierzchniami zawierają się w granicach $0,38 \div 0,72 \text{ W/m}^2 | \text{cd/m}^2$, średnio $0,52 \text{ W/m}^2 | \text{cd/m}^2$ przy stosowaniu opraw o rozsyłe całkowicie ograniczonym i $0,51 \text{ W/m}^2 | \text{cd/m}^2$ przy stosowaniu opraw o rozsyłe ograniczonym. Wartość średnia dla tych przypadków wynosi $0,52 \text{ W/m}^2 | \text{cd/m}^2$.

Wpływ bryły fotometrycznej oprawy i układu rozmieszczenia opraw na wartość mocy jednostkowej skorygowanej nie jest istotny. Na drogach o dwu jezdniach wartości mocy jednostkowych skorygowanych są średnio o 30% niższe w stosunku do przypadków dróg o jednej jezdni.

Moce jednostkowe skorygowane przy stosowaniu opraw do lamp sodowych na drogach o jednej jezdni z jasnymi nawierzchniami zawierają się w granicach $0,39 \div 0,58 \text{ W/m}^2 | \text{cd/m}^2$, średnio $0,48 \text{ W/m}^2 | \text{cd/m}^2$ przy stosowaniu zarówno opraw o rozsyłe całkowicie ograniczonym jak i opraw o rozsyłe ograniczonym.

Moce jednostkowe skorygowane przy stosowaniu opraw do lamp sodowych na drogach o dwu jezdniach z jasnymi nawierzchniami zawierają się w granicach $0,26 \div 0,44 \text{ W/m}^2 | \text{cd/m}^2$, średnio $0,37 \text{ W/m}^2 | \text{cd/m}^2$ przy stosowaniu opraw o rozsyłe całkowicie ograniczonym i $0,36 \text{ W/m}^2 | \text{cd/m}^2$ przy stosowaniu opraw o rozsyłe ograniczonym. Wartość średnia dla tych przypadków wynosi $0,37 \text{ W/m}^2 | \text{cd/m}^2$.

Wpływ bryły fotometrycznej oprawy i układu rozmieszczenia opraw na wartość mocy jednostkowej skorygowanej nie jest istotny. Na drogach o dwu jezdniach wartości mocy jednostkowych skorygowanych są średnio o 23% niższe w stosunku do przypadków dróg o jednej jezdni.

Reasumując, rodzaj źródła światła i rodzaj nawierzchni jezdni mają największy wpływ na poziom mocy jednostkowej skorygowanej oświetlenia drogowego.

Stosowanie opraw do lamp metalohalogenkowych prowadzi do mocy jednostkowych skorygowanych na poziomie $0,5 \div 1 \text{ W/m}^2 | \text{cd/m}^2$ ($0,48 \div 0,55 \text{ W/m}^2 | \text{cd/m}^2$ przy nawierzchniach jasnych i $0,80 \div 0,99 \text{ W/m}^2 | \text{cd/m}^2$ przy nawierzchniach ciemnych). Stosowanie opraw do lamp sodowych prowadzi do mocy jednostkowych skorygowanych na poziomie $0,35 \div 0,75 \text{ W/m}^2 | \text{cd/m}^2$ ($0,37 \div 0,48 \text{ W/m}^2 | \text{cd/m}^2$ przy nawierzchniach jasnych i $0,50 \div 0,75 \text{ W/m}^2 | \text{cd/m}^2$ przy nawierzchniach ciemnych). Stosowanie opraw do lamp sodowych prowadzi średnio do 24% niższego poziomu mocy jednostkowej skorygowanej w stosunku do przypadków stosowania opraw do lamp metalohalogenkowych.

Stosowanie ciemnych nawierzchni jezdni prowadzi do mocy jednostkowych skorygowanych na poziomie $0,5 \div 1 \text{ W/m}^2 | \text{cd/m}^2$ ($0,50 \div 0,75 \text{ W/m}^2 | \text{cd/m}^2$ przy stosowaniu lamp sodowych i $0,80 \div 0,99 \text{ W/m}^2 | \text{cd/m}^2$ przy stosowaniu lamp metalohalogenkowych). Stosowanie jasnych nawierzchni jezdni prowadzi do mocy jednostkowych skorygowanych na poziomie $0,35 \div 0,55 \text{ W/m}^2 | \text{cd/m}^2$ ($0,37 \div 0,48 \text{ W/m}^2 | \text{cd/m}^2$ przy stosowaniu lamp sodowych i $0,48 \div 0,55 \text{ W/m}^2 | \text{cd/m}^2$ przy stosowaniu lamp metalohalogenkowych). Stosowanie jasnych nawierzchni jezdni prowadzi średnio do 37% niższego poziomu mocy jednostkowej skorygowanej w stosunku do przypadków stosowania ciemnych nawierzchni jezdni.

Na drogach o dwu jezdniach wartości mocy jednostkowych skorygowanych są średnio o 20% niższe w stosunku do przypadków dróg o jednej jezdni.

Zestawienie poziomów mocy jednostkowych skorygowanych dla rozpatrywanych sytuacji

oświetleniowych podano w tabelach 2 (dla dróg o jednej jezdni) i 3 (dla dróg o dwu jezdniach).

Moc jednostkowa skorygowana jest miarą wydajności energetycznej oświetlenia obejmującą jedynie cechy sprzętu oświetleniowego, jego rozmieszczenie, rodzaj nawierzchni i współczynnik utrzymania wynikający z systemu konserwacji. Nie ilustruje wpływu poziomu luminancji nawierzchni jezdni na moc urządzenia oświetleniowego (zużycie energii elektrycznej na potrzeby oświetlenia drogowego).

Tabela 2. Zestawienie mocy jednostkowych skorygowanych [W/m^2 | cd/m^2] dla sytuacji dróg o jednej jezdni.

Rodzaj źródła światła	Rodzaj nawierzchni jezdni	
	Ciemna	Jasna
Sodowe	0,55÷0,93	0,39÷0,59
Metalohalogenkowe	0,73÷1,49	0,44÷0,77

Tabela 3. Zestawienie mocy jednostkowych skorygowanych [W/m^2 | cd/m^2] dla sytuacji dróg o dwu jezdniach.

Rodzaj źródła światła	Rodzaj nawierzchni jezdni	
	Ciemna	Jasna
Sodowe	0,38÷0,72	0,26÷0,44
Metalohalogenkowe	0,73÷0,97	0,43÷0,54

Przy wyższych poziomach luminancji stosowanie źródeł światła o wyższych mocach (o wyższej skuteczności świetlnej) będzie prowadzić do niższych mocy jednostkowych skorygowanych (wyższa efektywność systemu) a moc instalowana i jednostkowa będą wyższe. Wyższe będzie bezwzględne zużycie energii elektrycznej na potrzeby oświetlenia.

Przy niższych wysokościach zawieszenia opraw oświetleniowych poziomy mocy instalowanych (jednostkowych i skorygowanych) są niższe niż przy wyższych wysokościach zawieszenia opraw – wyższa sprawność oświetlenia. W praktyce, na niższych wysokościach bardzo często instalowane są oprawy wyposażone w źródła światła niższych mocy, co może skutkować krótszym modułem a w konsekwencji większą liczbą opraw oświetleniowych przypadających na 1 km oświetlanej drogi.

Przy stosowaniu jasnych nawierzchni jezdni poziomy mocy instalowanych (jednostkowych i skorygowanych) są niższe niż przy stosowaniu ciemnych nawierzchni jezdni – wyższa „sprawność luminancyjna oświetlenia”. W praktyce, stosowanie jasnych nawierzchni bardzo często wymusza stosowanie opraw oświetleniowych wyposażonych w źródła światła niższych mocy, co może skutkować krótszym

modułem a w konsekwencji większą liczbą opraw oświetleniowych przypadających na 1 km oświetlanej drogi.

Podsumowanie

Wyznaczone poziomy mocy jednostkowych skorygowanych oświetlenia drogowego reprezentują poziomy możliwe do uzyskania przy obecnie dostępnych i stosowanych – w projektowaniu i eksploatacji oświetlenia – systemach oświetleniowych, technikach projektowania i nawierzchniach drogowych. Reprezentują przeciętne poziomy mocy jednostkowych skorygowanych przy stosowaniu opraw do lamp sodowych i metalohalogenkowych. W praktyce, dolne granice wyznaczonych zakresów – tabele 2 i 3 – mogą być jeszcze niższe, gdy zastosowane zostaną bardziej sprawne oprawy oświetleniowe – o korzystniejszym ukierunkowaniu strumienia świetlnego, oprawy ulokowane zostaną na niższych wysokościach (około 5 m), zastosowany zostanie wyższy współczynnik utrzymania (na poziomie 0,8). Stosowanie opraw do lamp rtęciowych (i innych źródeł światła o skutecznościach świetlnych poniżej 75 lm/W), opraw o niskich sprawnościach oświetlenia – o mało korzystnym ukierunkowaniu strumienia świetlnego, bardzo wysoki montaż opraw i stosowanie niskich współczynników utrzymania skutkowało będzie bardzo wysoką energochłonnością oświetlenia.

Moc jednostkowa skorygowana oświetlenia jest jedną ze stosowanych miar charakteryzujących wydajność energetyczną oświetlenia drogowego. Umożliwia analizę wpływu parametrów charakteryzujących źródła światła, oprawy oświetleniowe, ich rozmieszczenie, właściwości odbiciowe nawierzchni jezdni i system konserwacji na wydajność energetyczną oświetlenia.

LITERATURA

- [1] Bommel W.J.M., Boer J.B.: *Oświetlenie dróg*. WKŁ, Warszawa, 1984.
- [2] PN-EN 13201-2:2007, Oświetlenie dróg. Część 2: Wymagania oświetleniowe.
- [3] Pracki P., Potencjał energetyczny oświetlenia, Przegląd Elektrotechniczny, 1/2010.
- [4] Pracki P., Dynamika energetyczna oświetlenia, Przegląd Elektrotechniczny, 3/2010.
- [5] Pracki P., Unified system of lighting energy efficiency evaluation in public places, Konferencja CIE – Lighting Quality and Energy Efficiency, Wiedeń, 2010.
- [6] Publikacja CIE 140-2000: *Road lighting calculations*, CIE, Vienna, 2000.
- [7] The IESNA Lighting Handbook, ninth edition, IESNA, New York, 2000.

Autor: dr inż. Piotr Pracki, Politechnika Warszawska, Instytut Elektroenergetyki, ul. Koszykowa 75, 00-662 Warszawa.
E-mail: piotr.pracki@ien.pw.edu.pl

Analýza merania a hodnotenia kolorimetrie oblohových typov

Abstrakt. Súčasná metodika merania slnečného svetla je zameraná na meranie svetelnotechnických parametrov, najčastejšie osvetlenosť, slnečný svit, ožiarenosť a pod. Zavedením oblohových typov sa vniesol systém hodnotenia reprezentatívnych obloh, ktorých kolorimetrické vlastnosti sa neskúmajú. V príspevku budú uvedené teoretické predpoklady merania kolorimetrie oblohových typov a ich hodnotenie. Prezentované budú aj možné vplyvy kolorimetrie oblohových typov na diánne rytmy človeka a spomenuté budú aj softvérové programy pre využitie k stanoveniu kolorimetrických vlastností oblohových typov.

Kľúčové slová: obloha, svetlo, kolorimetria

Úvod

Slnečné svetlo, nevyhnutný prostriedok pre život na Zemi, je po desaťročia skúmané a využívané v rôznych aplikáciách. V mnohých aplikáciách upierame pozornosť na denné svetlo ako zdroj energie.

Spektrálna charakteristika slnečného žiarenia je sprostredkovaná cez atmosféru na vlnových dĺžkach od 300 nm do približne 4 μm . Zostávajúce žiarenie na vyšších vlnových dĺžkach počítujeme prevažne ako teplo.

Vnímanie farieb je psychofyzický jav, preto meranie farby musí byť definované takým spôsobom, aby výsledky korelovali s presným vizuálnym pocitom farby, ktorá je prirodzená pre ľudského pozorovateľa. Všeobecne pod farbou rozumieme elektromagnetické žiarenie s vlnovou dĺžkou od 380 nm do 780 nm, ktoré sa dostáva do ľudskej alebo inej percepčnej sústavy. Základnými vlastnosťami farby sú tón, sytosť a svetlosť.

Meranie slnečného žiarenia je dôležité pre rôzne technické oblasti. Bližším skúmaním sme schopní lepšie porozumieť mnohým vlastnostiam, ktoré na prvý pohľad spolu nemusia súvisieť. Jednou z oblastí, ktorá je ovplyvnená priveľkým počtom vstupných faktorov je aj výskum v oblasti farby oblohy.

Obloha

V akomkoľvek čase, keď sledujeme oblohu, sa jej vzhľad mení. Obloha má neskutočne mnoho tvári.

Oblohovým typom rozumieme rozloženie oblohových elementov pri rôznych podmienkach polohy slnka, mrakov, zákalu, rôznych častíc v atmosfére atď.

Štandardom CIE S 011/E:2003 (Commission internationale de l'éclairage) boli zavedené normalizované oblohové typy pre rôzne jasové distribúcie oblohy. Určenie typu oblohy je náročný proces. Celkový počet oblohových typov podľa CIE je 15. [5]

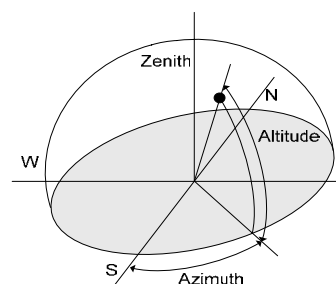
Jasný oblohový typ je závislý od uhlovej výšky a azimutu. Jas je najvyšší v oblasti Slnka a najnižší oproti. Medzi týmito extrémami sa nachádza jas obzoru.

Prechodný oblohový typ je kombináciou jasnej oblohy, ktorá je zakalená – zahmlená. Zmeny jasú nie sú tak extrémne ako pri jasnej oblohe a oblasť Slnka nemá taký veľký jas.

Oblohový typ zamračenej oblohy je závislý od uhlovej výšky. Jas v zenite je až 3 krát vyšší ako v blízkosti horizontu. Zamračená obloha je využívaná ako referenčná pri meraní činiteľa denného svetla. Tento typ sa využíva aj pri modelovaní umelej oblohy.

Posledným štandardom neba je jednotná obloha. Jej jasové pomery sú vo všetkých miestach rovnaké, nemení sa s uhlovou výškou alebo azimutom.

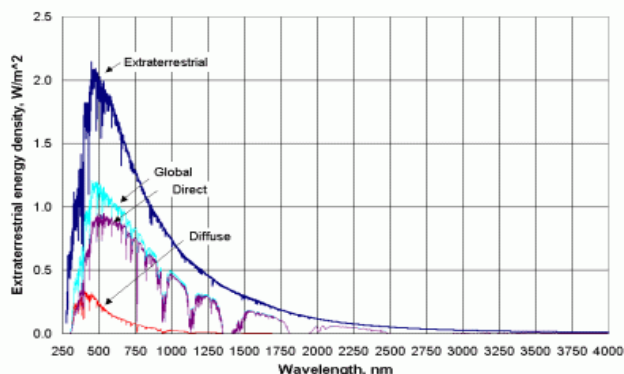
Výskum v oblasti farby oblohy sa orientoval na jasnú oblohu a zamračenú oblohu. Dodnes neboli zmerané parametre farby pre zostávajúce oblohové typy.



Obr. 1. Zjednodušená geometria merania oblohy.

Žiarenie od Slnka prestupujúce na Zem po vertikálnej osi sa mení od vzdialenosti medzi Zemou a Slnkom v priebehu roka. Mení sa atmosférickým rozptylom na molekulách vzduchu, vodnej pary a na aerosóloch. Vplyv má aj atmosférická absorpcia kyslíka, ozónu, vody a oxidu uhličitého. Je dôležitá bilancia medzi absorpciou a rozptylom. Absorpcia plynmi v atmosfére sa koná v úzkych spektrálnych pásmach. Podstatným faktorom pre farbu oblohy je rozptyl aerosólov a molekúl, ich koncentrácia má schopnosť meniť farbu oblohy. Keď je slnko priamo v zenite, nastáva nízky rozptyl a slnko sa javí ako biele. To je preto, že slnečné svetlo v tejto dobe prechádza minimálnou hrúbkou atmosféry. Pri východe a západe slnka slnečné svetlo prechádza šikmo cez oveľa hrubšie vrstvy atmosféry. To má za následok maximálny atmosférický rozptyl fialového a modrého svetla, a len malý rozptyl slnečného žiarenia v oblasti vyšších vlnových dĺžok. Preto sa slnko zdá byť červenej farby pri východe a západe.

Slnečné žiarenie rozoznávame globálne, difúzne a priame. Smer difúzneho žiarenia nie je možné exaktne určiť, pretože je vyžarované na zemský povrch nielen od slnka, ale aj od celej oblohy. Rozdelenie difúzneho žiarenia po oblohe je nerovnomerné a závisí od stavu atmosféry. Difúzne žiarenie vzniká vždy, aj pri jasnej oblohe.



Obr. 2. Spektrálna distribúcia extraterrestrálneho, globálneho, priameho a difúzneho žiarenia.

Podstatným faktorom pre meranie difúzneho svetla oblohy sú mraky. Mraky slnečné žiarenie absorbujú vodnou parou a kvapôčkami vody vo vnútri, a to je rozptyľované do všetkých smerov. Rozptyľ slnečnej energie mraku je komplexný mechanizmus, ktorý je veľmi matematicky ťažko opísateľný, pretože model optických vlastností mrakov sa mení veľmi rýchlo v priebehu času, nie sú priestorovo jednotné a nemožno ich merať ľahko. Tieto optické vlastnosti sú ťažko parametrizovateľné k získaniu modelov slnečného žiarenia. Najjednoduchším prípadom je úplne pokrytie neba jednotnou vrstvou mrakov. Zatiaľ čo väčšinou je takéto zloženie čiastočne, tj. s mrakmi rôznych druhov a v rôznych nadmorských výškach. V súhre s mrakmi, prispievajú absolútnym zmenám stavu oblohy aj vzdušné prúdy.

V súčasnosti neexistuje jednoduchý model slnečného žiarenia, kvôli zložitosti, schopných predpovedať okamžité spektrálne ožiarenie za akýchkoľvek podmienok oblohy s primeranou presnosťou.

Meranie kolorimetrie

Skúmanie farby a kolorimetrických vlastností oblohy nie je striktné dané, pretože obdržaný parameter farby môžu byť sprostredkované mnohými spôsobmi.

Je zrejmé, že spektrálne krivky pre denné svetlo a svetlo oblohy sa budú líšiť meraniami. Stojí za tým metodika merania. Meranie kolorimetrie oblohových typov je v pozadí naproti meraniam žiarivých veličín.

Dôležitým faktorom je, že ak poznáme spektrum difúzneho svetla oblohy tak vieme určiť kolorimetrické vlastnosti. Späť tento vzťah nie je možné určiť.

Primárne na meranie difúzneho slnečného žiarenia využívame rotujúci pyranometer s tieniacim pásikom.

Na meranie farby slnečného žiarenia sa používajú meracie prístroje, ktoré snímajú spektrálne žiarenie všetkých vlnových dĺžok. Alebo, ktoré merajú žiarenie stanovených vlnových dĺžok, túto požiadavku spĺňajú spektrometre. Súčasné merania sa čoraz častejšie orientujú na hodnotenie kolorimetrie pomocou fotografie.

Vytvorenie modelov oblohy do dnešnej podoby, prešlo mnohými výskumami. Tieto výskumy viedli od modelu jasnej oblohy Moon a Spencer, Kittler, cez prechodný model Littlefair, Nakamura, až po klasifikácie do skupín Perraudau, Perez, Kittler a spol. (1997) klasifikoval všetky oblohové podmienky do skupín. Výskum v oblasti jasnosti a teploty farby vykonal Chain a spol. (1999), tieto bolo možné aplikovať na výskum v oblasti slnečného žiarenia. Experimentálne systémy so snímačmi CCD s rôznymi cieľmi boli prezentované Shieldsom a spol. (1999), Dumortier a spol. (2001). Presné farebné meranie oblohy spektorradiometrom poskytli Hernandez - Andres a spol (1999) a Hernandez - Andres a Romero (2001). Hodnotenie oblohy pomocou digitálneho fotoaparátu vykonal Lee. (2008)

Parametre farby

Simulácia farby oblohy sa vykonáva definovanými farebnými priestormi podľa CIE. Trojfarebné systémy opisujú farbu z hľadiska hodnoty stimulov. Najpoužívanejšie sú CIE XYZ, CIE L*u*v* a dnes bežne používaný CIE L*a*b*.

Požadovanou vlastnosťou akéhokoľvek súradnicového systému je percepčná jednotnosť, túto vlastnosť CIE XYZ nespĺňa. CIE L*a*b* systém, ktorý je ľahko odvoditeľný z CIE XYZ je široko používaný vo farbe zobrazovania. Pričom L* predstavuje jasovú komponent. Nelineárne vzťahy medzi tromi komponentmi tohto farebného systému sú vytvorené tak, aby napodobňovali logaritmické reakcie ľudského oka.

$$(1) \quad \begin{aligned} X &= \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} L(\lambda) \bar{x}(\lambda) d\lambda \\ Y &= \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} L(\lambda) \bar{y}(\lambda) d\lambda \\ Z &= \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} L(\lambda) \bar{z}(\lambda) d\lambda \end{aligned}$$

Na rozdiel od CIE XYZ je tento systém závislý od stanovenia bieleho bodu. Kým nie je tento údaj stanovený, nemôže tento priestor definovať absolútne farby. Bežne sa však biely bod určuje podľa štandardu vzhľadom na systém, resp. aplikáciu, ktorá tento farebný priestor používa. Vyjadrenie perceptuálnej vzdialenosti dvoch farieb, pre tento model tak dôležité, možno vypočítať ako Euklidovskú vzdialenosť medzi dvoma trojicami L*, a*, b* súradníc, reprezentujúcich 2 farby v tomto priestore. Tejto vzdialenosti sa v rámci L*a*b* priestoru hovorí ΔE , presnejšie ΔE^*_{ab} .

Vhodným parametrom, ktorý slúži na hodnotenie farby difúzneho žiarenia oblohových typov je teplota chromatickosti. Teplota chromatickosti, alebo aj farebná teplota charakterizuje spektrum bieleho svetla. Svetlo určitej farebnej teploty má farbu tepelného žiarenia vydávaného čiernym telesom, zahriatym na túto teplotu. Teplota svetla sa potom dá merať v Kelvinoch. Slnko a všetky obyčajné či halogénové žiarovky majú spojité spektrum, obdobne ako čierne teleso. Ak teda porovnávame svetelný zdroj s prirodzeným denným svetlom, je to, akoby sme ho porovnávali s čiernym telesom. Zvyšovaním teploty absolútne čierneho telesa dostaneme rôzne spektrá. Svetlo týchto spektier spôsobuje rozličné vnemy farieb v oku pozorovateľa. Každá teplota zodpovedá inému spektru a, naopak, každé spektrum zodpovedá určitému miestu v trojuholníku farieb. Spojením týchto miest dostávame Plankovskú krivku.

Tabuľka 1 Teplota chromatickosti rôznych stavov oblohy.

Zdroj svetla	Teplota chromatickosti
Zamračená obloha	7 000 K
Ľahko zamračená obloha	6 000 K
Denné svetlo	5 500 K
Skoro ráno / neskoro večer	3 500 K
Východ slnka	2 000 K

Namerané spektrálne distribúcie difúzneho žiarenia je možné hodnotiť pomocou referenčného spektra, ktoré je určené na základe vlastných vektorov.

Teplota chromatickosti sa pri meraní denného svetla aproximuje McCamyho vzťahmi na tzv. epicentrá, ktoré majú prijateľnú neistotu.

Grafické vyjadrenia meraných parametrov sú často prevedené do trichromatických priestorov. Pri meraní na rôznych elevačných uhloch v chromatickom diagrame vznikajú V krivky. Vyjadrujú rozdiel v chromatickosti v rôznych uhloch azimutu. Teplota chromatickosti sa uvádza v histogramoch ako inverzná hodnota v miredoch. Hodnotenie chýb sa prevádza bežnými metódami napr. RMSE. [2,3,4,6].

Metódy merania

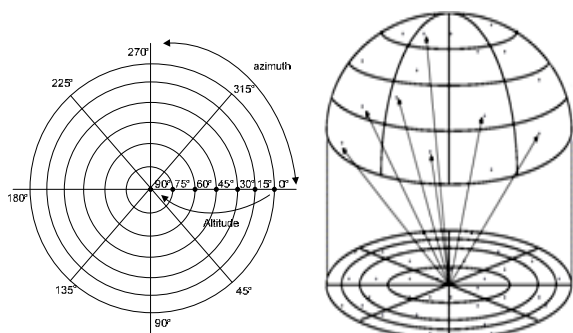
Pri meraní je mnoho faktorov, ktoré treba brať do úvahy: lokalitu, geometriu pozorovateľa, uhlovú výšku elementu, typ oblohy, doba potrebná na meranie atď.

Meranie kolorimetrie oblohy, popísané tu vychádza z dvoch odlišných systémov: meranie pomocou spektrometra a meranie pomocou digitálnej fotografie.

Hlavným predpokladom pre meranie je nezatiená meracia lokalita s astronomickým horizontom v uhle 0° . Pričom meracie stanovisko, aby malo byť umiestnené, tak aby nevznikli druhotné odrazy od okolitých objektov. Tie by prispeli k skresleniu výsledkov spôsobených odrazeným svetelným žiarením.

Metodicky najjednoduchšie meranie farby oblohy je meranie oblohy ako jedného elementu. Meraným parametrom je difúzne žiarenie oblohy, ak sme schopný odstrániť priame žiarenie. Dopadajúce žiarenie na prístroj sa prevádza sústavou filtrov, popr. CCD snímačom. Prístrojom schopným merať týmto spôsobom je kolorimeter a ukazovateľom je teplota chromatickosti. Geometria merania sa uskutočňuje kolmo na zenit. Získané výsledky majú informatívny charakter.

Odporúčané meranie oblohovej kolorimetrie je pri rozličných elevačných výškach na rozličných azimutoch a rôznych slnečných meridiánov s ofiltrovaním priameho slnečného žiarenia. Meranie by malo byť vykonané pre oblohové elementy, kde je prístrojovo zabezpečený uhol pozorovateľa, napríklad 3° . [4] Tým je v tomto prípade zabezpečené odstránenie vplyvu priameho slnečného žiarenia. Vzniknutá mapa skenovaných oblohových elementov môže obsahovať desiatky skenovaných elementov. Týmto spôsobom je možné získať dáta z celej oblohy. Pomocou nameraných oblastí je možné zrekonštruovať kolorimetriu oblohového typu. Nevýhodou merania skenovania oblohy je čas, ktorý je potrebný na kompletný sken oblohy, tj. dynamika oblohy sa môže meniť. Môže vzniknúť asymetria merania. Takéto meranie sme schopný vykonať spektrometrom, ktorým meriame spektrá rôznych stavov oblohy. Rozlíšenie skenovania vlnových dĺžok by nemalo byť väčšie ako 5 nm. Spektrometrom sme schopný merať väčšie množstvo svetelnotechnických veličín v jednom okamihu.



Obr. 3. Znáoznenie geometrickej sústavy merania, a azimutu a elevačného uhla pri rôznych meridiánoch.

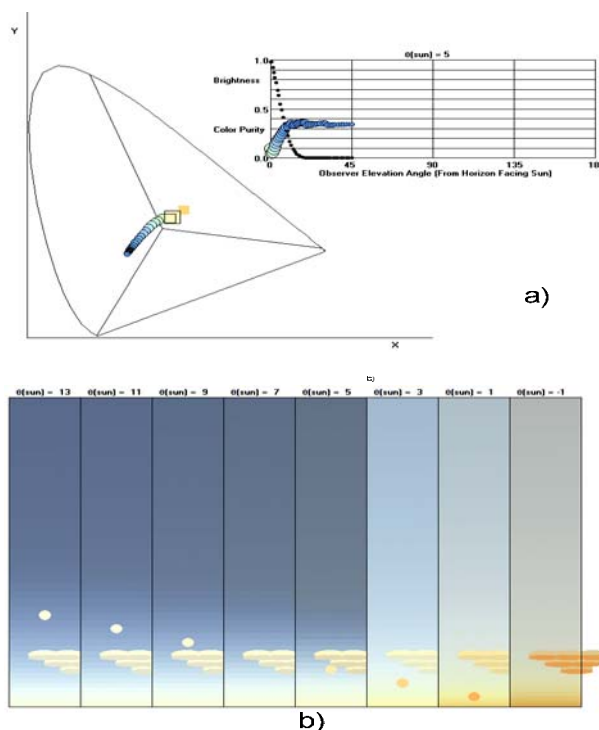
Ďalším spôsobom je analýza kolorimetrie zo zachytenej oblohy na digitálnu fotografiu v uhlovom rozptyle 360° pomocou nadstavbového objektívu na fotografický aparát. Známý ako „rybie oko“. V súčasnej dobe už uvažujeme iba s tvorbou digitálnych fotografií, tie sú veľmi ľahko spracovateľné v osobných počítačoch. Meranie je podstatne rýchlejšie, postačuje nám jedna fotografia. Fotografický aparát by mal byť smerovaný kolmo na zenit. Získaný 360° snímok sa analyzuje dostupným softvérom. Najväčším problémom je spektrálna citlivosť $V(\lambda)$ [1]. Je to spôsobené CCD snímačom s daným rozlíšením, ktorý je v každom zariadení rozdielny. Je nutné vykonať spektrálnu korekciu podľa $V(\lambda)$ CIE. V digitálnych kamerách, používajúc trojfarebné systémy napr. RGB, je zrekonštruované spektrum len obrysom skutočného

spektrálneho žiarenia. Každý sensorový pixel, poskytuje iba tri širokopásové merania spektrálnej distribúcie, čo je menej ako skutočné spektrálne žiarenie. Vykonaním kalibrácie je možnosť rekonštrukcie spektra ako po kolorimetrickej tak aj po spektrálnej stránke.

Vyhodnotenie fotografií je závislé na použítom softvéri.

Možnosti použitia softvéru

Softvér, ktorý sa bežne využíva na simulovanie, hodnotenie a modelovanie slnečného žiarenia nevie pracovať s kolorimetrickými parametrami. Softvérom bežne reprezentujúcim simuláciu a modelovanie slnečného žiarenia je: Modtran, Lowtran, Smarts, Spectral2 atď. Na vyhodnocovanie farieb sa používa pri spektrometroch špecifický program dodaný výrobcom. Pri fotografickom hodnotení je výber širší, keďže softvéru na tvorbu a prácu s obrazom poznáme mnoho. Softvér použijeme buď od výrobcu aparátu, alebo komerčný softvérový nástroj. [6] Na jednoduchú simuláciu kolorimetrie slúži napríklad program SkyColor. Programy tohto typu majú možnosť simulácie so vstupnými údajmi ako mraky, tieň, refrakcia, rozptyl, ozón atď. [7]



Obr. 4. Grafický výstup zo simulačného programu SkyColor. a) Chromatický diagram so znázornenou farbou slnka. b) Zmena farby oblohy pri zmene polohy slnka. [7]

Vplyv farby na rytmy človeka

Pre každodenný život človeka je dôležité svetlo. Striedanie fázy svetla a tmy sa deje počas 24 hodín, evolúciou sa naň prispôsobili všetky organizmy. Organizmy nereagujú iba pasívne na zmeny v rytme, ale tieto sa generujú priamo v organizme. Cyklické zmeny prostredia sú spôsobené otáčaním Zeme okolo svojej osi a na ne sa prispôsobili biologické hodiny. Keďže vstupným parametrom pre hodnotenie rytmov je svetlo, tak má zmysel aj uvážiť, ako by sa choval rytmus človeka len pri osvetlení difúznym svetlom oblohy, pri rôznych farbách oblohy. Priame svetlo má vyššiu hodnotu expozície žiarenia, tj. vlnových dĺžok teda aj farby. Pri difúznom svetle je ale rozhodujúcim faktorom distribúcia vlnových dĺžok, na ktoré má vplyv rozloženie atmosféry, pričom sa mení aj farba

oblohy. Distribúcia vlnových dĺžok difúzneho žiarenia sa bude v niektorých oblastiach spektra vlnových dĺžok znižovať. Na rovnaký stimul cirkadiálneho rytmu ako pri priamom žiarení je potreba dlhšieho expozičného času.

Naproti tomu sezónne rytmy sú priamym dôsledkom zmeny ročných období, teda aj oblohových stavov, tieto majú priamo za následok sezónne depresie. Výskumom sa preukázalo, že vyššie hodnoty teploty chromatickosti zdrojov sú stimulom pre ľudský organizmus. Denné svetlo má neustále sa meniacu hodnotu teploty chromatickosti počas celého dňa, aj keď sa zdá byť konštantná. Príkladom môže byť porovnanie dňa, kedy je zamračená obloha a dňa kedy je jasná obloha. Menšiu úlohu zohráva psychológia farieb. Príklad z hľadiska psychológie farieb, zamračená obloha je šedej farby, čo pre človeka znamená neschopnosť sa uvoľniť. Naproti tomu modrá alebo biela farba poskytujú človeku pokoj, bezstarostnosť až slobodu.

Záver

Meranie kolorimetrie oblohových typov obsahuje dodnes veľa otázok. Množstvo metód je dodnes nepoužiteľných kvôli nerozlíšeniu denného priameho svetla a difúzneho svetla oblohy. Merania farieb jasnej oblohy a zamračenej oblohy sú experimentálne podložené. Zostávajúce oblohové typy doposiaľ nikto nehodnotil z hľadiska kolorimetrie. Je potrebné vyhotoviť komplexný systém merania, ktorý bude univerzálny pre všetky oblohové typy. Zmeraním

a analyzovaním všetkých typov oblôh by sme získali kolorimetrické sady, ktoré by mohli byť nápomocné v ďalších odvetviach.

LITERATÚRA

- [1] Lee L. R., Measuring overcast colors with all-sky imaging. In: *Applied optics*, Vol. 47, No. 34, ISP: 1.202.416.1938, Optical society of America, (2008).
- [2] J. P. S. Parkinen, J. Hallikainen, and T. Jaaskelainen, *Characteristic spectra of Munsell colors*, J. Opt. Soc. Am., A 6, 318–322 (1989).
- [3] McCamy, C. S., *Correlated color temperature as an explicit function of chromaticity coordinates*. Color Research and Application 17, 2, 142–144. (1992).
- [4] Hernandez-Andre's J., J. Romero, R. L. Lee, *Colorimetric and spectroradiometric characteristics of narrow-field-of-view clear skylight in Granada, Spain*, 0740-3232/2001/020412-092001 Optical Society of America,
- [5] Commission internationale de l'éclairage, *Spatial Distribution of Daylight – CIE standard general Sky*, CIE S 011/E:2003, CIE Vienna, (2003).
- [6] Muneer T., *Solar Radiation and daylights models*, ISBN 0 7506 5974 2, Second edition, Elsevier (2004).
- [7] Gedzelman's S., *Atmospheric Optics Page*, SkyColor computer program.

Autor: Ing. Anton Rusnák, Slovenská technická univerzita, Fakulta elektrotechnicky a informatiky, Ilkovičová 3, Bratislava, E-mail: anton.rusnak@stuba.sk

To See or Not to See – Reflections on Human Color Perception

Abstract The correctness of color vision is the essential problem in Lighting Technology, Human Computer Interaction and Computer Graphics. To answer the question about correctness of perception process the workings of the whole human vision system should be analyzed. The color information can be falsified at everyone stage of perception process. In many cases it is useful for us but often does not allow obtaining information about true color in proper way. But what is really true: the measured color or our "real subjective" perception?

Keywords: color perception, human vision system.

Introduction

We all know spectacular optical illusions, where the interpretation of the received image can differ from the reality. We are accustomed, that the surrounding world is such as we see it, and we often put the question if the eye fails us? Or maybe, we simply see what we want to see (Fig.1)? There exist many analyses dedicated to creation of the optical illusions and to the perception problems. The question arises, if we can deal with similar perception problems in the color vision. Does the impression of color correspond with the real object color. It is easy to notice that „the surrounding world is colorful”. The development of the technique in last years caused that this sentence has taken the almost new sense. Television, printing, photo climbed on the unavailable so far level of color reproduction. The computer technique applied in the image processing lets manipulate the color and the shape of objects in the picture practically without limitation. One can hazard a guess that today well done photomontage can not be detected using any mathematical analysis [1]. On the other hand, despite the wealth of technical possibilities, there exists problem how to select unambiguously the set of used colors to satisfy the observer [2]. We realize that probably the eye is not the perfect instrument of the measurement (evaluation) of the color. But if the color perception is also subject to illusions, then it is worth knowing at least, on which stage of the perception process it happens.



Fig.1. One of the well-known illusions. Picture originated in Germany approx. 1890

The structure of the eye

The eye is an organ of a sense that allows distinguishing visual properties of the surroundings. The major part of the eye as the optical instrument function two

elements: the convergent lens and the retina, where picture is projected. The amount of the light falling into the eye is regulated by the pupil (the hole controlled by the iris). The image created on the retina is turned upside down, real and reduced. Retina contains two kinds of receptors: approx. 120 million of rods and approx. 6 million of cones. The electrochemical reactions are created in the photoreceptors of the retina and the light information is converted into neural signals of vision. Via optic nerves visual signals are transmitted to the brain.

Rods are responsible for the low light (skotopic) vision. They allow to distinguish monochrome information: black, white and tints of grey. Rods cannot inform us about colors but can work very well in dim light. In the dim lighting we not see colors but we distinguish shapes and contours very well. Cones are responsible for the bright light (photopic) vision. They allow to distinguish color. They require the large amount of light (brighten light) to stimulation then rods. There exist three kinds of cones in the human retina. Each one of cone contains proper photosensitive substances (opsin) characterized by different profiles of light absorption.

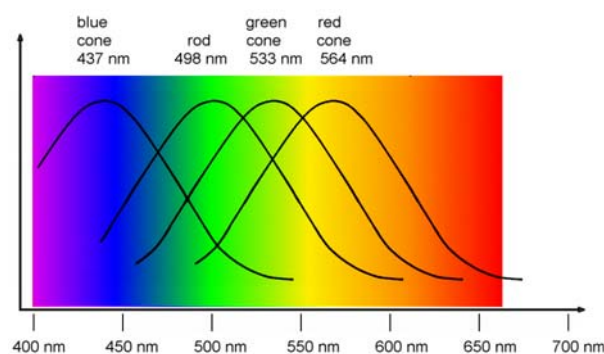


Fig.2. Curves of relative absorption for cones and rods. Picture based on [3]

The absorption curves of photoreceptors are bell-shaped and cover almost the whole range of the visible radiation (Fig.2). The peak of curve for individual cone lie in the wavelength range associated with specific color. Cones are marked as a blue or S (short): 437 nm, green or M (medium): 533 nm and red or L (long): 564 nm. The absorption curve of rods is bell-shaped as well and has the maximum for 498 nm. The shift between curves of cones and rods causes the different perception of colors in photopic and skotopic vision. The effect of this shift is an impression that we perceive blue-green surfaces in the night as brighter than in the day, however yellow-red as darker (the Purkinje phenomenon).

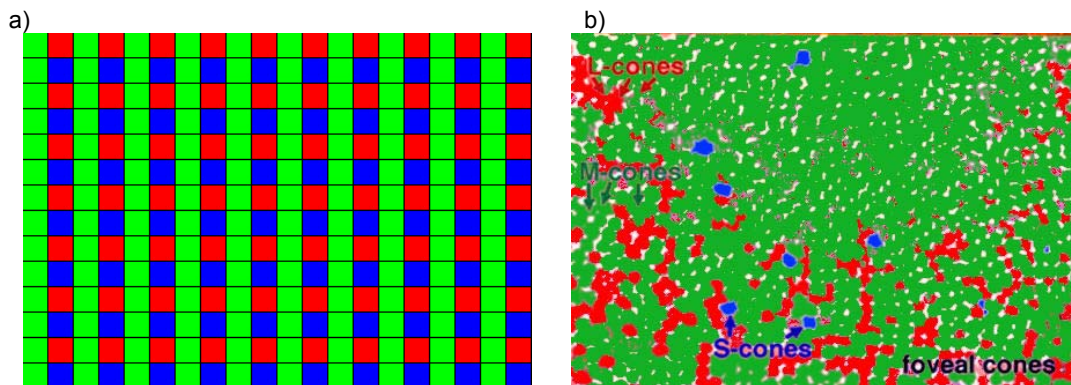


Fig.3. a) Excerpt of the typical camera's matrix. b) Distribution of red, green and blue cones on retina in the neighborhood of the fovea. The b) picture based on [3].

Receptors are nonuniform distributed on the surface of retina – cones lie mainly in the field of the fovea and its neighborhoods. Fovea is the central part of retina and it is responsible for maximum acuity of vision. The fovea covers the angle approx. 1 degree of the field of the vision. There is the largest density of cones here – the distance between centers of two cones is even to their diameter (approx. 0,002 mm). The density of cones falls sharply outside of fovea. Rods are on the whole retina; however its largest concentrating appears in the angular distance of approx. 15 degrees from the fovea. It is very interesting that the numbers of red, blue and green cones are not even and additionally large differences can be noticed between people. There is typically very small number (2% – 4%) of blue cones. The connection of the visual nerve with the retina creates the so-called blind spot, where are no receptors.

Receptors on the retina can be compared to the matrix with photo sensors of modern digital cameras. There are also three kinds of sensors there: red, green and blue. And their numbers are also not equal. The number of green sensors is equal to the sum of red sensor numbers and blue sensor numbers (Fig. 3). Such a structure of photo matrix means also that the given point of the matrix is never represented by 3 components, but only by one of them. The values of remaining components are determined by interpolation. The similar problem occurs on the retina. Any point of the retina (point of the image we observe) is analyzed only by one receptor (at most, in some places of retina in peripheral view can be none!). The color of this point is interpolated by the brain on the basis of the condition of neighboring receptors. The problem is growing due to the fact, that in digital camera the receptors are distributed on the matrix in identical way on the whole surface, however the distribution of the cones on the retina is practically random (Fig. 3.b).

It is worth pointing out how receptors are connected to the brain. The number of the nerve connections of the retina in the visual nerve amounts approx. 1 million (compared with approx. 120 million of receptors). Therefore correspondence 1 receptor – 1 connection is impossible. Already on the stage of processing in the retina structure the image is „compressed“. Only in the fovea every one receptor (cone) is connected to the brain via its own individual visual nerve. Estimation has been made, that fovea's part of retina surface creates approx. 50 % of connections. The rest of connections cover the remaining area of the retina (but the fovea covers only the angle approx. 1 degree of the field of the vision!). This means that the color which we observe outside the fovea is determined as an average from certain surface of the retina. The visual nerves of the left and right eye are connected to

the centre of the vision in the occipital lobe of the cerebral cortex. Information from receptors is processed there and the image is reconstructed.

Young – Helmholtz Theory

The absorption curves of photoreceptors (cones and rods as well) are bell-shaped and each of them covers the wide range of the visible radiation (Fig. 2). Information from the receptors is interpreted by the brain and color is defined. From the mathematical point of view information from at least two receptors (two curves covered similar range of wavelength) allows to build correct interpretation and color reconstruction. Such a kind of vision is called dichromacy [4] – this way the world is perceived by majority mammals. The human (and some primates) uses three cones, each of them associated with the different length of the wave. Existence of three independent receptors in the eye, each responsible to different component of color, proposed Thomas Young in 1802. The information from receptors reaches the brain independently, the color impression is the effect of „mixing“ – analysis of component. Hermann Helmholtz developed and formalized theory of trichromacy in 1850. This theory was partially confirmed only in sixties of 20th century [5].

Unfortunately the trichromacy theory is not devoid of defects. It is very difficult to explain many phenomena based on this theory. E.g. how distinguish white light or yellow color people with defect of red cones (lack of red photosensitive substances in the eye).

Hering Theory

In 1872 Ewald Hering introduced the antagonistic theory of color perception [4, 5]. He assumed existence of three kinds of receptors and three channels for transmitting information to the brain, but in his theory they are opposing channels. Red-green, blue-yellow and white-black. Cones generate opposed information – red or green color, never red-green blending. This theory found partial confirmation in investigations in sixties of 20th century [5]. It was commonly believed for many years that it is impossible to receive simultaneously opposing information. Investigations made in last years showed that it can occur in specific conditions [6, 7]. The man will e.g. see then blending of blue and yellow which does not create the green color!

The present medicine finds, that both theories complement each other, i.e. cones contain the proper photosensitive substances (opsin) characterized by different profiles of light absorption, but to the brain are transmitted both information: about the level of absorption of proper opsin as well as about the mutual relation between opposing colors. The connection of the trichromatic vision

theory and antagonistic theory allows explaining many doubts [8].

Perception of the color

Our perception depends on many different conditions. Lighting of the object has decisive influences on the perception of its color. The change of light's component that illuminated colorful stain influences the change of light reflected from the stain. Reflection is received by eye and receptors are stimulated by components depending on the reflection.

Contrast is one of the most spectacular properties that change color perception (Fig.4). The luminosity of the object and of surrounding area can influence each other. It can occur also in situation when the mutual dependencies are not in the same time. Background or other colorful stain in the field of view that appears before perceived object can influence on the impression of color. The color illusion followed the stimulation in this case.

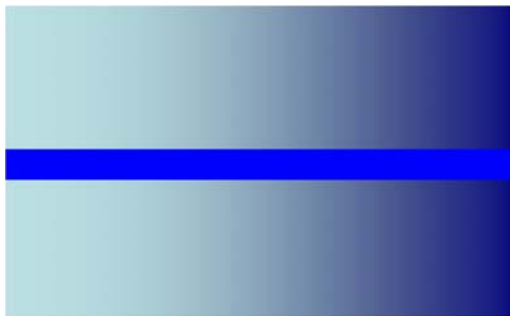


Fig.4. Surrounding area and contrast influence on the color impression. Color of the central blue belt is constant

In many situations the perception of color can depend on change of contrast, on lighting, on neighborhood and surrounding or other colorful stains in the field of vision. It can depend also on size or scale of objects.

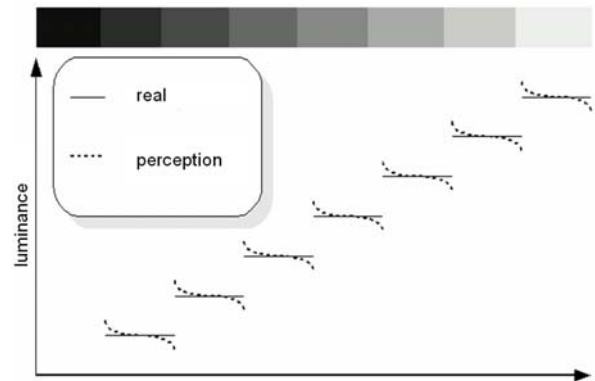
The problem of perception is growing due to the fact that exists perceivable dependencies between color attributes. E.g. hue and intensity are treated as independent parameters, but in Bezold-Brücke phenomenon [3] increase of intensity causes, spectral colors shift towards blue (if it is below 500 nm) or yellow (if above 500 nm). The change of luminance or saturation joins the impression of changes yellow and blue components.

Grassman third law (the principle of additivity) tells that: **Color of a mixture depends only on components of colors not on spectral properties.** Metamerism is the phenomenon that is the consequence of this law. Phenomenon consisting in perceiving color of objects with different spectral components. We can deal with metamerism in various situations. The classical problem occurs in printing and desktop publishing. The newspaper can be printed using two kinds of black paint and in the conditions of the printing house no differences were visible. But readers noticed different colors just in different lighting conditions. The same spectral components but different material or technology create very difficult perception problem. On the other hand there exists many material that looks identically (color perception is the same). But their spectral components are different. The most spectacular end most often discussed example [9] is the red paint. Some years ago this paint was prepared from very expensive components. And then it was replaced by different but cheap materials and the new technology. Using different material and this way different spectral properties, the same impression of red color is created.

Theoretically the same color impression can be generated using entirely different spectral components.

The perception of the color does not depend on its spectral components. The eye is not the instrument for measure of the spectral component.

The work of receptors on the retina influence each other the process of the perception. It is visible on the border between elements with different luminance (Fig.5). This phenomenon is caused by the mutual influence of neighboring receptors and is called **lateral inhibition**. The ganglion cells in the proper layer of retina are stimulated by illuminated photoreceptors. Their response is dependent on inhibition or stimulation by neighbouring receptors. Finally the effect of lateral inhibition is to create edge between fields, and the impression of different luminance is deeper than real difference [10].



Figs.5. The phenomenon of lateral inhibition. The change of the luminance: real and perceived. Each gray rectangle has constant luminance

This mechanism is very useful for us. It allows e.g. reading papers in low light. But this phenomenon is a source of problems in printing and desktop publishing. It is e.g. very difficult to print continuous change between two defined colors. The so-called Mach bands can arise there.

Do we really see what we look at

Information from the receptors of the eye reaches the brain, the centre of the vision in the occipital lobe of the cerebral cortex. And information from receptors is there processed. What reaches our consciousness is the effect of the work of the brain; it is impression created on the basis of the data from the receptors of the retina. But not only.

Color is not physical feature of material. It is only visual impression created in the brain after analysis of the information from the retina.

The brain influence on created image is very strong; simply decisive. It is worth pointing out at least one problem. The „white balance” is the term that appeared in common use together with developing of the digital cameras. Before it this term was known by movie makers and photographers. Natural light (sunny) in various day time and lighting generated through artificial sources can have various color temperatures. It means different wavelengths component and different trichromacy analysis. Objects moved between such lighting looks completely differently. It was always the serious problem for photographers. This problem practically not occurs in human color perception. Eye and brain solves the white balance problem excellently. The white piece of the paper stays in our feeling white regardless of conditions where we see it; regardless of kind of light illuminated this object. The faces of playing people in the disco are always in accordance to our expectation (or

habit) independently of the color of flashing lights. Research on the „color creativity” of human brain has been done for many years, among other things, in the R.B.Lotto laboratory [11, 12]. Pictures generated there (Fig.6) gives the amazing impression. We often see in them colors which objectively measured (using trichromacy components) are completely different then impression. And even the consciousness of this mechanism does not change the impression. The work of our brain is stronger. The color impression is not only the effect of stimuli reaching from the receptors of the retina, but it is also the effect of the influence of knowledge and experiences, memory, and different factors not connected to the image directly [11,13]. Dreams, visions and illusion are the extreme case in this context, when images in our consciousness come into being at all without the stimulation of cones or rods of the retina in the eye.

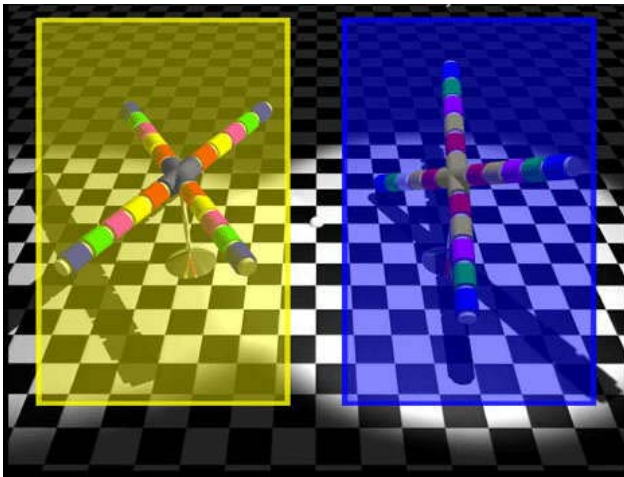


Fig.6. Brain manipulation of the color: central part of the left cross seems to be dark blue, right – yellow. In fact central parts in both cases are identical (gray). Brain is influenced by the background color, „believing” that objects are illuminated by yellow or blue light, brain added correction.
(Excerpt of the picture prepared in lottolab [12]).

„Algorithm” for image processing executed in brain

Image reproduction in human brain after analysis of retina information can be treated as the classic mechanism of image processing. Taking into consideration properties of eye structure, retina’s receptors, and transmission of the visual information an algorithm of the image processing can be introduced [14]. Algorithm that should be executed when we would like to simulate visual perception.

1. Reproduce color of the proper point that corresponds to cone of the retina.
2. Interpolate color between reproduced points.
3. Supplement color of the blind point and some point of peripheral view.
4. Correct histogram, contrast and luminance.
5. Turn image about 180°.
6. Compose images from left and right eyes into one view.
7. Correct white balance.
8. Correct color taking into consideration knowledge experiences, memory etc.

This hypothetic algorithm is quite complicated. It is worth pointing out the speed of the realization. „Image processing of human view” takes approx. 100 ms – the brain „processes” from 10 to 20 images in the second. Details of this algorithm are discussed in [14].

Summary

The color perception is a complex and subjective process. Not only photoreceptors of retina but also our brain and thinking are taking a part in it. Colors of image created in our consciousness depend on many factors: color attributes, neighborhood and surroundings, size of the picture. At everyone stage of perception process the color information can be falsified. The most spectacular changes occur in the last stage of perception; in the brain. Our memory, knowledge and experience have very strong influence on the color perception. The proper color information can be perceived by photoreceptors. Even if it is transmitted to the brain in right form, the brain can change it and put to our consciousness modified („corrected”) information. And we will notice different color. In extreme situations incorrect interpretation of color information can cause dangerous problems – e.g. road accidents in the difficult light conditions. The only solution is do research and discover mechanisms of the perception. And then consider it in every situation where color determined essential information for us.

REFERENCES

- [1] Farid H.: Seeing Is Not Believing, *IEEE Spectrum*, Vol.46, No 8, August 2009, pp.42-47
- [2] Sik Lányi C, Sik A, Sik G, Schanda J: What kind of colours are used in the virtual games and which would be better to use in designing these virtual games?, *Third Central European Multimedia and Virtual Reality Conference*, Eger, Hungary, Nov. 6-8, 2006, pp. 85-92
- [3] Kolb H., Fernandez W., Nelson R.: *Webvision. The Organization of the Retina and Visual System*. <http://webvision.med.utah.edu/>
- [4] Gouras P.: Color Vision, in: *Webvision. The Organization of the Retina and Visual System*. <http://webvision.med.utah.edu>
- [5] Kalloniatis M., Luu Ch.: Psychophysics of Vision, in: *Webvision. The Organization of the Retina and Visual System*. <http://webvision.med.utah.edu>
- [6] Billock V.A., Gleason G.A., Tsou B.H.: Perception of forbidden colors in retinally stabilized equiluminant images: an indication of softwired cortical color opponency?, *Journal of the Optical Society of America A*, Vol. 18, Issue 10, October 2001, pp. 2398-2403
- [7] Billock V.A., Tsou B.H.: Neural interactions between flicker-induced self-organized visual hallucinations and physical stimuli, *Proceedings of the National Academy of Sciences of the USA*, Vol.104, May 2007, pp.8490-8495
- [8] Pastuszak W.: *Influence of the calibration methods on the color reproduction in computer graphic and digital printing. How to calibrate the observer eye (in Polish)*. PhD thesis, Warsaw University of Technology 2002
- [9] Pastuszak W.: *Color in computer graphics (in Polish)*, PWN Warszawa 2000
- [10] Wróbel. A.: On side restraint in human vision system (in Polish), *Machine Graphics & Vision*, Vol.1, Nos.1/2. 1992, pp.19-24
- [11] Purves D., Lotto R.,B.: *Why We See What We Do, An Empirical Theory of Vision*, Sinauer Associates, Inc. Publishers 2003
- [12] lottolab studio: www.lottolab.org
- [13] Popek S.: *Color and Psyche (in Polish)*, Wydawnictwo UMCS Lublin 2001
- [14] Sawicki D.: To look or to see, discussion about color perception (in Polish), *XVIII National Lighting Conference*, Warsaw 15-16 X 2009, pp.94-103

Author: Dariusz Sawicki PhD DSc, Warsaw University of Technology, Institute of Theory of Electrical Engineering, Measurements and Information Systems, Koszykowa 75, 00-661 Warsaw, Poland, E-mail: dasa@iem.pw.edu.pl.

Power Supplies for LED lighting

Abstract. Introduction of LEDs as an electrical component. Supplying of LEDs from SELV, through resistor or analogue current source. Supplying through Switched Mode Current Source. Power supplies supplied with mains for LEDs with SELV function. Non-isolated power supplies. Dimming. Electromagnetic Compatibility (EMC), THD of mains current.

Keywords: LED, DC, AC, SELV, PWM, THD, PFC

Introduction of LEDs

LEDs are determined electrically by its $I=f(U)$ characteristic. Forward characteristic is approximated well by a $3.1...3.7V$ + a small voltage drop on dynamic resistance. Forward voltage depends on the product, manufacturer, operating point, and temperature of the LED. Typical value is $3.2V @ 350mA$. Value of dynamic resistance is about $1 \Omega @ 350mA$. This is about 1/10 of static resistance calculated value from the operating point. This difference must be taken into consideration when developing a power supply. Forward voltage drop has a $-4mV/C^\circ$ temperature coefficient. For example this means forward voltage of LED decreases by $0.2V @ 50C^\circ$ temperature increase of CHIP. This voltage is $0.6V @$ three pcs. of series connected LEDs.

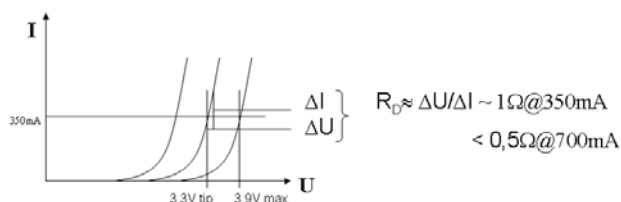


Figure 1: LED forward characteristics

Supplying LEDs from Safety Extra Low Voltage (SELV) class Direct Current (DC)

The easiest way to supply LEDs from a power supply characterized as a voltage source (eg. a battery) is that current limiting resistor is series connected with LEDs. Eg. we need a $R_e = (12V - 9.9V) / 0.35A = 6\Omega$ resistor series connected to 3 pcs. of power LEDs. If we have a LED with highest possible forward voltage, then we need a $R_e = (12V - 11.7V) / 0.35A = 0.86\Omega$ resistor. In the first case if the temperature of CHIPS increase by $50C^\circ$, the forward current will increase up to $0.45A$ which is much higher than the $0.35A$ originally set. We can conclude this system is not stable as for scattering of electrical parameters or temperature changing. If we replace current limiting resistor by an analogue current source, stability problems will disappear, as current that has been set will be constant and independent of temperature and number of LEDs series connected. Efficiency will not be better than in the case of using a current limiting resistor.

Eg. if we have a $14V$ battery and it supplies 3 LEDs, efficiency $\eta = P(LEDs) / P(In) = 71\%$ is quite low. So this solution can be used in cheap and low power systems.

Consequently, LEDs must be supplied of constant current from a high efficiency switched mode current source in a high power system. A proper circuit is determined by the ratio of the voltage of LED string and that of power source. So a circuit can be voltage decreasing (BACK), voltage increasing (BOOST) or mixed.

Voltage increasing circuit

At a voltage increasing circuit $U_{LED} > U_{DC_SOURCE}$. Eg. when supplying the 6 series connected LEDs from a $12...15V$ battery. Block diagram of this circuit is shown below.

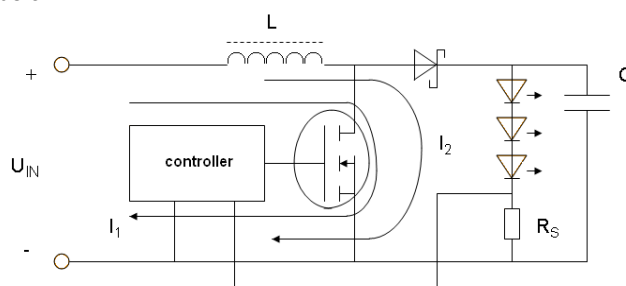


Figure 2: Block diagram of voltage increasing circuit

In the 1st phase FET switches on, the I_1 current increases linearly, under the influence of it magnetic energy will be stored in L inductance. In the 2nd phase FET switches off, current of L through diode (D) will flow into the LEDs. Average current of LEDs depends on the on-duty-cycle of FET, can be set by PWM signal.

Advantages: good efficiency, if FET breaks down LEDs will not go wrong.

Disadvantage: Current of LEDs has a high ripple which can be lowered by connecting a capacitor (C).

Voltage decreasing circuit

In a voltage decreasing circuit $U_{LED} < U_{DC_SOURCE}$. Eg. when supplying $1...6$ series connected LEDs from a $24...30V$ battery (+solar cells) or a $24VDC$ central power supply. Block diagram of this circuit is shown below.

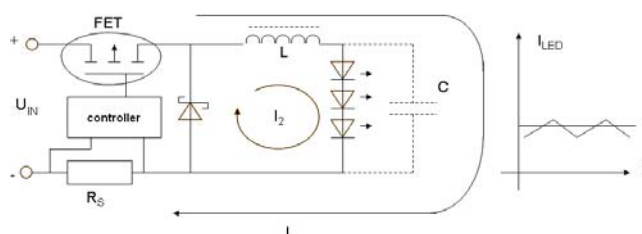


Figure 3: Block diagram of a voltage decreasing circuit

Operation of circuit happens in 2 phases too.

In the 1st phase FET switches on, I_1 current increases linearly, supplies LEDs. In the next phase FET switches off, and current of L inductance decreases linearly and supplies LEDs continuously. Current flows continuously through LEDs, ripple of current is much lower than in the case of voltage increasing circuit. Average current of LEDs depends on the on-duty-cycle of FET, can be set by PWM signal.

Advantages: very good efficiency, continuous LED current.

Disadvantage: if FET breaks down LEDs will go wrong.

1-channel LED Power supply

High power lighting operates from 230VAC. This voltage must be converted LED current with good efficiency. Diagram shows a possible solution.

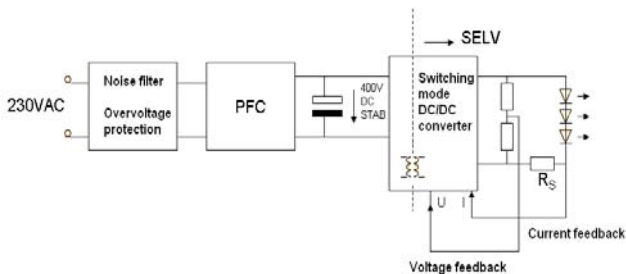


Figure 4: 1-channel LED power supply

In this case LED string operates with current regulation from max. 48V (.120V) class SELV fed by 230VAC mains. RFI filtering and overvoltage protection components provide suitability of power supply for EN55015 standard, and ensure that overvoltage coming from mains can not damage the next stages. Built-in Power Factor Corrector (PFC) circuit appears as nearly Ohmic load, that provides high power factor (>0.95), low current harmonic content. So power supply meets EN61000-3-2 standard class C. On the output of PFC circuit is about 400VDC, generally independent of value of the mains voltage. 400VDC is joined to LEDs by DC/DC converter. Isolation from mains must be solved in DC/DC converter operating in current source mode by measuring and feeding current of LED string back.

Advantages: Circuit is not too difficult, acceptable efficiency (80..85%), dimmable input can be easily formed.

Disadvantages: limited maximal power at given current (12 LEDs @ 48V, 32LEDs @ 120V). Efficiency changes depending on number of LEDs connected.

N-channel LED power supply

Usage of multi channel power supply with independent current sources is practical when higher power and safer operation is needed. In this case noise filter and PFC circuit is followed by DC/DC converter that has a properly selected class SELV output (24VDC...48VDC). LED strings are supplied from independent BUCK current sources. Block diagram:

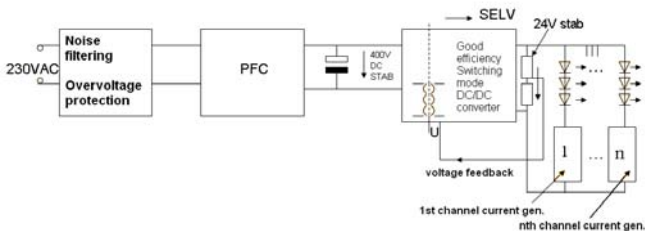


Figure 5: n-channel LED power supply

Advantages: higher power, circuits can be optimized separately, good efficiency (85..90%), universally usable eg. 1x12...3x12 pcs of LEDs can be operated from 48V inner SELV.

Disadvantages: complicated, expensive.

It is possible to merge function of some circuits at a compromise, so power supply will be simpler and cheaper. Generally safety of operation and efficiency will decrease.

Non-isolated power supply

A possible feed of LEDs non-isolated from mains in properly designed luminare. Block diagram:

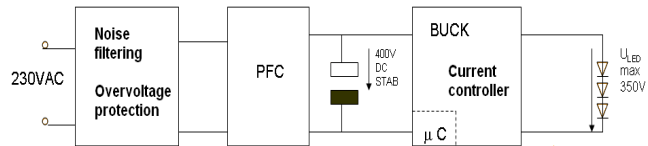


Figure 6: Non-isolated LED power supply

In this system BUCK current regulator operating at 400VDC is new and can feed max 350V LED string. With this solution 100W system at 350mA or 200W system at 700mA can be easily formed. Realization of intelligent luminous intensity controlling is advisable on this power level with built-in microcontroller.

Advantages: extremely high efficiency (92...95%), high power in one unit, optimal operation on wide power range (20..100W), not too complicated structure.

Disadvantages: electric shock protection must be done by construction of luminare. If the circuit breaks down LEDs will go wrong.

Dimming

In modern luminaires possibility of dimming is a requirement. It can generally be solved in the following two ways:

1. Setting the current of constant current source. It is advantageous for LEDs. Current source must have a dimming input. Function of LEDs intensity is not linear in driving current.
2. Low frequency PWM switching circuit is connected between current source and LEDs. Current and intensity of LEDs alternate between 0 and max. value. Intensity is highly linear function of on-duty-cycle of PWM controlling signal. Efficiency of LEDs is lower in low power mode than in case 1. Stroboscopic effect will probably occur. Temperature of LED CHIP tries to follow PWM signal, therefore decreasing of lifetime may happen.

Total Harmonic Distorsion (THD)

Mains-supplied electronic equipments are not linear loads. Current flowing from mains is not sinusoidal, but they contain harmonics. All periodical signal could composite/ decomposite with summing of clean sinusoidal signals. Frequencies of components are multiply of frequency of original signal. Components are called harmonics, result of decomposition is called spectrum of signal. Total Harmonic Distortion (THD) characterizes unsmooth shape of signal. THD=0 shows clean sinusoidal signal.

Definition:

$$THD = \frac{\sqrt{I_2^2 + I_3^2 + \dots}}{\sqrt{I_1^2 + I_2^2 + I_3^2 + \dots}} = \frac{\text{Effective value of harmonic current}}{\text{Effective value of total current}}$$

The smaller THD of mains current, the better equipment. EN61000-3-2 class C standard gives maximum values of current harmonics in % of basic harmonic if P>25W. Eg.:

- 2nd harmonic max 2%
- 3rd harmonic max 30xPF %
- 5th harmonic max 10%
- 7th harmonic max 5%

Computed THD is max 31%. This means PFC function circuit is necessary above 25W.

Summary

Power supply basically influences efficiency and lifetime of luminaire. Power supply is crucial for lifetime of LEDs and current THD.

Dissipated heat must be conducted properly!

Generally controlling of luminance intensity is impossible by controlling the mains voltage level in public lighting.

3 advices for LED-luminaire development engineers:

COOLING, COOLING, COOLING!

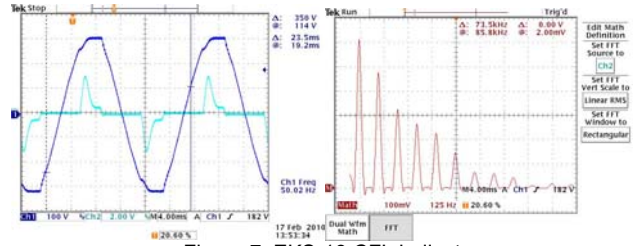


Figure 7: EKS-18 CFL ballast
Mains voltage and current Mains current spectrum

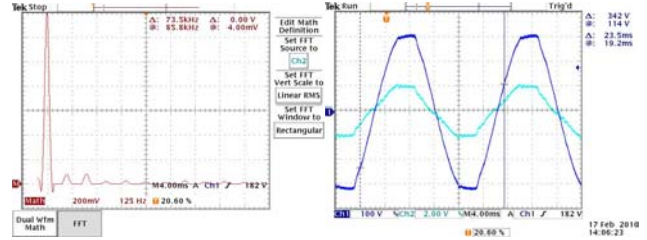


Figure 8: LD335 constant current LED power supply
Mains voltage and current Mains current spectrum

Cooling system of HP LED with a Peltier module – laboratory equipment

Abstract. The paper will describe the structure of laboratory equipment used to specify temperatures of all parts of the cooling system. This system with a Peltier module is designed for keeping the minimum temperature of HP LED. Directions of heat flow in ideal and real systems with their electrical and heat equivalents will be presented. It will make temperature measurements of ambience and sink, warm and cold sides of the Peltier module and solder of the HP LED. Because of the large time-constant, measurements will be automated with the help of programmable power supply, digital multimeters and temperature recorder. Calculations with measurement results will allow verification of the applied model.

Keywords: HP LED, Peltier module, cooling system.

Introduction

Current growing interest in light sources based on electroluminescent diodes (LEDs), along with the observed increasing demand for light sources with higher luminous flux levels and expanding technology potential, have resulted in greater LED unit power and increasing the “packing” of LEDs within a unit of area [1], which triggers a higher surface power density which must be carried off from the element. Commonly used heat evacuation methods, based on heat conduction from the LED base to the radiator and then, due to convection (free or forced) to the environment, are gradually becoming insufficient. Levels of thermal resistance in the LED cooling system (determining the efficiency of the cooling system), are related, among other factors, to the geometric dimensions of the radiator. In conventional cooling systems it is not possible to reduce resistance below a certain positive value. At present, the only possibility for obtaining negative thermal resistance – reducing the temperature of LED base below the level of ambient temperature – is the application of a cooling system incorporating a Peltier module. Correct selection of an appropriate module depends on a range of factors, i.e. power necessary to carry off heat, quality of the cooling system and ambient temperature. Even though recombination of charges in the module occurs almost instantaneously (within several ms), in order to determine the final temperature to be achieved in the system, it is necessary to perform long-term measurements. This is, predominantly, a consequence of thermal inertia in a section of the cooling system. Accordingly, a measuring workstation was developed with a view to measuring temperatures in the HP LED cooling system incorporating a Peltier module.

Preparation of measuring workstation

The measuring workstation used for study purposes consisted of a HP LED cooling system, four Pt100 measuring elements, KD5 temperature recorder, programmable power supply and PC controlling it (Fig.1).

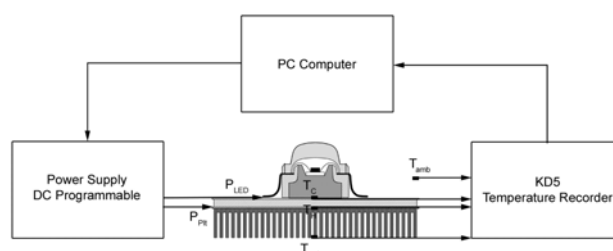


Fig.1. Diagram illustrating the measuring workstation.

In order to obtain the complete picture of dynamic changes and temperature distribution within the LED and Peltier module system, it is necessary to carry out a series of several hundred measurements of temperature distribution, depending on currents and voltages supplied to the LED and the module in time. To automate measurements, a computer with Supply PC application was employed. A window of the application (Fig. 2), together with a section of the control code (Fig. 3) are given below.

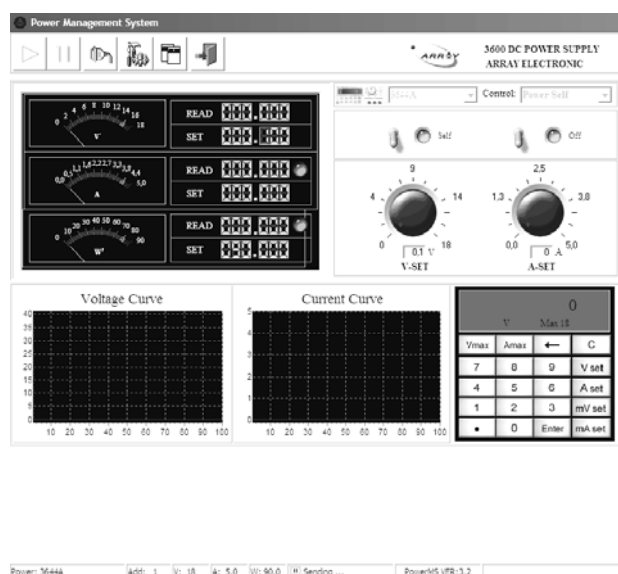


Fig.2. Power Management window.


```

pomiary.Step - Notatnik
Plik Edycja Format Widok Pomoc
Step:1 voltage: 0,000 Current: 5,000 Delay:3600000
Step:2 voltage: 0,200 Current: 5,000 Delay:3600000
Step:3 voltage: 0,400 Current: 5,000 Delay:3600000
Step:4 voltage: 0,600 Current: 5,000 Delay:3600000
Step:5 voltage: 0,800 Current: 5,000 Delay:3600000
Step:6 voltage: 1,000 Current: 5,000 Delay:3600000
Step:7 voltage: 1,200 Current: 5,000 Delay:3600000
Step:8 voltage: 1,400 Current: 5,000 Delay:3600000
Step:9 voltage: 1,600 Current: 5,000 Delay:3600000
Step:10 voltage: 1,800 Current: 5,000 Delay:3600000
Step:11 voltage: 2,000 Current: 5,000 Delay:3600000
Step:12 voltage: 2,200 Current: 5,000 Delay:3600000
Step:13 voltage: 2,400 Current: 5,000 Delay:3600000
Step:14 voltage: 2,600 Current: 5,000 Delay:3600000
Step:15 voltage: 2,800 Current: 5,000 Delay:3600000
Step:16 voltage: 3,000 Current: 5,000 Delay:3600000
False
1]

```

Fig. 3. Control code of the PowerMS Steps Control application – consecutive voltages supplied to the Peltier module.

As shown above, the supply voltage is modified every 3,600,000 ms = 1h. For the system studied, the time was sufficient to achieve temperature stabilization.

Information thus obtained makes it possible to determine optimum operating parameters of the cooling system and changes in thermal resistance. Fig. 4 presents time graphs of changes in temperature following step changes of voltage supplied to the cooling module (time = 60, 120, 180 min).

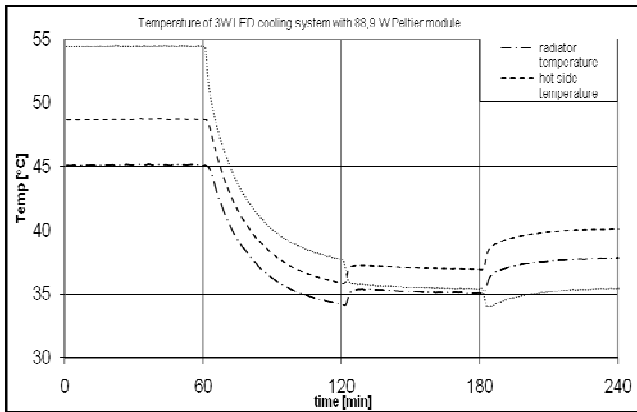


Fig.4. Graphs illustrating temperature changes in time.

A change of LED junction temperature T_j (i.e. temperature increase) triggers a change (a drop) in luminous flux generated by the LED, according to the formula below (1) [2].

$$(1) \quad \Phi = \Phi_{300} \exp\left(-\frac{T_j - 300}{T_o}\right)$$

Direct measurement of T_j is very difficult. Consequently, the usual practice is to estimate the temperature on the basis of the temperature of LED base – T_c and thermal power generated by LED – P_{thLED} , according to the formula (2) [3].

$$(2) \quad T_j = T_c + P_{thLED} \cdot (R_{thcontact} + R_{thj-sp})$$

where: R_{thj-sp} – internal thermal resistance of LED, $R_{thcontact}$ – thermal resistance of the contact area of two adjacent surfaces

Future works

The next stage consists of plans to construct a testing workstation in a temperature chamber to obtain the possibility of free setting of stable ambient temperatures. Furthermore, using a recorder working online will offer the

possibility of remote automatic analysis of temperatures recorded in the system and – following their stabilization (with a specified range) – automatic change of supply voltage settings with a preset step. This will allow a reduction in testing time for systems with a low time constant and more accurate measurements for systems with a high time constant. In addition, the station will be provided with an integrating sphere for measuring luminous flux emitted by the LED being cooled. A diagram showing the design of the above-mentioned workstation is given in Fig. 5.

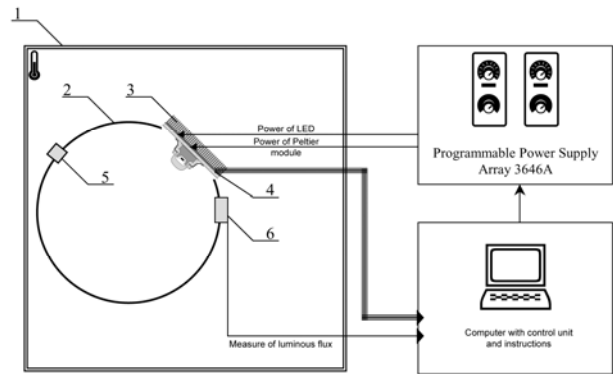


Fig. 5. Diagram of the planned measuring workstation. 1 – thermal testing chamber, 2 – integrating sphere, 3 – LED cooling system tested, 4 – temperature sensors, 5 – luminous flux standard, 6 – phototransducer

Final remarks

Analysis of time graphs is extremely valuable, as it provides a chance to capture instantaneously occurring changes in temperature, resulting – among other factors – from considerable inertia in the cooling system. Changes in voltage supplied to the cooling module are expected to trigger short-term drops in temperature of the element being cooled. This has no significant effect on the service life of LEDs, however it may cause momentary temperature drops (not taken into account in the analysis of steady states) to a level producing potentially damaging condensation of water vapours on the LED.

Conclusions

The system for temperature testing in the actually operating cooling system, presented in this article, is necessary to verify steady-state temperatures obtained by theoretical means. The analysis of cooling systems should include transient states to be able to forecast the risk of undesirable effects and prevent them, e.g. by smooth adjustment of the module's supply voltage.

REFERENCES

- [1] Elektronik 12/2009 ISSN – 1248-4030
- [2] Schubert E.F.: Lighting Emitting Diodes; Cambridge Univ. Press, 2006.
- [3] Domke K., Skrzypczak P.: Analiza cieplna układu: elektroluminiscencyjna dioda mocy – element Peltiera – radiator. (pol.) Przegląd Elektrotechniczny. nr 10, 2009, s.101-103

Authors:

dr hab. inż. Konrad Domke, prof. nadzw., Politechnika Poznańska, Instytut Elektrotechniki i Elektroniki Przemysłowej, ul. Piotrowo 3a, 60-965 Poznań, E-mail: Konrad.Domke@put.poznan.pl;

mgr inż. Przemysław Skrzypczak, Politechnika Poznańska, Instytut Elektrotechniki i Elektroniki Przemysłowej ul. Piotrowo 3a, 60-965 Poznań, Zarząd Dróg Miejskich w Poznaniu, ul. Wilczak 16 E-mail: pskrzypczak@zdm.poznan.pl

Dynamiczne mapowanie luminancji na modelu obliczeniowym źródła światła

Streszczenie. Podstawowa analiza obliczeniowa opraw oświetleniowych posługiwała się uproszczonym (do punktu) modelem źródła światła. Pewnym postępowaniem jest modelowanie z uwzględnieniem kształtu i gabarytów źródła, możliwie zbliżonych do rzeczywistych (przybliżenie za pomocą brył tj. sfera, walec, itp.) ze stałym rozkładem luminancji. Naturalnym krokiem naprzód jest próba uwzględnienia całej złożoności kształtów źródeł ze zmiennym rozkładem luminancji na ich powierzchni. W artykule przedstawione zostały analizy i wyniki prowadzonych badań oraz zagadnienia związane z modelowaniem matematycznym rzeczywistych źródeł światła, na podstawie danych uzyskanych z matrycowego miernika luminancji. Na potrzeby przedstawionych obliczeń, opracowano algorytmy umożliwiające uzyskanie prawidłowych wyników symulacji odbłyśników zwierciadlanych przy wykorzystaniu ograniczonej ilości danych wejściowych. Przedstawione rozwiązania pozwalają uzyskać wyniki symulacji (krzywe światłości oraz figury jasnych punktów) niemal nie odbiegające od wyników pomiarów laboratoryjnych istniejących reflektorów.

Abstract. The basic analytical analysis of luminaries used a simplified (to a point) model of light source. A certain progress is modeling when taking into consideration the shape and size of the source, possibly similar to the real ones (approximation using solids, i.e. sphere, cylinder etc.) with constant layout of luminance. A natural step ahead is an attempt to consider the whole complexity of shapes of the sources with variable layout of luminance on their surface. The hereby article presents analyses and results of the realized research and issues related to mathematic modeling of real sources of light on basis of data obtained from the matrix luminance meter. For the sake of the presented calculations, algorithms enabling us to obtain correct results of simulation of mirror reflectors were worked out, using a limited amount of input data. The presented solutions enable us to obtain results of simulation (glare curves and figures of bright points) almost identical with results of laboratory measurements of the existing reflectors. **(Dynamic mapping of luminance in analytical model of source of the light)**

Słowa kluczowe: technika świetlna, oprawy oświetleniowe, metoda promieni odwrotnych, mapowanie luminancji, źródła światła

Keywords: lighting technology, luminaries, backward ray tracing, luminance mapping, light sources

Wstęp

Za sprawą matrycowych mierników luminancji (MML) dokonał się przełom w technice świetlnej. Pozwalają one na precyzyjne odczytanie luminancji na dowolnej powierzchni z dużą dokładnością. Wyniki pomiarów, zapisywane w postaci cyfrowej mają nieograniczone możliwości praktycznego zastosowania. Matrycowe mierniki luminancji w zestawieniu z dynamicznie rozwijającą się techniką komputerową stanowią znakomitą bazę do opracowywania coraz doskonalszych komputerowych metod symulacyjnych. Każdy algorytm opracowany na potrzeby symulacji posiada szereg ograniczeń wynikających z określonych mocy obliczeniowych komputerów i maksymalnej, możliwej do przetworzenia liczby danych wejściowych, wykorzystywanych do obliczeń symulacyjnych. Wrz z rosnącą pojemnością pamięci oraz wzrostem liczby przetwarzanych danych przypadających na jednostkę czasu, powstają coraz nowocześniejsze algorytmy, pozwalające na eliminację kolejnych założeń upraszczających. To z kolei prowadzi do wzrostu dokładności obliczeń symulacyjnych – dążących w idealnej sytuacji do zrównania się z wynikami pomiarów laboratoryjnych, dla takiego samego układu analizowanego w rzeczywistości oraz w pamięci komputera. W technice świetlnej metody symulacyjne są szeroko wykorzystywane do obliczeń związanych z wizualizacją oświetlenia wewnętrznego oraz zewnętrznego. Bardzo istotne efekty można również uzyskać w dziedzinie symulacyjnych obliczeń brył fotometrycznych opraw oświetleniowych, a nawet symulowania Figur Jasnych Punktów (FJP) obserwowanych na powierzchni odbłyśników dla różnych kątów obserwacji γ (w układzie C, γ). W dalszej części artykułu przybliżona zostanie metoda wykorzystania wyników pomiarów rozkładów luminancji metalohalogenkowych źródeł światła, wykonanych przy pomocy MML, na potrzeby obliczeń symulacyjnych reflektorów z odbłyśnikami zwierciadlanymi.

Rozwój modeli matematycznych źródeł światła

Aby obliczenia symulacyjne opraw oświetleniowych w technice świetlnej były możliwe, niezbędne jest odtworzenie w pamięci komputera poszczególnych składowych części reflektora:

- stworzenie modelu odbłyśnika w pamięci komputera, podzielonego na przyjętą siatkę elementów dyskretnych,
- stworzenie możliwie bliskiego rzeczywistości modelu źródła światła.
- opracowanie modelu odbicia,

Chociaż stworzenie bardzo dokładnego modelu odbłyśnika w dzisiejszych czasach nie stanowi problemu, a stale rosnące moce obliczeniowe komputerów są w stanie przetworzyć ogromne ilości danych, jednak opracowanie uniwersalnego i jednocześnie precyzyjnego opisu źródeł światła jest nadal problemem.

W układach reflektorowych można w stosunkowo prosty sposób (zgodnie z zależnością 1) określić światłość w danym kierunku przyjmując podstawowe założenie upraszczające – zakładające stałą, średnią luminancję na powierzchni całego źródła światła.

$$I = L_z \rho \int_{FJP} \cos\varphi \, ds \quad (1)$$

gdzie:

ρ – współczynnik odbicia kierunkowego zwierciadła odbłyśnika,

L_z – luminancja źródła światła.

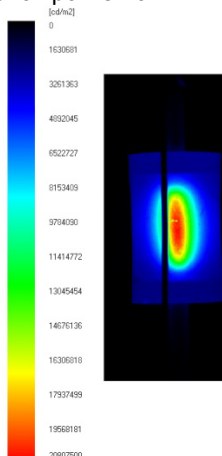
$\cos\varphi$ - wielkość pozorną elementu ds dla obliczanego kierunku

Niestety takie podejście pozwala określić jedynie przybliżoną bryłę fotometryczną reflektora, a wyznaczone parametry znaczenie odbiegają od wyników uzyskanych z pomiarów laboratoryjnych fizycznie istniejącego modelu. Z zależności 1 wynika, iż na światłość w danym kierunku (w układach reflektorowych) wpływ mają:

- luminancja źródła światła
- pole powierzchni pozornej FJP na powierzchni odbłyśnika, obserwowanego z danego kierunku
- współczynnik odbicia

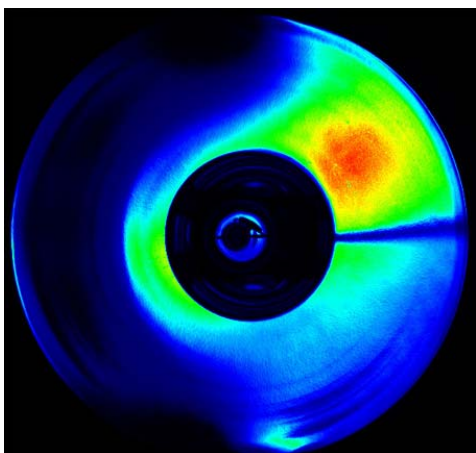
Z wymienionych parametrów wynika, iż największy wpływ na cechy reflektora, otrzymuje się za pomocą doboru odpowiedniego źródła światła.

Należy zastanowić się, co powoduje tak znaczne rozbieżności wyników symulacji zakładających stałą luminancję na całej powierzchni źródła światła (w przypadku układów reflektorowych najczęściej źródła wyładowczego) z wynikami pomiarów laboratoryjnych. W związku z tym, zbadano rozkłady luminancji na powierzchni metalohalogenkowych źródeł światła z jarznikami w kształcie walca (rys. 1) obserwując bardzo duży zakres zmian luminancji na ich powierzchni.



Rys. 1. Powiększony obraz luminancyjny jarznika wyładowczej lampy metalohalogenkowej o mocy 150W w skali barwnej zarejestrowany dla kierunku prostopadłego do osi

Z rys. 1 wynika, iż różnica maksymalnej luminancji, obserwowanej w centralnej części jarznika ($21.000.000 \text{ Cd/m}^2$) i luminancji minimalnej, rejestrowanej w części skrajnej ($1.500.000 \text{ Cd/m}^2$) jest bardzo duża. Powoduje to, iż w obrębie figury jasnych punktów (FJP) obserwowanej na powierzchni odbłyśnika występuje ogromna zmienność luminancji (rys. 2).



Rys.2. Rozkład luminancji w skali barwnej, zarejestrowany na odbłyśniku paraboloidalnym z lampą HCl 70W dla wybranego kąta obserwacji (skala pseudo-koloru odpowiadająca skali z rys. 1).

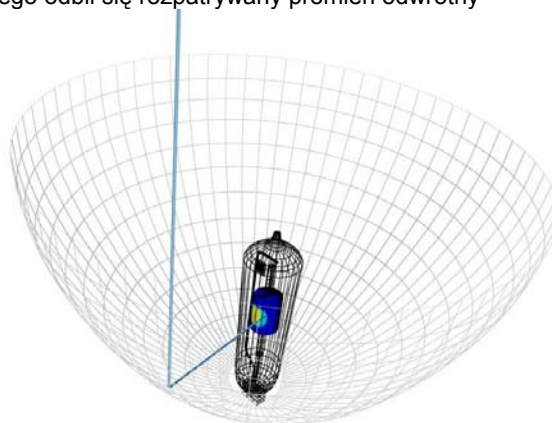
Dlatego, aby zdecydowanie poprawić wyniki symulacji (zbliżyć je do rzeczywistości), uwzględnienie zmienności luminancji na powierzchni źródła światła jest koniecznością. Daje to nie tylko kontur FJP, lecz również pełną informację

zawierającą precyzyjny rozkład luminancji wewnątrz konturu FJP.

Na potrzeby obliczeń symulacyjnych początkowo przyjęto dwie metody opisu rozkładu luminancji na powierzchni źródła światła dostosowane do metody promieni odwrotnych. Pierwszą metodą roboczo nazwaną metodą pękową [7], [8]. W tej metodzie rozkład luminancji źródła światła uwzględniany podczas obliczeń musi zostać zarejestrowany lub wyliczony, jako rzut obrazu luminancyjnego na płaszczyznę prostopadłą do promienia odwrotnego odbitego od odbłyśnika i zmierzającego w kierunku źródła światła. Druga rozpatrywana metoda, która wyewoluowała z metody pękowej, to metoda nazwana mapowaniem luminancji.

Mapowanie luminancji

Zasada metody opiera się na nakładaniu mapy (obrazu), zawierającej rozkład luminancji źródła światła, na powierzchnię modelu geometrycznego lampy (lub jej części). Metoda dostosowana została do potrzeb obliczeń, wykorzystujących metodę promieni odwrotnych i opiera się na śledzeniu biegu kolejnych promieni równoległych, wysyłanych od obserwatora w kierunku odbłyśnika. Liczba promieni odwrotnych jest równa liczbie elementów dyskretnych, na które podzielona jest powierzchnia odbłyśnika w pamięci komputera. Każdy promień odwrotny po odbiciu od powierzchni odbłyśnika może trafić w powierzchnię źródła światła. Jeśli nie trafia, oznacza to, iż dany element dyskretny odbłyśnika nie bierze udziału w tworzeniu figury jasnych punktów, obserwowanej z danego kierunku (zgodnego z kierunkiem, z którego wysłana została wiązka równoległych promieni odwrotnych). Jeśli promień odwrotny odbity od odbłyśnika trafia w źródło światła, konieczne jest sprawdzenie jaka jest luminancja obszaru (punktu) w który trafił promień. Odczytana luminancja służy do wyliczenia cząstkowej światłości generowanej przez konkretny element dyskretny, od którego odbił się rozpatrywany promień odwrotny

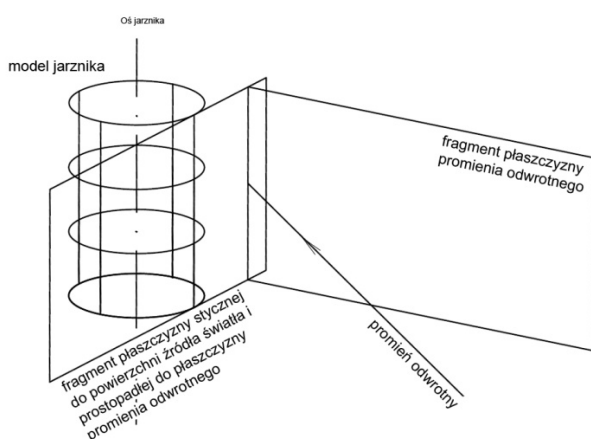


Rys. 3. Uproszczony rysunek obrazujący metodę symulacyjną mapowania w obliczeniach światłości i FJP z wykorzystaniem metody promieni odwrotnych (mapa oklejona na jarzniku lampy)

Luminancja w danym punkcie określana jest na podstawie wyników pomiarów rozkładów luminancji na powierzchni źródła światła, wykonanych przy użyciu matrycowego miernika luminancji. Z powodu ograniczonej liczby pomiarów (w idealnym przypadku trzeba byłoby zarejestrować nieskończoną liczbę obrazów dookoła źródła światła) brakujące rozkłady należy na bieżąco wyliczać. Należy to zrobić w taki sposób, aby każdy obraz wyliczony, znajdował się na płaszczyźnie prostopadłej do płaszczyzny promienia odwrotnego odbitego od odbłyśnika (rys. 4).

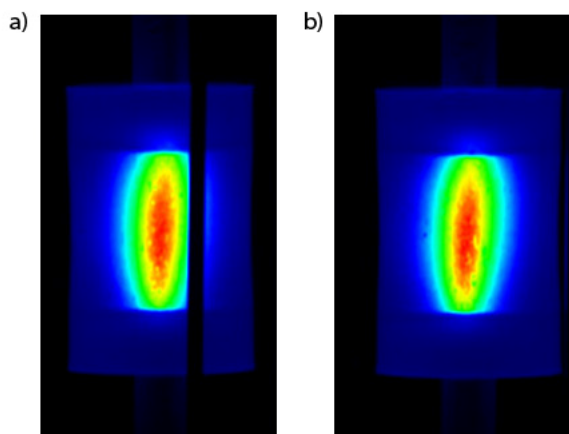
Gdy wyliczony jest kierunek, z którego promień odwrótny zmierza w stronę źródła światła, na podstawie sąsiednich (zarejestrowanych) rozkładów luminancji, wyliczany jest rozkład luminancji źródła światła, charakterystyczny dla tego, konkretnego kierunku. Wyliczenie rozkładu luminancji odbywa się z uwzględnieniem wszystkich cech źródła światła (takich jak np. metalowy doprowadnik, zakłócający swobodną emisję strumienia świetlnego w przypadku lamp metalohalogenkowych jednostronnie trzonkowych). Przykładowe rozkłady luminancji dla lampy metalohalogenkowej typu CDM-T o mocy 70W przedstawiono na rysunku 5.

Następnie wyliczony obraz oklejany jest na powierzchni modelu źródła światła oraz odczytywana jest luminancja charakterystyczna dla punktu na powierzchni źródła, w który trafił promień odwrótny.



Rys. 4. Poglądowy rysunek obrazujący metodę mapowania luminancji na przykładzie lampy CDM-T

Na podstawie analizy ilości promieni odwrótnych, odpowiadającej liczbie elementów dyskretnych na które podzielony jest matematyczny model odbłyśnika, uzyskuje się pełną informację służącą zarówno do wyliczenia światłości dla analizowanego kąta obserwacji, jak i wyznaczenia FJP.

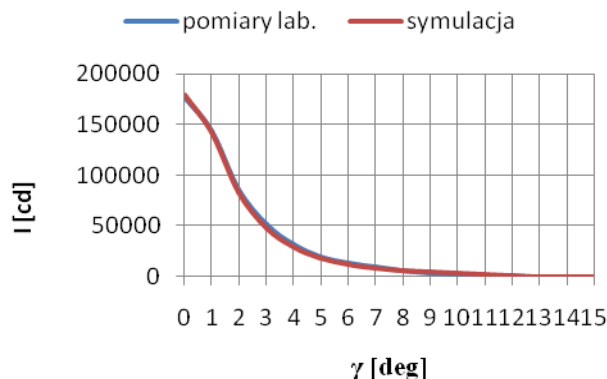


Rys. 5. Rozkład luminancji na powierzchni jarznika lampy metalohalogenkowej: a) z zakłóceniem (doprowadnik), b) bez zakłócenia

Po przeanalizowaniu dowolnego zakresu kątów γ , w układzie (C, γ) , możliwe staje się symulacyjne określenie bryły fotometrycznej reflektora oraz wyznaczenie figur

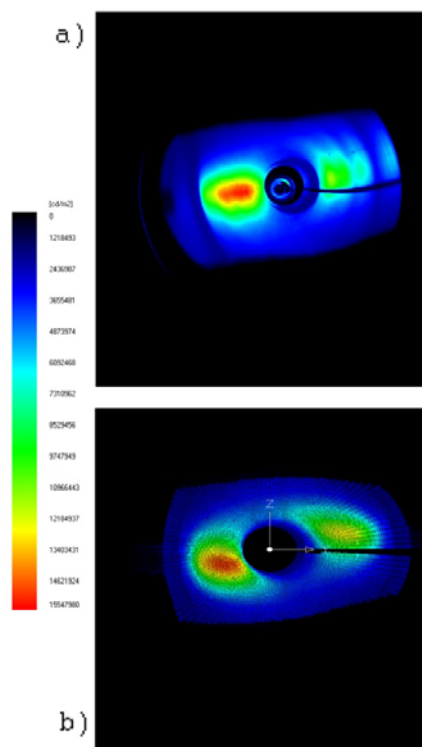
jasnych punktów (dla wszystkich kątów C i γ , wykorzystanych do obliczeń).

Weryfikacja opisanych metod odbywała się przy wykorzystaniu brył fotometrycznych oraz FJP wyznaczanych w laboratorium dla istniejących reflektorów, których parametry odpowiadały parametrom reflektorów modelowanych w pamięci komputera. Zestawienie przykładowych krzywych światłości przedstawiono na rysunku 6.



Rys. 6. Porównanie zmierzonej krzywej światłości z obliczoną dla oprawy o wymiarach ($D=167\text{mm}$, $f=16,45\text{mm}$, $\text{Dotw}=25,6\text{mm}$) z modelem oprawy o tych samych parametrach. Źródło światła użyte do pomiarów oraz symulacji to lampa metalohalogenkowa CDM-T 70W.

Zgodnie z wcześniejszym opisem oprócz zestawienia krzywych światłości modelu istniejącego fizycznie i w pamięci komputera (dla odpowiadających sobie kątów C i γ), porównywano figury jasnych punktów (rys. 7).



Rys. 7. Porównanie przykładowych FJP uzyskanych a) jako efekt pomiaru rozkładu luminancji matrycowym miernikiem luminancji, b) drogą symulacyjną za pomocą opracowanych algorytmów i aplikacji dla odbłyśnika o wymiarach ($D=167\text{mm}$, $f=16,45\text{mm}$, $\text{Dotw}=25,6\text{mm}$), z lampą metalohalogenkową CDM-T 150W

umieszczoną współosiowo w ognisku. Kąt obserwacji w układzie (C, γ) $C=0^\circ, \gamma=8^\circ$.

Zestawienie odpowiadających sobie FJP, jest bardzo trudnym zadaniem, ponieważ paraboloidalne układy reflektorowe są bardzo wrażliwe na położenie źródła światła. W związku z tym, każde przesunięcie (przekrzywienie) jarznika lampy metalohalogenkowej w stosunku do ogniska odbłyśnika, powoduje diametralne zmiany FJP. Mimo tego można zaobserwować (oprócz krzywych światłości), bardzo dużą zbieżność zmierzonych i symulowanych FJP.

Istnieją olbrzymie możliwości dalszego wykorzystania wyników pomiarów za pomocą MML w obliczeniach symulacyjnych, opracowując modele luminancyjne innych źródeł światła (żarowych, LED, etc.). Posiadając precyzyjny model luminancyjny źródła światła, możliwe staje się dalsze wykorzystanie go na potrzeby obliczeń – nawet układów rozpraszających.

LITERATURA

[1] Oleszyński T., *Elektryczne oprawy oświetleniowe*, Wydawnictwa Naukowo-Techniczne, 1978

[2] iGuzzini, katalog 2007-2008

[3] Glinko G., *Identyfikacja fotometryczna oraz aplikacje oświetleniowe niekonwencjonalnych form odbłyśników*, rozprawa doktorska, Politechnika Warszawska, 2008

[4] Żagan W., *Obliczenia świetlne samochodowych odbłyśników zwierciadlanych z wykorzystaniem metody testu promienia odwrotnego*, Rozprawa Doktorska, Politechnika Warszawska, 1987

[5] Czyżewski D., *Luminancyjny model samochodowych źródeł światła*, rozprawa doktorska, Politechnika Warszawska, 2000

[6] Żagan W., *Podstawy techniki świetlnej*, Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, 2005

[7] Słomiński S., „The dynamic mapping of luminance in analytical model of light source”, *Przegląd elektrotechniczny* 8'2008, s.101 – 104.

[8] Słomiński S., „Mapowanie rozkładu luminancji źródła światła w obliczeniach fotometrycznych odbłyśników zwierciadlanych”, rozprawa doktorska, Politechnika Warszawska, 2010

Autor: mgr inż. Sebastian Słomiński, Politechnika Warszawska, Zakład Techniki Świetlnej ul. Koszykowa 75, 00-662 Warszawa, e-mail: sebastian.slominski@ien.pw.edu.pl

Experience with implementation of energy certification of lighting in Slovakia

Abstract. In Slovakia, practical certification of buildings, including built-in lighting systems, ran since the beginning of the year 2008. Of course, this process is based upon long-term preparatory works on legislative and methodical conditions. It is important to mention that energy certification of buildings is a completely new field and only first practical experience could bring necessity to modify the methodology. Thus, since October 2009 a new regulation is in force which besides new conditions also precises methodical requirements for elaboration of energy certificates. Slovakia holds leading positions in this field, indeed, and can mediate his expertise also to other countries with similar geographical location and where legislative environment allow to do so. The paper is therefore aimed to summarize known experience and to bring information on practical solutions of identified problems. It is expected that results will be aimed also to possible revision of the EN 15193 standard which is deemed to be a methodical background for energy certification of lighting systems in buildings.

Keywords: EPBD, energy certification, lighting energy

Introduction

With the rapid increase of human population resulting in higher energy demands day by day, critical level of greenhouse gas emissions (particularly CO₂) has already been reached. Thus, many studies, actions and implementation plans have intensively been realized for more than ten years. Since it is a global threat, the Kyoto Protocol which is a protocol to the United Nations Framework Convention on Climate Change (UNFCCC), was adopted in 1997 and entered into force in 2005 with the goal of achieving stabilization of greenhouse gas concentrations in the atmosphere at a level that would prevent dangerous anthropogenic interference with the climate system [1, 2].

Since more than 85 % of energy [3] is still produced with fossil fuels, it is obvious that the concentration of CO₂ will be increased. As one of the main objectives is to reduce the CO₂ emissions, efficient use of energy hand-in-hand with efficient energy production are identified as actions of paramount importance. Therefore, many countries deal with legislative tasks to create legal force to decrease energy consumptions.

In the EU political and economical area, several directives referring to the Kyoto protocol aiming to the reduction of greenhouse gases have already been published, such as energy end-use efficiency and services, ecodesign, energy performance of buildings etc. European Parliament and the Council adopted the Directive on Energy Performance of Buildings 2002/91/EC [4] on December 16, 2002. Main goal of the directive is to improve the energy efficiency of buildings. EU member countries were obliged to implement this important directive into national legislation. National Parliament of the Slovak Republic fulfilled its obligation by release of the Act No. 555/2005 on Energy Performance of Buildings [5]. Requirements for lighting and issues relevant to lighting have been prepared with participation of authors of this paper. Basic methodological principles, having force of legislation, were given by the Ordinance No. 625/2006 [6]. Upon practical experience and identified problems and difficulties with certification, described in this paper, this document has been updated as Ordinance No. 311/2009 [7] which came in force since October 1, 2009.

Based upon legislative documents, which give an overall framework, a set of technical standards have also been elaborated, translated, processed and released. For the field of lighting, undoubtedly the most important standard is EN 15 193:2007 Energy performance of buildings — Energy requirements for lighting [9]. This standard was put

into usage in the territory of Slovak Republic as STN EN 15 193 [9] in April 2008.

Although there are many considerations on lighting systems and buildings properties related to lighting in the standard, some problems occurred during implementation process are necessary to be solved in order to make best implementation in practice and to achieve accurate and comparable results. Slovak Republic developed his own national methodology introducing new approaches to some of the relevant problems.

Theoretical background

Energy consumption related to building area is defined as a Lighting Energy Numeric Indicator (LENI), which can be established using the following equation:

$$(1) \quad LENI = \frac{W}{A} \quad [\text{kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{year})]$$

where

W is the total annual energy used for lighting [kWh/year]

A is the total useful floor area of the building [m²]

The total annual energy used for lighting consist of two parts:

$$(2) \quad W = W_L + W_P \quad [\text{kWh}]$$

where the lighting energy required to fulfil the illumination function and purpose in the building (W_L) shall be established using the following equation:

$$(3) \quad W_L = P_n F_C F_O (t_D F_D + t_N) \quad [\text{kWh}]$$

and estimate of the parasitic energy (W_P) required to provide charging energy for emergency lighting and for standby energy for lighting controls in the building shall be established using the following equation:

$$(4) \quad W_P = P_{PC} (t_Y - t_D - t_N) + P_{em} t_{em} \quad [\text{kWh}]$$

where

P_n installed power of the lighting system

P_{PC} total installed parasitic power of the controls

P_{em} total installed charging power of the emergency lighting luminaires

F_D daylight dependency factor

F_O	occupancy dependency factor
F_C	constant illuminance factor
t_D	daylight time usage
t_N	non-daylight time usage
t_Y	standard year time
t_{em}	charging time of emergency luminaires

Goals of investigation

Based upon several years of experience with using the EPBD methodology for lighting design and certification, the following goal of investigation has been set up:

- Collection of methodological imperfections and finding solutions that can be used as a basis for improvements of normative and legislative documents.

Results and discussion:

1. INSUFFICIENT LIGHTING LEVELS

It is assumed that the designed and installed lighting scheme conforms to good lighting practice. For new installations the design should be with respect to EN 12464-1 which defines the required illumination levels on working plane. If average illumination level in a particular room do not fulfil the standard, then required energy demand for lighting of that room will be lower than for a room with adequate lighting. This situation will mislead the certification process into inconvenient situation when results will be distorted, e.g. giving high score to buildings with low lighting consumption but almost no lighting in it. Therefore, measurements of achieved illumination levels in order to check the relevance of the maintained illumination level according to EN 12464-1 for indoor work places and EN 12193 for sports lighting seem to be necessary.

As a common approach, energy consumption values can be normalized to the values that can provide required illumination levels. For example, installed power of a lighting system should be multiplied by two when the maintained illuminance is measured as 250 lx in average where it should be at least 500 lx. On the other hand, there can be oversized lighting systems providing more illumination levels than required, but this situation is already handled by the norm using the LDCC parameter. The considerations mentioned above bring an additional parameter F_{Em} to the equation (3):

$$(5) \quad W_{Ln} = P_n F_C F_O F_{Em} (t_D F_D + t_N) \quad [\text{kWh}]$$

$$F_{Em} = \frac{E_r}{E_m} \quad \text{if } E_m < E_r$$

$$F_{Em} = 1 \quad \text{if } E_m > E_r$$

where

W_{Ln} normalized estimated energy required for lighting systems

F_{Em} maintained illuminance factor

E_r required illuminance level

E_m measured illuminance level

Since the quality of lighting is very important in terms of comfort and safety conditions, it should be provided by the lighting systems prior to any energy savings. From the viewpoint of Slovak National Methodology, the lighting systems that do not fulfil EN 12464-1 and EN 12193 are accepted as unstandardized lighting installations. This problem is solved by a compulsive approach which enforces the buildings to provide sufficient lighting. Statistical figures obtained from several buildings showed

that average illumination levels are not rarely only about one third of the required illumination levels. Thus, the calculated energy is multiplied by three where the lighting systems do not provide required levels. This is considered as giving a penalty due to improper lighting installations not fulfilling the standards. As a result, lighting energy class will drop to a lower class in energy scale.

Every country should define its own approach to this problem considering its own conditions by deciding how to estimate lighting energy consumption. However, it is not very practical to measure illumination levels in every room, especially in large buildings. Possible solutions (as indicative examples) are outlined in the next point.

2. PROPOSED MEASUREMENT METHODOLOGY

According to the Slovak National Methodology, measurements should be performed at least in 10 % of total number of rooms. Selection of rooms is let to the certificant's desire, who upon visual inspection should prefer selection of rooms with suspect of insufficient lighting. If more than 10 % of the selected rooms do not fulfil the lighting criteria then total energy required for lighting is multiplied by three. This is a punitive approach.

There can be several other approaches to reduce the number of the measurements that brings a selective modality to assign the rooms to be measured. For instance, lighting load can be a significant parameter to select a particular ratio of the rooms that are also have longer usage times. Since installed power is mentioned as a selective parameter together with usage time, it can be said that, total installed power of the selected rooms should be at least 50 % of the total installed power of the building lighting system. If there are several rooms with lower areas, it can still be unpractical to achieve 50 % of total installed power by reducing the room numbers. In those cases, 20 % of the rooms can be measured. Of course, the measurements should be performed in all rooms in the cases that it is practical like having considerable room number. (Note: The proposed ratios are draft values. The exact ratios should be determined by experimental and statistical approach on national level.)

Measurements should be done especially on the working planes for achieving the average illumination levels. After the measurements performed in the selected rooms, F_{Em} values should be determined. The average of F_{Em} values that are greater than 1 can be used in the equation given below to calculate the new estimated energy consumption for lighting:

$$(6) \quad W_{Ln} = W_L \times \overline{F}_{Em} \quad [\text{kWh}]$$

where

W_{Ln} Normalized estimated energy required for lighting systems

W_L Estimated energy consumption with respect to EN 15193

\overline{F}_{Em} Average F_{Em} value of the selected rooms

While proposing F_{Em} approach, the set of rules to be implemented within this methodology can be evaluated as follows:

- Necessary data to be used in calculation procedure shall be collected from each room.
- If it is possible, the calculations shall be done in every room, otherwise:
 - The list of the rooms with required illumination levels in each shall be sorted descending according to installed power.

2. Rooms shall be selected until representing at least 50 % of the total installed power.
3. Rooms shall be selected considering the usage time; rarely used rooms should be ignored.
4. If there is enormous number of the rooms, then 2 cases can be considered in order to reduce the number of the measurements:
 - i. **Duplications:** There can be more than one room with same functionality, dimensions and lighting systems therefore, measurements can be performed in one of the rooms.
 - ii. **Limitations:** If first situation is not valid, then 20% of the rooms can be considered to be selected for measurement.
- c) If the measurements are performed in all rooms, FEM values shall be calculated for each room; then normalized LENI values for each room shall be calculated by considering those FEM values.
- d) In the cases that measurements cannot be performed in each room, value shall be calculated for the selected rooms.
- e) After calculation of , it shall be multiplied by LENI calculated by standard procedure of EN 15193 to achieve the normalized LENI.

3. CALCULATION OF DAYLIGHT TIME AND NON-DAYLIGHT TIME USAGE

Comprehensive method requires determination of annual daylight and non-daylight time usage for calculation of the estimated energy demand of a building. Equations and formulas integrated in the first draft of the standard [8] were erroneous and unfunctional, therefore excluded from the final version. As a result, there is no any calculation procedure or guideline for authorized certificants how to determine the daylight time and non-daylight time usage of a building.

Method inspired by original procedure of prEN 15193-1 and Slovak studies, based on experience in the field of solar energy engineering, involve various empirical formulas. According to proposed methodology, all the following calculations must be performed for each month and summed up at the end where the input data are as follows:

t_{start} - starting operation time of a building
 t_{end} - ending operation time of a building
 γ_s (°) - geographical latitude of a building
 λ_s (°) - geographical longitude of building

Order number for 15th day of a given month "i" (1 to 12) is taken from this set:

$J_i = \{15, 46, 74, 105, 135, 166, 196, 227, 258, 288, 319, 349\}$.

Number of days for a given month "i" (1 to 12) is taken from this set:

$N_i = \{31, 28, 31, 30, 31, 30, 31, 31, 30, 31, 30, 31\}$.

Calculation of date angle J^i (°)

$$J^i = J \cdot 360^\circ / 365 \quad (7)$$

Time equation \square_i (h)

$$\square_i (J_i) = 3,8196 \cdot (0,000075 + 0,001868 \cdot \cos J^i - 0,032077 \cdot \sin J^i - 0,014615 \cdot \cos 2J^i - 0,040849 \cdot \sin 2J^i) \quad (8)$$

Declination \square_i (°):

$$\square_i (^\circ) = 0,006918 - 0,399912 \cdot \cos J^i + 0,070257 \cdot \sin J^i - 0,006758 \cdot \cos 2J^i + 0,000907 \cdot \sin 2J^i - 0,002697 \cdot \cos 3J^i + 0,00148 \cdot \sin 3J^i \quad (9)$$

Hour angle \square_i (°):

$$(10)$$

Time of sunrise and sunset are calculated by means of these equations:

$$(11)$$

$$(12)$$

Operation time before sunrise $t_{bs,i}$ (h) and after sunset $t_{as,i}$ (h) is determined by comparison of time of sunrise/sunset with time of start and end of building operation:

$$\text{IF: } t_{sunrise,i} > t_{start} \quad t_{bs,i} = t_{sunrise,i} - t_{start}$$

$$\text{IF: } t_{sunrise,i} \leq t_{start} \quad t_{bs,i} = 0$$

$$\text{IF: } t_{end} > t_{sunset,i} \quad t_{as,i} = t_{end} - t_{sunset,i}$$

$$\text{IF: } t_{end} \leq t_{sunset,i} \quad t_{as,i} = 0$$

Weekend regime is taken into account via weekend correction factor C_{we} , which is calculated as a portion of the number of working days over 7 (full week).

Daylight time usage tD,i (h/month) and non-daylight time usage tN,i (h/month) for a given month "i" is calculated as follows:

$$(13)$$

$$(14)$$

Annual daylight time usage tD (h/year) and non-daylight time usage tN (h/ year) is calculated summing up the monthly values:

and (15)

This method is standardized as a part of Slovak national methodology and with minor modifications it is prepared for Turkish conditions.

1.

Based upon several years of experience with using the EPBD methodology for lighting design and certification, following goals of investigation have been set up:

Complicateness of methodology do not allow calculation other than by means of computer tools. Note, that all the procedure must be performed for each individual room. So parallel to the preparation and improvement of the methodology, also supporting calculation tools are being elaborated. Due to differences between national conditions, mainly country specific software is being created, however, there are rumours that common software is under preparation. Philosophy of these is based on idea of normative methodological core and adjustment of national databases and conditions (like e.g. climatotechnical data, energy efficiency classification etc.).

Another question is if there should be a common software for all sub-systems or three-four independent programs for experts active in their field. It seems, and first experience give a clear evidence of that, that independently acting experts have just a little chance to meet using one tool, what is unpractical and time consuming. So independent software are being prepared instead. In Slovak Republic the state of the art follows this philosophy and it is supposed to possibly tie these programs together in future via generally agreed data exchange format (first it just have to be proposed, some R&D work is still needed here).

Authorisation of software is also a matter of decision. The question is, if there should be a body responsible for verification of commercially manufactured software or there will be no guarantee for the software usage. Current decisions made in Slovakia follow the principle of liberal market without authorisation. It means, in fact, that software

must be assumed as a tool for certificants, while certificants are fully responsible for their results. It practically means just one – certificants must be provided for all the preliminary results, they need to have an option to watch, check, inspect and modify every single result throughout the calculation procedure. And software have to allow this.

Up to now, for the field of lighting there are some software aids for certificants, made by TYPHOON (2007-2010):

EHB LiteCalc – core calculation tool for energy certification

EHB QuickCalc – a quick method version for designers

EHB PriceCalc – calculation of costs for price offer

EHB LiteForm – a set of table sheet forms for data collection during visual inspection

Fig.2. EHB LiteCalc 3.1 – Energy Label Sheet

EHB LiteCalc (Fig. 1 - 4), actually in version 3 is based upon well known and highly accepted excel format what makes it very easy to use.

Fig.3. EHB LiteCalc 3.1 – The summary sheet

Fig.4. EHB LiteCalc 3.1 – Output Sheet (fragment)

Main features of the EHB LiteCalc 3.1:

Number of rooms:	dynamic assignment
Number of types:	130 luminaire types, 52 window types
Segmentation:	calculation for single-sided continuous windows, one daylight zone
Rooflights:	geometry types according to EN 15193
Windows:	τ and coefficients k taken for prevailing window type
Determination of F_A :	manually
Input verification:	without verification of input data
User interface:	easy orientation in tables, input cells are highlighted, data groups are identified by colours
Calculation of t_D and t_N :	operation times for whole building and for individual rooms
Setting of C_{we} :	for whole building and for individual rooms
Determination of MF:	one input value without its components
Determination of H_{AT} :	manual input
Determination of F_{DS} :	standard values for Bratislava with possible manual modifications
GDF:	implemented

Calculation of D_c :	prevailing window type is determined from passport automatically
Decimal numbers:	fixed
Monthly distribution:	simple distribution without iterations
Standard data:	possible manual setting of global tables and standard data

Fig.4. EHB LiteCalc 2.0 – Photodocumentation of luminaires (above) and windows (below) as an optional part of the software

Features of the EHB LiteCalc 3.1 calculation program

New version of the EHB LiteCalc is aimed to implementation of new conditions and requirements of the new ordinance No. 311/2009, improvements of calculation procedures and user environment. The new version should ease the work of certificants and to provide new options. New features can be listed in points as follows:

- new form of energy certificate according to the template published in new legislation
- tools for elaboration of protocols from orientational measurements of lighting parameters (required by new legislation)
- implementation of new national coefficients, operational times, energy class scales etc.
- selection and application of energy saving options
- drop-down windows to simplify selection of some parameters
- dynamic creation of tables (floating number of rooms in analyzed building)
- calculation of rooflights

References

- [1] Act No. 555/2005 of the National Parliament of Slovak Republic on the Energy Performance of Buildings
- [2] Ordinance No. 625/2006 of the Ministry of Construction and Regional Development of Slovak Republic
- [3] Technical standards EN 15 193:2007 and STN EN 15 193:2008
- [4] Preliminary standard prEN 15 193:2005
- [5] Slovak National Methodology on Energy Performance of Buildings
- [6] Software package EHB LiteCalc, EHB QuickCalc, EHB PriceCalc and EHB LiteForm, Typhoon 2008

Authors:

Doc. Ing. Dionýz Gašparovský, PhD., Typhoon, s.r.o.
Obchodná 15, 811 06 Bratislava, Slovak Republic
tel.: +421 2 52444092, fax: +421 2 52444092
e-mail: mail@typhoon.sk

Ing. Emre Erkin, Istanbul Technical University, Ayazaga Kampusu,
34469 Maslak, Istanbul, Turkey, e-mail: erkinem@itu.edu.tr

Photometric calibrator

Abstract: The paper presents Sonopan photometric calibrator – model KF-10. It describes the construction of the calibrator and its basic metrological characteristics.

The paper also deals with issues involved in usage of the calibrator in photometric measurements, particularly in reference to clause 5.5.10 of ISO/IEC17025 standard

Keywords: illuminance, luxmeter, chromacity coordinates.



Introduction

The photometric calibrator model KF-10 is shown from a front panel perspective in the picture above. It is a source with luminous emittance of ca. 100 lm/m². This value should not be confused with illuminance. Photometric calibrator only “simulates” illuminance of 100lx by recreating it in a “socket”.

A source of light in the KF-10 calibrator is a light-emitting diode, with correlated colour temperature different than colour temperature of illuminant A (2856 K).

The photometric calibrator is a measuring instrument dedicated only to Sonopan luxmeters. It is used to check a luxmeter’s reading between calibration intervals.

Realization of a stable and portable radiation source is clause 5.5.10 of the ISO/IEC17025 standard that introduces requirement of intermediate checks.

Requirements and technical parameters of the photometric calibrator.

The construction of the photometric calibrator KF-10 ensures:

- high stability and uniformity of the recreated luminous parameter in the detecting area of a head of a tested luxmeter,
- emission of diffusing, collimated light,
- minimized influence of head positioning of the tested luxmeter in the “socket”,
- minimized influence of outer lighting conditions on the measurement results,
- long exploitation period with minimum usage of a light source,
- continuous spectral distribution of radiated power,
- comfort of use – small dimensions and weight, mains-supply.

According to the manufacturer’s declaration, the photometric calibrator KF-10 is a source with luminous emittance value of ca. 100 lm/m². This emittance simulates a light signal equivalent of 100 lx illuminance in the area of the calibrator’s output diaphragm, in which the head of the

tested luxmeter is being placed. Value of correlated colour temperature of a light source used in the calibrator is ca. 3000K. The influence of the temperature on the reading of a tested luxmeter, calibrated using standards with colour temperature corresponding to illuminant A, is estimated by the manufacturer to be 0,03% for SONOPAN luxmeters class A and 0,15% for SONOPAN luxmeters class B.

The photometric calibrator works in single cycles of circa 1 min. Declared stability of a luminous parameter for a single cycle ranges between ±0,3%. For 3000 work cycles of the calibrator the stability of luminous parameter has been estimated by the manufacturer to be ranging between ±1%.

Metrological assessment of the photometric calibrator.

The Laboratory of Photometry and Radiometry at GUM (Central Office of Measures) has been testing metrological characteristics of photometric calibrators KF-10 since SONOPAN company started to produce the calibrator. The range of the metrological control of the calibrator consists of:

- measurement of chromacity coordinates by using a tristimulus colorimeter and then calculation of correlated colour temperature,
- measurement of illuminance in the detecting area of the luxmeter’s head, which is being placed in the calibrator’s “socket”.

Measurement results together with uncertainty values are given in a certificate.

Basing on the analysis of measurement results of the calibrators subject to metrological control in the years 2005-2009, the following conclusion can be drawn:

- illuminance level “simulated” in the area of the calibrator’s output diaphragm is constant in the analyzed period,
- values of correlated colour temperature of radiation emitted by calibrators, measured during periodic tests at GUM are within range 3200 K ÷ 3500 K. These values differ from values declared in the manufacturer’s technical specification, which may influence readings of luxmeters, which heads have worse match of spectral responsivity to spectral luminous efficiency.

Summary

Photometric calibrators KF-10 are a response to needs of customers who want to be certain that their measurements are reliable. Research and calibration laboratories dealing with measurements related to occupational safety and health as well as laboratories providing services related to photometric measurements have been equipped with an instrument that fulfills these needs in an objective way. Photometric calibrators KF-10 perform a task of control but

they are not superior to luxmeters. In case a luxmeter reading is significantly different than the value given in the calibrator's certificate, a user of the measuring instrument receives a signal that the luxmeter should be subjected to metrological control.



References

[1] Felhorski W. Stanioch W. „Kolorymetria trójchromatyczna”

- Wydawnictwo Naukowo-Techniczne Warszawa 1973r.
[2] Pietrzykowski J. „Ocena niepewności pomiaru barwy i chromatyczności
Główny Urząd Miar 1998r.
[3] Publ. CIE 15.3 – 2004 Colorimetry.
[4] PN-91/91E-04042/03 Pomiary promieniowania optycznego. Pomiary kolorymetryczne. Metody wyznaczania charakterystyk widmowych i kolorymetrycznych źródeł światła.
[5] Pietrzykowski J, Sobczak N. Wzory i tabele kolorymetryczne.

Autorzy: Dorota Sobótko, Grzegorz Szajna, Central Office of Measures, Photometry and Radiometry Laboratory of Radiation and Influence Quantities Department, Elektoralna st. 2, 00-950 Warsaw, e-mail: radiation@qum.gov.pl;

The Simple Model of Diffraction Grating

Abstract. In this paper we present a model of a diffraction grating for use in lighting technology and computer graphics. Although some successful attempts in this field have been made before, we believe that thanks to our approach the presented model is more efficient while still usable for many applications. In spite of its simplicity it's capable of modelling diffraction of colourful light emitted by a source describe by spectral distribution.

Keywords: diffraction, computer graphics.

Introduction

The paper presents an efficient method of rendering images of diffraction gratings in computer graphics programmes. The method can be implemented as reflection/refraction model in a unidirectional[1] ray tracing programme. The method is relatively fast compared to bidirectional ray tracing or photon mapping, however, this advantage doesn't come at no cost. Constraints must be applied on a scene to avoid errors. These conditions are easily met for example in night illumination scenarios which may suggest the field of application.

One of its advantages is that it doesn't require to use spectral light model in all calculations in a rendering process. Lights intended to interact with diffraction gratings are required to be described with spectral distribution. The distribution may be easily converted to RGB values. We were able to achieve high efficiency because the geometry dependent calculations are based mostly on the ray theory rather than wave theory of light. Since only few parameters are required to describe properties of a diffractive surface in our model, it is possible to create spatial maps of those properties as bit mapped images and thus to render an image similar to a dot-matrix hologram.

Diffraction

The diffraction phenomenon, unlike reflection and refraction, can't be accurately simulated with an eye-to-light ray tracing algorithm. The main issue is common for diffraction and optical dispersion, however the physical nature of both phenomena is completely different. In both phenomena the intensity of reflected and transmitted light in given direction depends on its wavelength. This makes it impossible to use any of tristimulus models as they don't provide unambiguous mapping from primary colours neither to continuous nor discrete spectrum values. All diffraction calculations need to be done in discrete spectrum domain which comprises at least twenty[2] primary colours instead of only three for each of diffraction orders!. This in turn makes calculations much more complex and in case of recursive ray tracing completely impractical. Each ray intersects a surface a number of reflected and transmitted rays would be created, each of different wavelength. It'd be like an attempt to model diffuse reflection with a specular reflection model.

Although the situation might seem hopeless, a few solutions to this problem have been proposed[3, 4]. These articles present methods based on Monte Carlo methods which allows them to yield satisfying results and remain efficient.

On the other hand there are areas where accurate calculations are required but specific conditions permit several simplifications which make deterministic calculations feasible. One of those areas is lighting.

Solution

In the eye-to-light ray tracing method the direction of a reflected or transmitted ray is determined when the incident ray interacts with a surface. For diffraction gratings this implies necessity of expensive calculations of multiple rays, one for every wavelength in the considered spectrum.

Relatively low efficiency of diffraction gratings requires arrangements in lighting systems that effect in direct interaction of light from a light source with diffraction gratings. Otherwise the effects would not be clear enough.

Let's consider rendering a diffraction grating in a following setup.

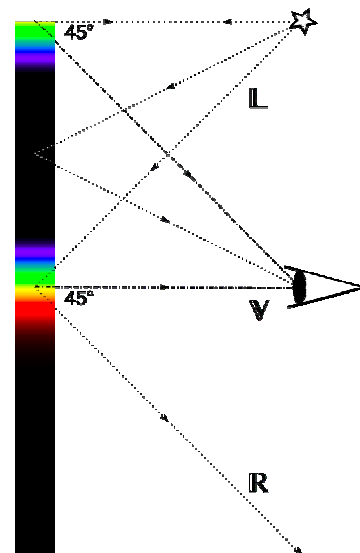


Fig. 1. Sample scene for rendering a diffraction grating.

The goal is to determine the colour of each part of the surface based on:

- properties of the grating at this point,
- position of the observer,
- position of lights.

With the classic eye-to-light ray tracing approach it would take very long time to complete the task and failed eventually because hardly any ray would hit the infinitely small light point.

The other approach is to assume direct interaction between diffraction grating and only light sources. This assumption may be considered credible in case of a lighting system because only bright spot lights can give desired effects on the surface of the diffraction grating. Light reflected towards the grating from random objects is much less intense than directly from the light sources and can be

calculated with ordinary specular or diffuse reflection models.

The cited articles assume spectral representation of colours for every step of rendering process. Although in case of simple specular or diffuse reflection it isn't as much of a problem as with diffraction (or dispersion), it still adds some complexity to calculations. However, when we assume no interaction between light reflected from ordinary surfaces and diffraction gratings, two separate models may coexist. One, based on RGB values, for ordinary surfaces and the other, spectral, for diffraction gratings. Only colours of lights must be described in terms of the latter model. Conversion from spectral to tristimulus model is applied

- at the light source for calculations of ordinary surfaces,
- after a reflection from or a transmission through a diffraction grating.

Algorithm

The model requires a few parameters to start. They are:

- groove density to determine angles of diffraction basing on $d \sin(\Theta) = m\lambda$ formula
- diffraction grating orientation,
- positions of light and viewer.

With these at hand a program does calculations pixel by pixel. At first it checks whether a point on the surface of the diffraction grating is near enough the line created by intersection of the grating and a plane perpendicular to it and parallel to the grooves to be visible. Next the wavelength of the reflected ray is determined based on the angle between projections of \mathbf{V} and \mathbf{R} vectors on the plane mentioned above. Then the wavelength is converted to sRGB values (with an intermediate CIE XYZ stage).

Examples

Figure 2. presents six images of the same grating but with light and observer at different positions. The simulated grating is two meters high and thirteen centimetres wide, with groove density 1250 per millimetre. This makes green light (550nm) visible at 45° from the direct reflection. The grating is placed on YZ plane of the coordinate system and the observer on the X axis.

Cases (a) and (b) present simplistic 1D approach where horizontal positions of light and observer hasn't been taken into account. On the first stripe you can see both first order diffraction spectra.

Stripes (c) and (e) have been rendered with the same geometric setup as the first two but with transversal fading formula. Stripe (d) demonstrates grating tilt by about 6° counter clockwise, observers positions is also shifted a bit. Observer can see only rays which aren't too far from the plane containing incident and reflected rays.

The last case (f) presents a grating with groove density sinusoidally changing along the Y axis from 1000 up to 1666 grooves per millimetre. The image shows that changing the density of the diffraction grating gives great degree of control over its appearance in given lighting conditions.

Summary

Although the presented method for simulation of diffraction effect is not suitable for general cases it should serve its purpose well in modelling lighting systems where mostly light directly emitted from a source interacts with surfaces. Because is based rather on ray theory and pure geometric calculations it is very fast and may be easily integrated with existing computer graphics software. The integration doesn't require significant changes in colour model either. The two models may easily coexist. The

model, does not provide any method of determination intensity of diffracted light. Since there are many different factors that influence it (e.g. fabrication process, material) this matter requires further research.

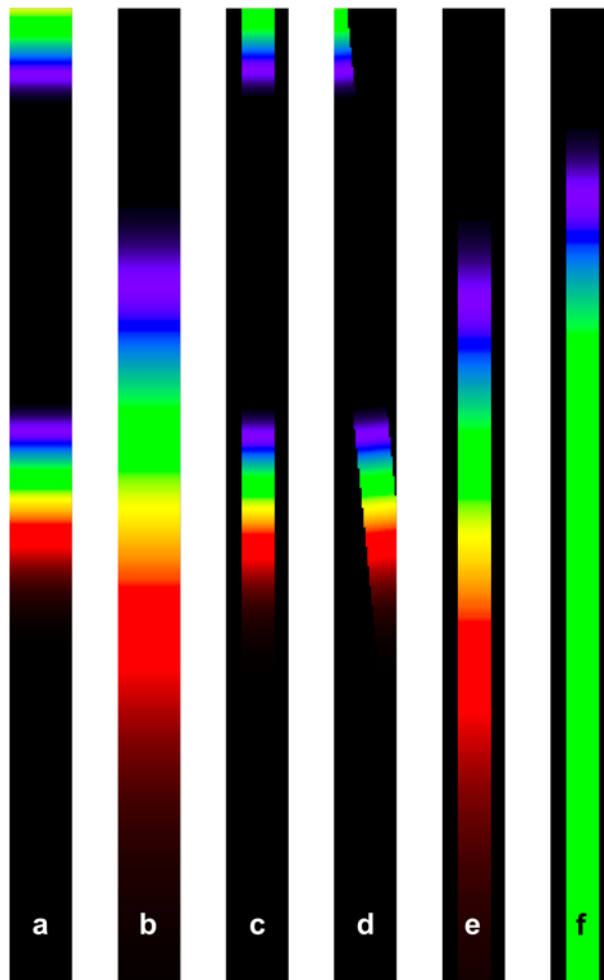


Fig.2. Examples of the diffraction grating rendered under different conditions.

REFERENCES

- [1] Whitted T., An improved illumination model for shaded display, *Computer Graphics*, 13 (1979), nr 2, 14
- [2] Nakamae E., Kaneda K. Okamoto T., Nishita T., A *Lighting Model Aiming at Drive Simulation*, *Computer Graphics*, 24 (1990), nr 4, 395–404
- [3] Wilkie A, Tobler R.F., Purgathofer W.. Raytracing of Dispersion Effects in Transparent Materials, *WSCG*, (2000)
- [4] Gondek J.S., Meyer G.W., Newman J.G., Wavelength Dependent Reflectance Functions, *In Computer Graphics Proceedings, Annual Conference Series*, (1994), 213–220

Authors: Łukasz Stelmach MSc., Dariusz Sawicki PhD DSc, Warsaw University of Technology, Institute of Theory of Electrical Engineering, Measurements and Information Systems, Koszykowa 75, 00-661 Warsaw, Poland, E-mail: Lukasz.Stelmach@jem.pw.edu.pl.

Rozdílné způsoby stanovení udržovacího činitele

Abstract. Přednáška se zabývá problematikou a záležitostmi stanovení udržovacího činitele (maintenance factor).

Keywords: udržovací činitel; maintenance factor; light loss factor.

Co je to udržovací činitel?

Dle [7] je udržovací činitel definován jako „podíl průměrné osvětlenosti pracovní roviny po určité době používání osvětlovací soustavy k průměrné osvětlenosti soustavy, kterou lze považovat za novou“. Respektuje tudíž ztráty světla způsobené znečištěním světelných zdrojů, svítidel a povrchů místnosti i stárnutím světelných zdrojů a jejich funkční nespolehlivostí.

$$\text{udržovací činitel (z; MF)} = \bar{E}_m / \bar{E}_{in}$$

kde \bar{E}_m = průměrná udržovaná osvětlenost [lx]

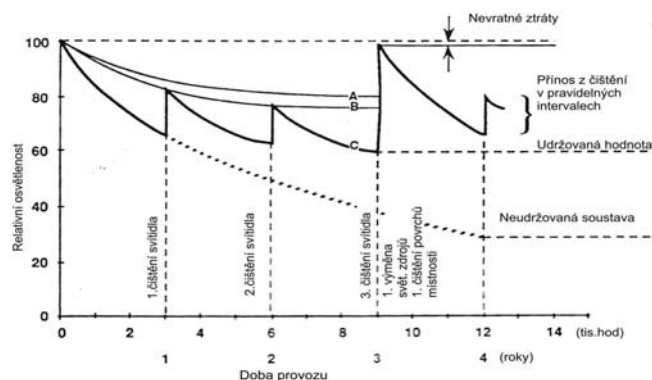
\bar{E}_{in} = průměrná počáteční osvětlenost [lx]

z = označení udržovacího činitele dle [1] a [3]

MF = označení udržovacího činitele dle [6], v [7] není označení uvedeno

Udržovací činitel tedy charakterizuje znehodnocení osvětlovací soustavy v průběhu jejího provozu a vyjadřuje, kolikrát je sledovaný parametr osvětlovací soustavy (zpravidla osvětlenost) v určitém časovém okamžiku menší, než parametr časově počáteční. Ke snížení dochází působením vratných i nevratných změn fyzikálně chemického charakteru.

Následující obrázek (převzato z [6]) názorně ukazuje průběh relativní osvětlenosti v čase při provádění údržby (čištění svítidel 1× ročně, malování 1× za tři roky).



K čemu potřebujeme udržovací činitel?

Platná norma [2] požaduje splnění udržované osvětlenosti \bar{E}_m , tedy průměrné osvětlenosti v době, kdy má být provedena údržba. Hodnota průměrné počáteční osvětlenosti (nová, čistá svítidla, nové světelné zdroje, čerstvě vymalováno) po vynásobení udržovacím činitelem dává hodnotu udržované osvětlenosti, na kterou je soustava navrhována. Správné stanovení hodnoty udržovacího činitele má tedy mimořádnou důležitost pro korektní provedení návrhu osvětlovací soustavy.

V normě [2] odstavci 4.8 „Udržovací činitel“ je uvedeno:

Projektant musí:

- uvést udržovací činitel a přehled předpokladů přijatých při odvození jeho hodnoty,

- specifikovat osvětlovací zařízení vhodné pro užití v daném prostředí,
- připravit kompletní plán údržby, včetně intervalů výměny světelných zdrojů, čištění svítidel a místností a způsobů provádění

V Národní příloze [3] odstavci NA.23 jsou v seznamu minimálních náležitostí dokumentace návrhu osvětlení uvedeny m.j.:

- míra znečištění prostoru,
- způsob provádění a intervaly údržby,
- udržovací činitel

V normě [4], kapitole 4.8 „Vyhodnocení měření“ se odstavec 4.8.7 zmiňuje také o potřebě zohlednění aktuálního stavu osvětlovací soustavy:

„U změřených průměrných hodnot nových soustav umělého osvětlení (kolaudační měření) se provede jejich korekce vynásobením udržovacím činitelem osvětlovací soustavy a potom teprve porovnání s hodnotami požadovanými platnými normami. Udržovací činitel je uveden v projektové dokumentaci.“

Za svoji praxi při měření osvětlení se ale nejčastěji setkávám se situací, že návrh osvětlení není vůbec vypracován a pokud ano, tak nikoli s korektně stanoveným udržovacím činitelem.

Jak se udržovací činitel stanovuje?

V současné době jsou platné dva postupy:

1. Národní příloha [3] odstavec NA.18.
2. Směrnice o údržbě vnitřních osvětlovacích soustav [6].

Ve své porovnávací přednášce v roce 2006 jsem uvedl odlišnosti metody stanovení udržovacího činitele dle obou výše zmíněných metod. Tehdy jsem také na konkrétních příkladech poukázal na skutečnost, že tyto metody nevedou ke stejnému výsledku. Naopak za určitých podmínek se mohou výrazně lišit.

Připravovaná revize normy [2] již výslovně požaduje stanovení udržovacího činitele MF metodou 2 (pomocí Směrnice o údržbě vnitřních osvětlovacích soustav [6]. Tím by dosavadní dvojkolejnost měla být odstraněna.

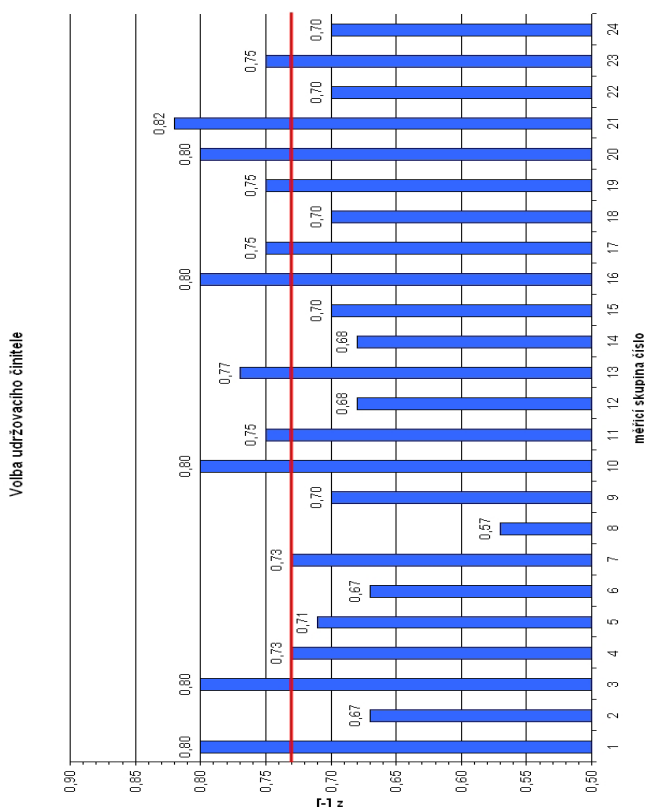
MPZ 2009 - porovnání výsledků stanovení udržovacího činitele

Dostí teorie. Pojdme si ukázat, kterak si s jednotným zadáním poradilo 24 měřicích skupin v rámci mezilaboratorního porovnávání zkoušek (dále jen MPZ). MPZ, testující způsobilost jednotlivých laboratoří, proběhlo v březnu 2009 v Ostravě. Jednotlivé měřicí skupiny měly za úkol (kromě vlastního měření umělého osvětlení) stanovit libovolným způsobem udržovací činitel pro konkrétní prostor zkoumané kanceláře. Všechny potřebné náležitosti byly známy. Výsledky stanovení jednotlivých měřicích skupin jsou s laskavým svolením organizátorů MPZ kompletně uvedeny v následující tabulce a grafu.

Tabulka i graf rovněž obsahují vypočtenou průměrnou hodnotu ze všech stanovení (vybočující hodnoty nebyly eliminovány). V tabulce jsou rovněž zobrazeny minimální a maximální hodnoty. Je zřejmé, že rozptyl vypočtených hodnot udržovacího činitele je překvapivě dosti značný.

měřicí skupina č.	z [-]	odchylka od průměru
1	0,80	9,53%
2	0,67	-8,27%
3	0,80	9,53%
4	0,73	-0,06%
5	0,71	-2,80%
6	0,67	-8,27%
7	0,73	-0,06%
8	0,57	-21,96%
9	0,70	-4,16%
10	0,80	9,53%
11	0,75	2,68%
12	0,68	-6,90%
13	0,77	5,42%
14	0,68	-6,90%
15	0,70	-4,16%
16	0,80	9,53%
17	0,75	2,68%
18	0,70	-4,16%
19	0,75	2,68%
20	0,80	9,53%
21	0,82	12,26%
22	0,70	-4,16%
23	0,75	2,68%
24	0,70	-4,16%
minimum	0,57	-21,96%
maximum	0,82	12,26%
průměr	0,73	0,00%

Tabulka 1: výsledky stanovení jednotlivými měřicími skupinami



Graf 1: výsledky stanovení jednotlivými měřicími skupinami

Výpočty udržovacího činitele pro kancelář řešenou v rámci MPZ

Zadání bylo jednotné. Všichni předem znali rozměry kanceláře, typy použitých světelných zdrojů a stáří osvětlovací soustavy. Po připomínce byly v den měření ještě doplněny informace o typech svítidel, čistotě prostředí, intervalech údržby a o způsobu výměny světelných zdrojů. Odraznosti povrchů si každá měřicí skupina zjistila sama.

Výpočet podle národní přílohy [3]:

Není jednoduché zjistit potřebné údaje (ρ ; τ) k použitým světelným zdrojům Sylvania. Použitím údajů ke srovnatelným zdrojům Osram či Philips však jistě neuděláme zásadní chybu. Dalším drobným problémem je skutečnost, že prostor kanceláře byl v době měření až na dva stoly a jednu skříňku zcela prázdný (viz foto). Nová malba na stěnách vykazovala vysoký činitel odrazu. Bude prostor při reálném používání nadále takto prázdný nebo přibudou další skříně? To má vliv na hodnotu dílčího činitele znečištění ploch osvětlovaného prostoru a tudíž i na celkový udržovací činitel.



- vypočtený udržovací činitel pro nadále prázdný prostor: $z = 0,64$
- vypočtený udržovací činitel pro rozumně zařízený prostor: $z = 0,70$

Výpočet podle směrnice o údržbě vnitřních osvětlovacích soustav [6]:

Zde nastává opět drobný problém s činitelem odrazu povrchů. Námi zjištěné hodnoty lze přibližně použít v řádku 80/70/20. Odečtem ze tří tabulek a vynásobením tří dílčích činitelů získáme hodnotu:

- vypočtený udržovací činitel: $z (MF) = 0,76$
- Došli jsme ke třem různým výsledkům. Který považovat za správný?*

Hygienické posouzení osvětlenosti v prostoru

Účelem kolaudačního měření osvětlení by mělo být prokázání, že nová osvětlovací soustava v kanceláři bude vyhovovat legislativě i na konci všech intervalů údržby (udržovaná osvětlenost $\bar{E}_m \geq 500$ lx).

Vraťme se zpět k výsledkům měření umělého osvětlení v rámci MPZ. Jednotlivými skupinami byla změřena počáteční průměrná osvětlenost \bar{E}_{in} . Budeme-li pro kancelář požadovat průměrnou udržovanou osvětlenost dle [2] $\bar{E}_m \geq 500$ lx, pak počáteční průměrná osvětlenost \bar{E}_{in} musí být $\bar{E}_{in} \geq \bar{E}_m / z$; tedy $\bar{E}_{in} \geq 500 / z$.

Nebudu-li pro zjednodušení uvažovat nejistotu měření, pak pro kontrolu správného dimenzování osvětlovací soustavy by měl hygienik požadovat, aby při měření nové soustavy byla průměrná počáteční osvětlenost:

$\bar{E}_{in} \geq 877$ lx (pro $z = 0,57$; jak stanovila nejopatrnější měřicí skupina č. 8)

$\bar{E}_{in} \geq 685$ lx (pro $z = 0,73$; jak vyšel aritmetický průměr ze stanovení 24 měřících skupin)

$\bar{E}_{in} \geq 610$ lx (pro $z = 0,82$; jak stanovila neoptimističtější měřicí skupina č. 21)

Jakou průměrnou osvětlenost máme vlastně naměřit, aby soustava vyhovovala platné normě?

Závěrečné shrnutí

Ve své porovnávací přednášce v roce 2006 jsem uvedl výhody a nevýhody obou metod stanovení udržovacího činitele.

Výhodou metody stanovení udržovacího činitele dle Národní přílohy [3] je univerzálnost jejího použití. Pro „ruční“ výpočet není vhodná. Udržovací činitel ale dle této metody spolehlivě počítají tuzemské osvětlovací výpočetní programy. Problém zpravidla nastává pouze s absencí patřičných technických dat od výrobců svítidel a zejména světelných zdrojů.

Stanovení udržovacího činitele metodou dle Směrnice [6] je velmi snadné, v „terénu“ použitelné a nevyžaduje prakticky žádné výpočty. V tabulkách lze nalézt přímo příslušné hodnoty, které však pro nějaký nestandardní prostor mohou chybět. Pozitivem této metody je fakt, že je o 20 let mladší. Zejména dílčí činitel stárnutí světelného zdroje raději určuji dle této modernější metodiky.

Metoda stanovení udržovacího činitele dle Národní přílohy [3] i metoda dle Směrnice [6] vychází z textu, který je označen jako informativní, nemající normativní charakter. Je zřejmé, že v určitých případech mohou být výsledkem obou metod výrazně se odlišující hodnoty udržovacího činitele. To potvrdilo i MPZ prováděné v naprosto běžném

kancelářském prostoru. Zde bych rád znal odpověď na otázku - která metoda je rozhodující v případě sporu?

Měřicí skupiny, jež se účastní MPZ, jsou tvořeny osobami vysoce erudovanými. Každý jistě stanovil udržovací činitel dle svého nejlepšího svědomí, každý určité dokáže svůj použitý postup obhájit. Všichni zaručeně výpočtu pro MPZ věnovali vyšší pozornost, než jak činí v případě běžných, rutinních měření. Přesto je rozptýl hodnot udržovacího činitele stanovených jednotlivými měřicími skupinami alarmující. Investujeme nemalé prostředky do nákupu přesných luxmetrů, do jejich pravidelného ověřování. Trávíme mnoho času při stanovování nejistot měření, zvyšujeme svoji odbornost, účastníme se MPZ. To vše činíme proto, abychom umělé osvětlení dokázali změřit co nejdokonaleji. Pak ale narazíme na problém určení udržované osvětlenosti z měřením zjištěné osvětlenosti počáteční. Postačí pro splnění normových požadavků v kanceláři počáteční průměrná osvětlenost alespoň 610 lx, nebo budeme požadovat minimálně 877 lx (krajní hodnoty z předchozí kapitoly)? Prostor pro manipulaci s výsledky je příliš velký.

Bylo by více než žádoucí, aby se způsob stanovení udržovacího činitele nějakým způsobem sjednotil. Výsledek stanovený různými projektanty nemusí být nutně zcela přesný, je však potřebné aby byl stejný. Tento problém si zaslouží hlubší odbornou diskusi, která by mohla započít například na této konferenci. Rád se jí zúčastním.

Odkazy

- [1] ČSN 36 0450 - Umělé osvětlení vnitřních prostorů (v roce 2004 zrušena)
- [2] ČSN EN 12464-1 - Světlo a osvětlení - Osvětlení pracovních prostorů - Část 1: Vnitřní pracovní prostory
- [3] ČSN EN 12464-1/Z1 - Národní příloha k [2] (informativní doplňující ustanovení platná pro ČR)
- [4] ČSN 36 0011-1 - Měření osvětlení vnitřních prostorů - Část 1: Základní ustanovení
- [5] ČSN 36 0011-3 - Měření osvětlení vnitřních prostorů - Část 1: Měření umělého osvětlení
- [6] TNI 36 0451 - Údržba vnitřních osvětlovacích soustav (překlad CIE 97:2005 - Technická zpráva CIE - Směrnice o údržbě vnitřních osvětlovacích soustav) - vyšla, jako informativní technická publikace ČNI v 7/2006
- [7] ČSN EN 12665-1 - Světlo a osvětlení - Základní termíny a kritéria pro stanovení požadavků na osvětlení

Autor

Autor: Ing. Pavel Stupka, Zdravotní ústav se sídlem v Plzni, 17. listopadu 1, 301 00, Plzeň, E-mail: pavel.stupka@zu.cz.

Experimental investigation of the Purkinje effect in case of traditional and modern street lighting luminaires

Abstract. This study investigates the scale of the Purkinje shift by using LED light sources at different CCTs with the help of a uniform colour scale, similar to a series of Munsell colour patches according to Munsell value (V). A red and a blue sample were selected as primary stimuli. The task of the observer was to match the lightness of the primary colour patch with the members of the matching scale. Also the relationship between the Purkinje shift and the aging of the eye lens will be investigated. Results can help by designing coloured road signs and signalling tables.

Keywords: Purkinje shift, aging of eye lens, mesopic vision, street lighting, LED lighting.

Introduction

The illumination provided by street lighting luminaires can be categorized to the mesopic region according to luminance. The mesopic luminance range lies between the photopic and the scotopic, from $L_p \approx 0.001 \text{ cd/m}^2$ to $L_p \approx 3 \text{ cd/m}^2$. The upper limit of the mesopic region is not clearly defined: the CIE definition is "at least several cd/m^2 ". This value depends also on the retinal position of the incoming light and the spatial position of the target, therefore this value is somewhere between $L_p = 3 \text{ cd/m}^2$ and $L_p = 10 \text{ cd/m}^2$ [1, 2, 3]. Mesopic applications include road- and common street lighting, marine- and air transport, emergency- and safety lighting, lighting for security and crime-prevention purposes (and many more). It is especially the higher end of the mesopic luminance range that is of prime importance in practical applications. One typical task is night-time driving. The driver has not only to discriminate between moving and stationary objects, but also has to identify them to make the right decision on the driving of the vehicle, to avoid collisions and dangerous situations. The identification of the object on the road is a typical foveal task, while detection of an object in the environment of the road is carried out by the para-foveal vision. In a previous work[4], authors investigated the effect of light source spectra on visual acuity, when the target is projected onto the fovea of the observer, because besides human factors (e.g. age) and numerous other effects influence the visual performance, like the luminance level, the contrast ratio between the background and the visual target. Spectral power distribution of the illumination has also an important effect, and this parameter of the light source can be changed to get best visual acuity and energy saving.

It is known that neither $V(\lambda)$ nor $V'(\lambda)$ spectral sensitivity curves are alone representative or suitable to describe the human eye's behaviour in the mesopic luminance region, which is caused by the parallel activity of both rods and cones. The mutual interaction of these photoreceptors determines the spectral sensitivity under such conditions. There is no internationally accepted model and no standardized spectral sensitivity curve yet for the mesopic region. (CIE TC 1-59 is still working to develop such a model, mainly for detection type tasks.) According to the type of the task, the shape of the intended mesopic spectral sensitivity curve changes. Based on this knowledge we speak about visual performance based tasks (detection, recognition, and reaction time), heterochromatic brightness matching, and heterochromatic flicker photometry. The last two were used in the 20th century by investigating the $V(\lambda)$ and $V'(\lambda)$, but it turned out, that in the mesopic luminance range these methods cannot result feasible sensitivity curves[5]. Visual performance based experiments were used e.g. by a project, called MOVE (Mesopic Optimisation

of Visual Efficiency)[6]. The MOVE consortium showed that reaction time based tests result a "bell-shaped" sensitivity curve (like the $V(\lambda)$ and $V'(\lambda)$), but more local maxima were found by using detection- or recognition based experiments. This "multi-peaked" curve proves, if there is enough time for the chromatic signals to build up (according to Padmos et al [7] $t = 300 \text{ ms}$ is enough), and reach the visual cortex, than they influence the visual sensitivity in the mesopic luminance range.

In the upper region of the mesopic luminance mainly the cones are active. They contain three different types of rhodopsin, which results three different cone sensitivities (L, M, S), shown in Figure 1.

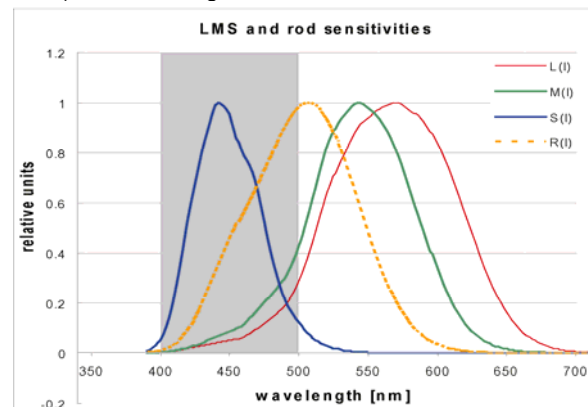


Figure 1. The relative spectral sensitivities of the L, M, S cones and the rods. The grey rectangle show the wavelength part, where the sensitivity of the human eye decrease caused by the aging of the eye lens.

In the upper region of mesopic luminance region, the resulted images are colourful and sharp. In the lower end of the mesopic range mainly the rods are active. The rods contain only one kind of rhodopsin, resulting bluish-blackish monochromatic vision, shown in Figure 1. For the rod sensitivity stands in Figure 1 the $V'(\lambda)$ scotopic spectral sensitivity curve (denoted by $R(\lambda)$), since in the scotopic vision (under $L_p = 0.001 \text{ cd/m}^2$) only the rod photoreceptors are active. Rods are several times more sensitive than cones, this is the reason, why they are not active in the photopic luminance and activated during low lit situations. Between the upper and lower end of the mesopic range exists a very special effect, the so called Purkinje shift [8] or Purkinje effect (named after the Czech physiologist, Jan Evangelista Purkyně), which means the change from the cone vision to the rod vision. This change is a continuous shift from the coloured sight (photopic) to the achromatic (scotopic) one. First the reddish colours disappear, thus

become less bright compared to the bluish colours and at least the bluish ones, and finally when the shift is done, the human eye is switched to the scotopic vision, to a bluish-blackish achromatic vision.

Another effect that has to be considered, is the change of the spectral transmission of the eye lens during the years[9]. As it can be seen in Figure 2, transmittance of the eye lens decreases mainly between 400 nm and 500 nm.

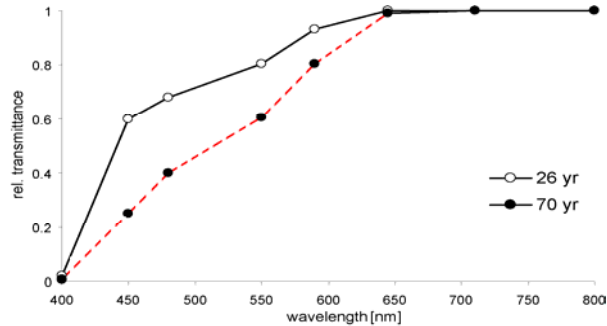


Figure 2. The transmittance change of the human eye lens caused by the aging.

This effect can be best observed by testing people over 65 years. The yellowish lens absorbs more radiation in the shorter part of the visible spectrum (between 400 nm and 500 nm). The spectral sensitivity of the S cones and the rods are mainly between 400 nm and 500 nm (the gray rectangle in Figure 1.), which results not only in decreased sensitivity for bluish colours, but also decreased visual sensitivity during scotopic lighting situations[10,11,12,13]. Nowadays LED based street lighting (SL) becomes applied all over the world, and also in Hungary many tests are under way. This fact was the reason, why authors chose warm-white and cool-white LEDs as illuminants for the investigations.

Experimental method

Authors investigated the scale of the Purkinje shift under cool-white and warm-white LEDs using a uniform colour scale similar to a lightness scale constructed from a series of Munsell colour patches with equal hue (H) and chroma (C) but with different Munsell values (V), the constructed scale has finer resolution in lightness than the difference between two neighbouring Munsell value (converting them to CIELAB lightness values). In further experiments, authors would like also to investigate the influence of the aging of the eye lens on the measure of the Purkinje shift. On Figure 3a the primary visual targets and the matching scales are shown under mesopic conditions ($L_p \approx 0.06 \text{ cd/m}^2$), in Figure 3b the same scenario is shown, but under photopic lighting conditions ($L_p \approx 14 \text{ cd/m}^2$). Both pictures were taken with the same aperture size (F4.0) and the same exposure time (1 s).



Figure 3a. The primary targets and the matching scales are shown at mesopic lighting conditions ($L_p \approx 0.06 \text{ cd/m}^2$). On the left hand side, the scenario under warm-white, on the right hand side under cool-white LED light is shown.



Figure 3b. The primary targets and the matching scales are shown at photopic lighting conditions ($L_p \approx 14 \text{ cd/m}^2$). On the left hand side, the scenario under warm-white, on the right hand side under cool-white LED light is shown.

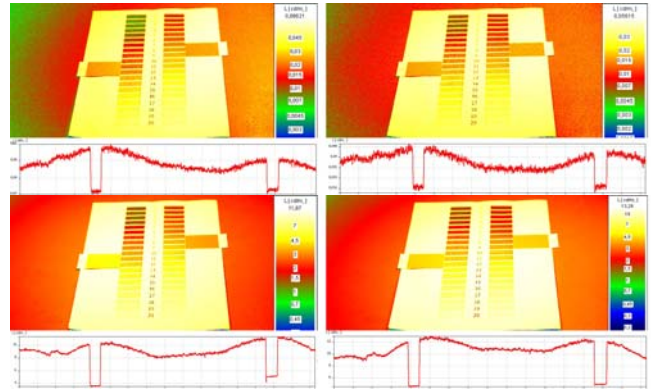


Figure 4. The homogeneity of the scenarios. In the upper row from left to right: mesopic scenario under warm-white LEDs, mesopic scenario under cool-white LEDs. Row in the bottom: photopic scenario under warm-white LEDs, photopic scenario under cool-white LEDs.

During the visual experiments two LED clusters – a warm-white and a cool-white – were used to illuminate the colour patches. Figure 4 shows the homogeneity of the illuminated scenarios. Every diagram has two local minima, which denote the luminance of the two primary visual targets (e.g. colour patches). The SPDs are shown in Figure 5, and colorimetric data of test light sources are listed in Table 1. The luminance of the clusters was regulated with neutral density (ND) filters, to darken the picture besides preserving the CCT. In the tests 13 young observers (between 20 and 33 years) took part. The observers have normal colour vision according to the Farnsworth-Munsell 100 hue test.

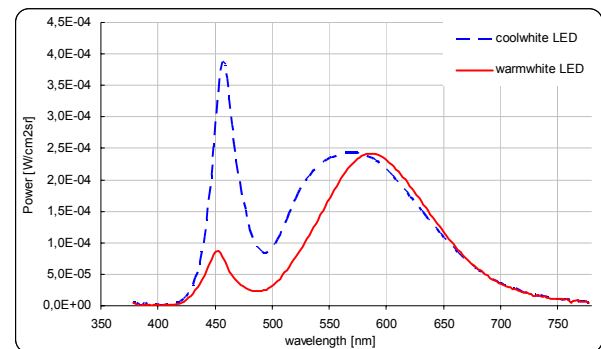


Figure 5. Spectral Power Distributions of LED light sources applied during visual observations.

	Coolwhite LED	Coolwhite LED	Warmwhite LED	Warmwhite LED
Luminance [cd/m^2]	15.74	0.053	13.94	0.074
x	0.3445	0.3473	0.4536	0.4537
y	0.3566	0.3442	0.4260	0.4221
CCT [K]	5037	4886	2908	2877
R_a	78.5	80.5	64.86	66.98

Table 1. Colorimetric data of LED light sources.

Before starting the experiment, observers spent 15 minutes in the experimental dark room for adaptation. Observations were repeated 3 times, to eliminate other influencing parameters.

The task of the observers was to match the lightness of the primary visual targets – which were a red (5R 6/6) and a blue (10B 6/6) Munsell colour patches – with the lightness of one element from the matching scales under photopic and mesopic lighting conditions produced either by the warm-white or the cool-white LED cluster.

Results

Lightness shift between photopic and mesopic appearance was calculated for each primary stimuli from observers' matching judgements. The consistency of observer answers was examined by testing the inter-observer variability and the intra-observer variability of the lightness shift judgements. Inter-observer variability (root mean squared) refers to the correspondence of the 13 observers, and intra-observer variability refers to the repeatability of each observer's judgements. The mean value of inter-observer variability for the whole experimental dataset (measured on 4 matching situations) was 2.01, and the mean value of intra-observer variability was 2.12.

Lightness shifts were averaged according to lighting situations separately. These average lightness shift values can be seen in Figure 7 with 95% confidence intervals.

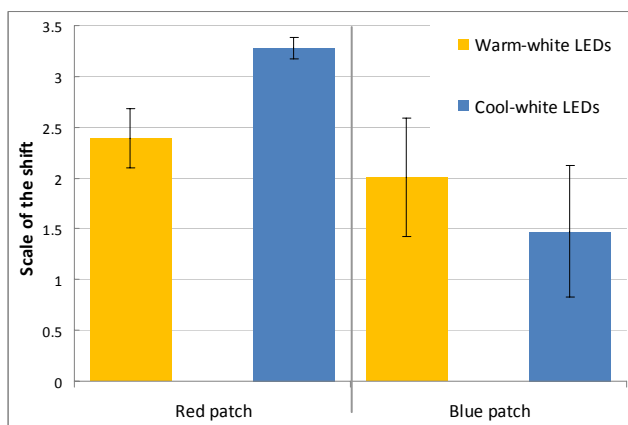


Figure 7. Averaged visual lightness shifts (absolute) in case of different lighting conditions. Visual results are shown with 95% confidence intervals.

As it can be seen in Figure 7, there is a significant difference between the scale of lightness shifts in case of warm-white and cool-white LED light sources.

Figure 8 shows the chromatic shift of the primary patches and the matching scales, caused by the different SPDs of the LED sources. Observers found both borderline cases under the cool-white illumination. They found the largest shifts, by matching the red primary target to the blue matching scale (the visual shifts are: 3.4, 3.2, 3.2 units respectively in case of the three repetitions) and the smallest shifts by matching the blue target to the red matching scale (the visual shifts are: 1.3, 1.1, 2.1 units respectively in case of the three repetitions).

The reason of the average 3.3 units scale shifts for the red patch is partly caused by the SPD of the cool-white LEDs: the gap of the S cones and the rods are lowered, the test persons observe the red primary patch darker.

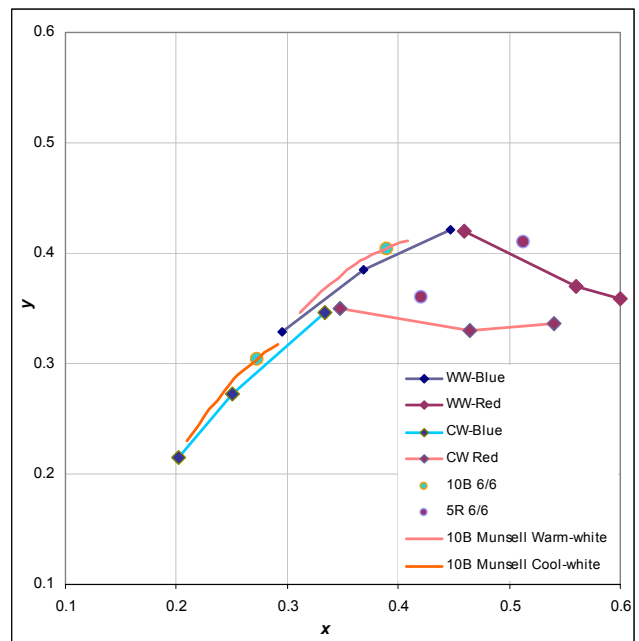


Figure 8. The chromatic shift of the primary targets (blue and red colour patches) and the matching scales are shown in the x,y diagram, caused by the spectral power distribution of the different light sources (e.g. warm-white and cool-white LEDs)

For warm-white LEDs this effect is smaller, also caused by the SPD: they emit less power in the lower part of the visible spectrum, so the base gap of the S cones and rods are not lowered. Under warm-white illumination these shifts are 2.6, 2.4, 2.1 respectively in case of the three repetitions, for the red patch and these values are 2.5, 2.1, 1.4 for the blue primary target in the same order.

Conclusions

In this paper, the Purkyne shift was investigated by visual experiments using warm-white and cool-white LED light sources. Visual results show that observers find different lightness shifts in the case of the illumination provided by the two light sources.

These results can help in optimizing the colour of road signs, to achieve easy recognition at night-time driving. The results also help us to design LED street lighting luminaires, to select the most suitable LEDs to use in the luminaires. Authors are currently working on the adaptation of a low pressure sodium lamp into the same experimental setup, in order to be able to compare the visual experience in case of traditional and solid state street lighting. The further analysis of the experimental results will be presented at the conference.

Acknowledgement

This research was conducted with the support of the National Office for Research and Technology and Lightronic Ltd.

References

- [1] Commission Internationale de l'Éclairage (1978), Light as a true visual quantity: Principles of measurement. CIE Central Bureau CIE 41.
- [2] Illuminating Engineering Society of North America (2000), Lighting Handbook Reference & Application, 9th Edition.

- [3] Kokoschka S. (1997), Das V(l)- Dilemma in der Photometrie, Proceedings of 3. Internationales Forum für den lichttechnischen Nachwuch, TU Ilmenau, Ilmenau.
- [4] Szabó F, Vas Z, Schanda J, (2010), Investigation of the effect of light source spectra on visual acuity at mesopic lighting conditions, CIE 2010 conference on Lighting Quality & Energy Efficiency, Vienna
- [5] Viénot F, Durand M-L, Mahler E, (2009), The effect of LED lighting on performance, appearance and sensations, CIE Light and Lighting Conference, Budapest, Hungary.
- [6] Eloholma M, Halonen L (2007), Performance based model for mesopic photometry, MOVE Project report.
- [7] Padmos P, Norren DV, (1975) Increment Spectral Sensitivity and Colour Discrimination in the Primate by means of graded Potentials from the Striate Cortex, Vision Research 15 pp.1103-1113.
- [8] Purkinje JE, (1825), Neue Beiträge zur Kenntnis des Sehens in Subjektiver Hinsicht, Reimer, Berlin. pp. 109–110.
- [9] Sagawa K, Takahashi Y, (2001), Spectral luminous efficiency as a function of age, Journal of Optical Society America A Vol. 18(11) pp.2659-2667.
- [10] Giblin FJ, (2000), Glutathione: a Vital Lens Antioxidant. J. Ocul. Pharmacol. Ther. Vol. 16, pp. 121-135.
- [11] Seth RK, Kharb S (1999) Protective function of alpha-tocopherol against the process of cataractogenesis in humans. Ann. Nutr. Metab. Vol. 43, pp. 286-289.
- [12] Yeum KJ, Shang FM, Schalch WM, Russell RM, Taylor A, (1999), Fat-soluble nutrient concentrations in different layers of human cataractous lens, Curr. Eye Res. Vol. 19, pp. 502-505
- [13] Dillon J, Atherton SJ, (1990), Time Resolved Spectroscopic Studies on the Intact Human Lens, Photochem. Photobiol., Vol. 51, pp. 465-468
- [14] Ketomäki J, Eloholma M, Orreveläinen P, Halonen L,(2004), Mesopic Lighting Conditions and Pedestrian Visibility, Lighting Engineering, Vol. 6, No. 14 – Winter.

Authors: Ferenc Szabó, University of Pannonia, Virtual Environment and Imaging Technologies Laboratory, 10. Egyetem str., H-8200 Veszprém, Hungary, E-mail: szabof@szafeonline.hu
 Zoltán Vas, University of Pannonia, Virtual Environment and Imaging Technologies Laboratory, 10. Egyetem str., H-8200 Veszprém, Hungary, E-mail: vas.zoltaan@gmail.com
 Péter Csuti, University of Pannonia, Virtual Environment and Imaging Technologies Laboratory, 10. Egyetem str., H-8200 Veszprém, Hungary, E-mail: csutip@vision.uni-pannon.hu
 János Schanda, University of Pannonia, Virtual Environment and Imaging Technologies Laboratory, 10. Egyetem str., H-8200 Veszprém, Hungary, E-mail: schanda@vision.uni-pannon.hu

Calibration of tristimulus colorimeters

Abstract: The paper deals with issues involved in calibration of tristimulus colorimeters used to the measurement of chromacity of light sources. Two examples of tristimulus colorimeters have been presented. An algorithm for adjustment and calibration at adjustment point has been described. Calibration uncertainty has been analyzed.

Keywords: correlated colour temperature, measurement uncertainty.

Tristimulus colorimetry.

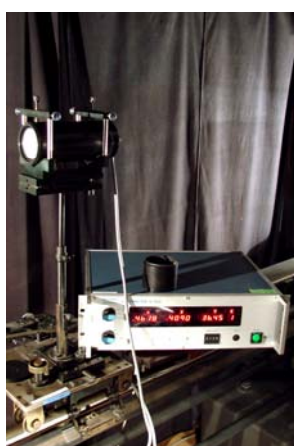
Colorimetry is a branch of light technology dealing with problems of calculation and measurements of colours. Color parameters can be determined objectively by measurements with tristimulus colorimeter, among other methods. Results of measurements of radiation emitted by a light source can be directly displayed either as tristimulus values X, Y, Z or as chromacity coordinates x, y, z. Tristimulus values can be determined mathematically from the following formulas:

$$X = k \sum_{\lambda} S(\lambda) \bar{x}(\lambda) \Delta\lambda; \quad Y = k \sum_{\lambda} S(\lambda) \bar{y}(\lambda) \Delta\lambda;$$

$$Z = k \sum_{\lambda} S(\lambda) \bar{z}(\lambda) \Delta\lambda$$

Tristimulus colorimeters to the measurement of chromacity of light sources.

The most popular colorimeters used to this kind of measurements are C series instruments by LMT and DIGI 03 model of colorimeter by SpectroColor. The a.m. colorimeters are presented below.



C 1200



DIGI 03

Process of calibration of tristimulus colorimeters.

Calibration of tristimulus colorimeters to the measurement of chromacity of light sources is conducted by the Laboratory of Photometry and Radiometry at GUM (Central Office of Measures). Reference standards are photometric standards of colour temperature and luminous intensity.

The process of calibration of a colorimeter can be divided in two stages.

In the first stage, an adjustment is made using standards of colour temperature (illuminant A - colour temperature 2856 K).

By changing of settings of potentiometers located in slotted lines of the colorimeter's operational amplifier tristimulus values X, Y, Z are being set accordingly to:

$$X = 109,85; \quad Y = 100,00; \quad Z = 35,58.$$

In the second stage, one determines measurement uncertainty at the point of adjustment of colorimeter. And if the instrument has such technical ability, one can determine a factor for value Y by luminous intensity standards. The factor enables using of the colorimeter for measurement of illuminance.

Results of the calibration are:

value of correlated colour temperature obtained by tristimulus colorimeter measurement, which can be written as a measurement equation:

$$\hat{T} = \bar{T} + \mu_K$$

and relative expanded standard uncertainty, which can be calculated from the equation:

$$u_c^2(\hat{T}) = c_1^2 u^2(\bar{T}) + c_2^2 u^2(\mu_K)$$

where: \hat{T} - estimate of true value of correlated colour temperature,

$u_c(\hat{T})$ - combined standard uncertainty of calibration of tristimulus colorimeters,

\bar{T} - value of correlated colour temperature determined by the chromacity coordinates x, y of reference standard, measured by the colorimeter,

μ_K - correction due to resolution of calibrated colorimeter,

$u(\bar{T})$, $u(\mu_K)$ - standard uncertainties,

c_1 , c_2 - sensitivity coefficients.

Summary

The calibration method presented in the paper has been used for eight years in the Laboratory of Photometry and Radiometry at GUM. During this time about sixty calibrations of different models of colorimeters have been conducted. Comparisons of metrological characteristics as well as the analysis of results before and after the

instruments' calibration have confirmed validity of proposed measurement method.

References.

[1] Felhorski W. Stanioch W. „Kolorymetria tróchromatyczna”

Wydawnictwo Naukowo-Techniczne Warszawa 1973r.

[2] Pietrzykowski J. „Ocena niepewności pomiaru barwy i chromatyczności

Główny Urząd Miar 1998r.

[3] Publ. CIE 15.3 – 2004 Colorimetry.

[4] PN-91/91E-04042/03 Pomiary promieniowania optycznego. Pomiary kolorymetryczne. Metody

wyznaczania charakterystyk widmowych i kolorymetrycznych źródeł światła.

[5] Pietrzykowski J, Sobczak N. Wzory i tabele kolorymetryczne

Author: Grzegorz Szajna, Central Office of Measures, Photometry and Radiometry Laboratory of Radiation and Influence Quantities Department, Elektoralna st. 2, 00-950 Warsaw, e-mail: radiation@gum.gov.pl;

Photometric and radiometric measurements in Photometry and Radiometry Laboratory Central Office of Measures (Poland)

Abstract: Tasks and activity of photometry and radiometry laboratory were discussed. The measuring traceability and range of international comparisons organized by EURAMET were presented.

Keywords: photometry, radiometry, basic services

Basic activities of Photometry and Radiometry Laboratory

Maintenance of luminous intensity national standard

Maintenance of luminous flux national standard

Maintenance of spectral responsivity reference standard

Maintenance of correlated colour temperature reference standard

Maintenance of gloss reference standard



Basic services of Photometry and Radiometry Laboratory

Service	Range of measuring	Calibration and Measurement Capability
Calibration of luminous intensity standards (incandescent lamps)	(5 – 3000) cd	1,5%
Calibration of luminous flux standards (incandescent lamps)	(5 – 3000) lm	1,5%
Calibration of correlated colour temperature standards (incandescent lamps)	(1900 – 3400) K	1,5%
Calibration of digital luxmeters	(10 – 1900) lx	2,0%
Calibration of photometric calibrator	100 lx (2800 – 3500) K	2,0% 1,6%
Calibration of luminance meters	(1,5 – 400) cd/m ²	3,0%
Calibration of tristimulus colorimeters for light sources	2856 K	1,6%
Calibration of spectral responsivity standards at 488 nm, 514 nm, 632 nm laser lines	(0,01 - 1) A/W	0,4%
Calibration of photoluminescent materials (luminance and luminance decay time)	(1 - 0,0003) cd/m ²	10,0%
Calibration of gloss meters	(90 - 100) GU	0,6%
Calibration of gloss standards for measurement geometry 20°/20°, 60°/60°, 85°/85°	(90 -100) GU	0,5%
Calibration of luminance standards	(1,5 - 400) cd/m ²	5,0%
Calibration of spectral responsivity standards (380 nm to 1600 nm monochromatic radiation)	(0,01 – 1) A/W	1,0%
Calibration of optical power meters (380 nm to 1600 nm monochromatic radiation)	1 μW – 2mW	0,4%

Reference standard for given physical quantity	Source of traceability
National standard of luminous intensity	PTB, Germany
National standard of luminous flux	MIKES, Finland
Radiometric standard (trap detector)	(absolute standard)
Standard of correlated colour temperature 2856 K	NPL, UK
Standard of gloss	BAM, Germany

Calibration of optical power meters (selected laser lines)	1 μ W – 2mW	5,0%
Calibration of white light and UVA meters used in non-destruction testing applications	(5 – 2000) lx (0,06 – 4,0) mW/cm ²	5,0 lx 10,0 %



Effect of Directional Reflectance in Lighting

Abstract. This article describes the influence of directional reflectance for the lighting calculations. Also compares the difference between the calculations of materials ideally diffuse and real materials. For real material applies that indicatrix of reflected light and reflecting material are not behaving as an omni directional diffusor, but under certain angles are starting to behave almost like a mirror. This contributes to an erroneous calculation of lighting, because the existing computer programs allow for real reflective materials as ideal. This error has resulted in unnecessary over-lighting certain places, and ultimately a waste of electricity.

Keywords: Directional reflectance, Lighting, BRDF, safe energy.

Introduction

Presently rising energy prices press on the reducing its consumption. If we consider that the global annual electricity consumption in 2009 was approximately 2 600 TW-h, implies even lower power consumption enough to significantly lessen the negative impact on the environment. Worldwide, approximately 19% of electricity consumed for lighting [1]. Therefore the design of high-quality illuminating system with low power consumption is more than desirable and globally, we can contribute to lower growth in electricity.

One of the steps how proposed a friendly lighting system is to comprehend the inclusion of directional reflectance of the material to the calculation. It can be assumed that such proposed lighting system will make better use component reflected from the walls, which is undoubtedly in some locations will increase the overall level of illumination. In these places, then you will not need to increase the contribution from the direct illumination component, which in turn will lead to lower electricity consumption.

Reflectance model

The main aspect of this calculation is the definition of an appropriate mathematical model of reflectance materials. Currently known computer programs operate almost always ideal diffuse reflection (Lambert's emitter), which brings the one hand, faster computation, but on the other hand, an inaccurate result of calculated surface illuminating.

Almost all mathematical descriptions of reflective materials are empirically derived relations, which have no direct relationship to the physical nature of light reflection. They are quite often used especially in computer graphics because of its simplicity.

One such relationship is called Phong's lighting model (1) Report of Vietnamese scientist Bui Tuong-Pong in 1975 [2].

$$(1) \quad \begin{aligned} I_v &= I_d + I_s \\ I_d &= I_0 \cdot r_d \cdot \cos(\Theta) \\ I_s &= I_0 \cdot r_s \cdot \cos^h(\Theta + \Theta_0) \end{aligned}$$

This relationship represents the reflected light (luminous intensity), with the components of diffuse I_d and specular reflection I_s . Where I_0 is the luminous intensity of the incident beam, r_d is a coefficient representing the measure of representation of diffuse reflectance, and r_s is a coefficient representing the measure of representation of specular reflection. Exponent h reflects the measure of variance specular reflection. Θ_0 parameter expresses the angle of incidence and reflection angle Θ beam. The

following figure shows Phong's lighting model graphically.

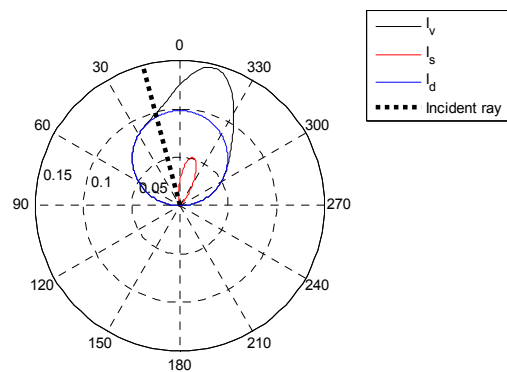


Fig.1. Phong's lighting model

This model is based on more sophisticated models. For our calculation, it was necessary to derive a model that respects bidirectional impact angle and the angle of reflection bidirectional called BRDF function. Graphical representation is shown on the figure below.

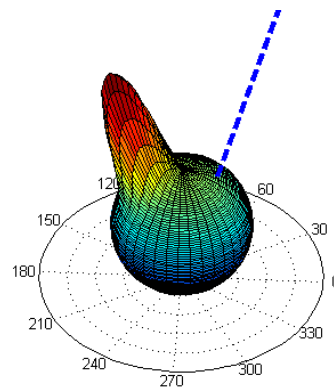


Fig.2. Phong's lighting model in 3D (BRDF)

Calculation of illuminance

When calculating the illuminance one assumes (2)

$$(2) \quad E = \frac{I}{r^2} \cdot \cos \alpha$$

where I represents the luminous intensity of the incident beam, r is the photometric distance between the luminaire and point of impact, and α is the angle of the incident beam, representing a departure from the normal correlation plane. In the first step of calculating the illuminance calculated from the direct component, and the next step is to calculate the contributions of illumination of all reflections (3)

$$(3) \quad E_{xyz} = E_{Axyz} + \sum E_{Rxyz}$$

In our case, we will consider only one reflection from the wall and of course the direct component. If we are looking for illuminance in xyz coordinates of the point, we must to sum the direct component with the reflected component, which is formed from all points of the reflective walls. If we describe reflection as the ratio of intensities of the infinitely small point, letting the errors in calculating the indirect component from the infinite number of points reflecting surface, the illuminance at point xyz grow over all bounds. That is why is necessary to include the coefficient to the calculation, (4) the coefficient is representing the ratio of the size of the elemental reflecting surfaces with the size of surfaces for which the data was acquired by directional reflectance. Than we multiply the luminous intensity of the reflected light with this coefficient.

$$(4) \quad k = \frac{S_0}{dS_R}$$

Thus we approach as close to real conditions.

Results of calculation

In our calculation, we were thinking about the correlation plane, the size of 4x4 m, 2 m over its center was located spotlights with cosine luminous intensity curve. Furthermore, on the one side was white perpendicular reflecting wall (4x2 m), which in the first case showed a directional reflection and second case reflection of purely diffusion. Directional reflection of such wall was measured in the light laboratory, and its course is shown on the screenshot below.

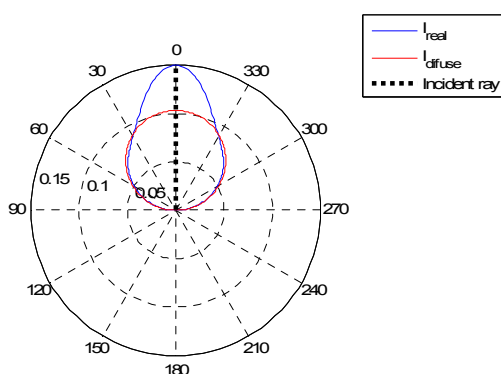


Fig.3. Directional reflectance (real) and diffuse reflectance ($\rho=0,8$; $S=0,00113m^2$)

Equivalent diffuse reflection shown in red was calculated from the real reflectance method of zonal flux. Maximum luminous intensity of the equivalent diffuse reflection will be (5)

$$I_{dif \max} = L \cdot S$$

$$L = \frac{M}{\pi}$$

$$M = \frac{\phi_{refl.}}{S}$$

$$I_{dif \max} = \frac{\Phi_{refl.}}{\pi \cdot S} \cdot S$$

$$(5) \quad I_{dif \max} = \frac{\Phi_{refl.}}{\pi}$$

So if we compare the resulting illuminance including directional reflection Fig. 4.

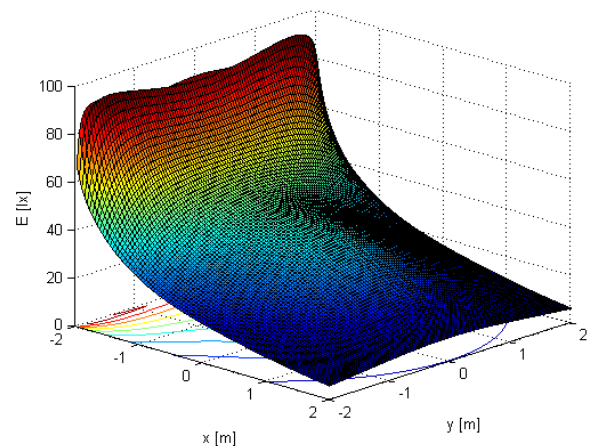


Fig.4. Illuminance including directional reflection

and illuminance including diffuse reflection spare Fig. 5

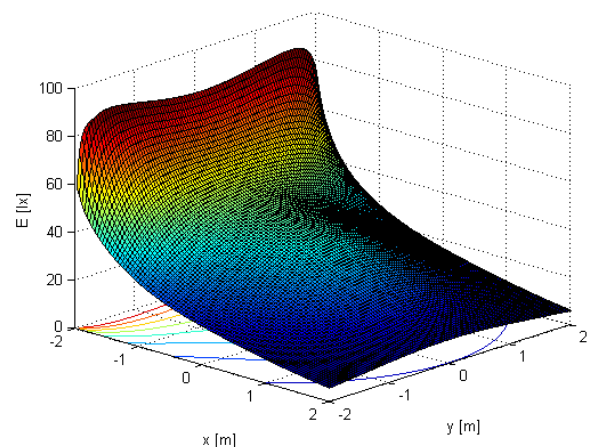


Fig.5. Illuminance including correlated diffuse reflection

we get an error due to disregard of directional reflectance of materials in accordance with (6)

$$(6) \quad \Delta E = \frac{E_{dif} - E_{real}}{E_{real}}$$

E_{dif} where illuminance comprehensive replacement and diffuse reflection and E_{real} , which is illuminance involving real directional reflection.

In the same way we compare each point on the correlation plane, we get the expression of three-dimensional errors, the result is shown in Fig.6.

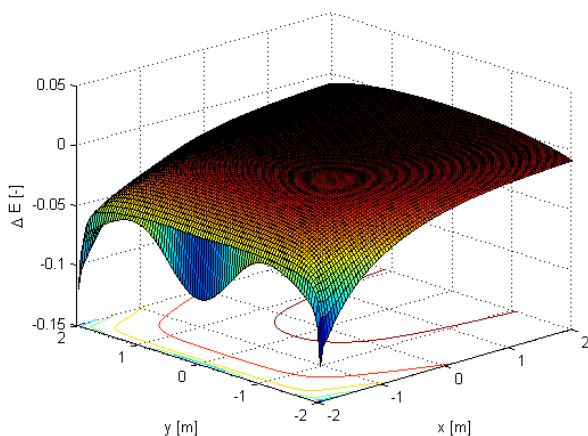


Fig.6. Absolute error of illuminance

We can see on the picture above that this problem can be achieved in our case the average error to -5%. This means that if we consider directional reflection material, no need to increase illuminance in places that previously seemed to be poorly lighted. This will ultimately lead to higher operational costs, and naturally to greater electricity consumption.

Conclusion

This article was supposed to compare the illuminance on the desktop in the calculation with respect directional reflection from the walls. In the computer programs are now

considering the reflection from the walls as purely diffusion, which introduces some error into the calculation. Today the resulting calculation can then show that some places are poorly lighted, so the designer tries to put more lighting to this place. But if we involve directional reflection, we find that places which previously seemed like poor lighting, are lighting good and other light level leads to unnecessary over-lighting and hence to unnecessary demands for electricity. The former procedure of calculation for the case of a reflection and direct components, it can be concluded that the errors inflicted, may be in this case the average of up to -5%, the peak to -13%. If we thought more than one reflection may be error of illuminance and higher.

The overall rate of errors resulting also depends on many aspects such as to consider real luminaires as a point luminaires, directional reflection from walls and so on.

If we can simulate the real parameters of all components for calculate. It is possible to calculate more precise and in some cases to reduce energy intensity lighting system.

The paper includes the solution results of the Ministry of Education, Youth and Sport research project No.: MSM 0021630516.

REFERENCES

- [1] KUBEŠ, Karel. Budova osvětlená výhradně diodami LED. *Světlo*. 2010, 1, s. 33. ISSN 1212-0812
- [2] MÁLEK, Jan, HABEL, Jiří. Model činitele odrazu světelně činných materiálů. In *Světlo 2004.*, 2004. s. 211-214. ISBN 80-238-8928-1.

Authors: FEKT VUT v Brně, Ústav elektroenergetiky, Technická 8, 616 00 Brno, www.feec.vutbr.cz/UEEN;
 Jan ŠKODA, tel: +420541149219, xskoda05@stud.feec.vutbr.cz;
 Petr BAXANT, tel: +420 5 4114 9248, baxant@feec.vutbr.cz

Dwuwymiarowa Wizualizacja Rozkładu Gęstości Powierzchniowej Współczynnika Odblasku (CIL)

Streszczenie. Pomiary gęstości powierzchniowej współczynnika odbłasku dla materiałów odblaskowych są znormalizowane i wykonywane dla ściśle określonych kątów oświetlenia i obserwacji. Natomiast rzeczywista widoczność materiałów odblaskowych zależy od rozkładów tego współczynnika w całej dwuwymiarowej przestrzeni kątów oświetlenia i obserwacji, które zmieniają się płynnie podczas obserwacji w warunkach nocnych na drodze. W artykule omówiono metodę i urządzenie służące do oceny dwuwymiarowego rozkładu współczynnika CIL w całym interesującym obszarze oraz przykłady rozkładów dla rzeczywistych materiałów odblaskowych stosowanych w praktyce.

Słowa kluczowe: materiały odblaskowe, pomiary fotometryczne, wideofotometria

Wstęp

Dynamiczny rozwój transportu drogowego jest znakiem ostatnich lat. Wraz ze wzrostem natężenia ruchu drogowego coraz większego znaczenia nabiera prawidłowa percepcja bodźców docierających do prowadzących pojazdy (dostrzeżenie obiektu, prawidłowa identyfikacja i reakcja), gdyż jest ona podstawowym elementem wpływającym na bezpieczeństwo ruchu drogowego. Ważną rolę odgrywają bodźce związane z inżynierią i organizacją ruchu drogowego mające charakter systematyczny. Najważniejsze z nich to znaki drogowe, a także pomocnicze oznakowania np. barier ochronnych czy słupków. Są to podstawowe elementy służące do przekazywania kierującą pojazdami informacją o drodze i warunkach ruchu, które nie mogą być uzyskane przez obserwację otoczenia w naturalnym rozumieniu. Ich celem jest zapewnienie bezpieczeństwa, wydajności i płynności ruchu drogowego. Stanowią one integralną część systemu organizacji ruchu drogowego. Dotyczy to głównie oznakowania pionowego w postaci znaków drogowych, ale też poziomego m.in. w postaci linii przerywanych i ciągłych, niosących informację o pasach ruchu, ich geometrii, podobnie jak znaków informujących o skierowaniu strumienia pojazdów na drogach wielopasmowych, skrzyżowaniach czy pasach włączania/ wyłączenia się z ruchu.

Znaki drogowe od wielu lat wykonywane są w przeważającej większości z materiałów odblaskowych. Skutkuje to dużo lepszą widocznością w warunkach oświetlenia drogi jedynie reflektorami pojazdu.

W warunkach od zmierzchu do świtu istotna jest też rola elementów odblaskowych, w które wyposażeni są uczestnicy ruchu drogowego. Pojazdy powinny posiadać urządzenia odblaskowe. Także piesi i rowerzyści mogą być znacznie szybciej zauważeni i rozpoznani nocy, jeżeli posiadają elementy odblaskowe. Materiały odblaskowe stosowane w ruchu drogowym wykonywane są na różnych podłożach: światła odblaskowe, folie odblaskowe, tkaniny odblaskowe. Różnią się też technologiami, które umożliwiają współdrożne odbicie światła, np. materiały wykorzystujące kulki szklane lub konstrukcje pryzmatyczne czy mikropryzmatyczne w wielu odmianach.

Wymagania normatywne

Podstawą zapewnienia odpowiedniej widoczności materiałów odblaskowych są normatywne zalecenia badawcze, które niestety jedynie w sposób bardzo uproszczony odzwierciedlają ich rzeczywistą percepcję w warunkach nocnych. Szczególnego znaczenia nabiera fakt, że wymagania te nie są całkowicie ujednoczone w pełnym zakresie wyrobów, w których wykorzystuje się materiały odblaskowe. Zawierają też klasyfikacje związane z tzw.

generacjami materiałów odblaskowych, które są bardziej odzwierciedleniem właściwości technologicznych i koncepcji produkcyjnych wiodących producentów, niż jednoznacznie i wielowymiarowo rozumianymi właściwościami współdrożnego odbicia światła.

W przypadku stosowanych obecnie wymagań normatywnych dla różnego rodzaju zastosowań materiałów odblaskowych pomiar i ocena gęstości powierzchniowej współczynnika odbłasku dokonywana jest w niewielkiej liczbie wybranych punktów, co dodatkowo sankcjonuje „generacyjne” klasyfikowanie tych materiałów.

W tabeli 1 i 2 podano przykład definiowania wymagań dla gęstości powierzchniowej współczynnika odbłasku R' w przypadku znaków drogowych [1,2]

Tabela 1. Gęstość powierzchniowa współczynnika odbłasku R' folii typu Ref1:
jednostka: $[cd \cdot lx^{-1} \cdot m^{-2}]$

Geometria pomiaru		Barwa							
α	β 1 (β 2=0)	Bia- ła	Żół- ta	Czer- wona	Zie- lona	Niebie- ska	Bra- zowa	Poma- rań- czowa	Sza- ra
12'	+5°	70	50	14,5	9	4	1	25	42
	+30°	30	22	6	3,5	1,7	0,3	10	18
	+40°	10	7	2	1,5	0,5	#	2,2	6
20'	+5°	50	35	10	7	2	0,6	20	30
	+30°	24	16	4	3	1	0,2	8	14,4
	+40°	9	6	1,8	1,2	#	#	2,2	5,4
2°	+5°	5	3	1	0,5	#	#	1,2	3
	+30°	2,5	1,5	0,5	0,3	#	#	0,5	1,5
	+40°	1,5	1,0	0,5	0,2	#	#	#	0,9
# wskazuje „Wartość większa niż zero, ale nieistotna lub nie dająca się zastosować”.									

Można zauważyć, że wymagania podawane są jedynie dla niewielkiej liczby kątów oświetlenia i obserwacji. Właściwości odbicia światła materiałów odblaskowych nie zmieniają się silnie w funkcji kąta oświetlenia β , ponieważ właściwości odbicia światła dla materiałów odblaskowych mają duże wartości dla małych kątów obserwacji α w dużym zakresie zmian kątów oświetlenia β .

Natomiast zmiany związane z kątem obserwacji α bardzo silnie zależą od konkretnego rozwiązania wykonawczego materiału odblaskowego. Wynika to z zasady działania odbicia współdrożnego. W przypadku materiałów odblaskowych regułą jest to, że ilość odbitego światła maleje ze wzrostem kąta oświetlenia i obserwacji.

Tabela 2. Gęstość powierzchniowa współczynnika odbłasku R' folii typu Ref2: jednostka: $[cd \cdot lx^{-1} \cdot m^{-2}]$

Geometria pomiaru		Barwa								
α	β_1 ($\beta_2=0$)	Bia- ła	Żół- ta	Cz- er- wo- na	Zie- lona	Cie- mno- zielona	Nie- bie- ska	Bra- zowa	Poma- rań- czowa	Sza- ra
12'	+5°	250	170	45	20	20	12	100	125	
	+30°	150	100	25	15	11	8,5	60	75	
	+40°	110	70	15	12	6	8	5,0	29	
20'	+5°	180	120	25	21	14	14	8	65	90
	+30°	100	70	14	12	11	8	5	40	50
	+40°	95	60	13	11	5	7	3	20	47
2°	+5°	5	3	1	0,5	0,5	0,2	0,2	1,5	2,5
	+30°	2,5	1,5	0,4	0,3	0,3	#	#	1	1,2
	+40°	1,5	1,0	0,3	0,2	0,2	#	#	#	0,7

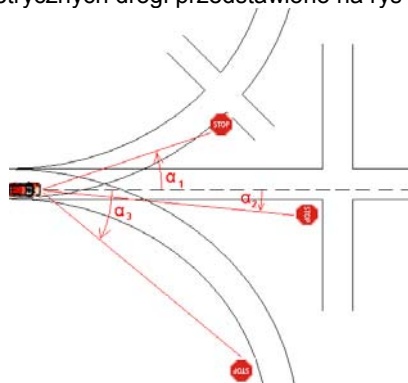
Są to jednak złożone zależności i znacząco różnią się w zależności od właściwości konkretnej folii odbłaskowej. Wiąże się to z możliwościami samej koncepcji technologicznej – np. właściwości odbicia/przepuszczania światła przez kulki szklane zmieniają się „płynnie” z krzywizną kuli i powierzchni odbijających, a charakterystyka ta jest symetryczna względem obrotu wokół osi prostopadłej do powierzchni materiału odbłaskowego (ε). Jednak zarówno wartości współczynnika odbłasku, jak i jego zmienność zależą od szczegółów technicznego wykonania materiału odbłaskowego. Natomiast w przypadku materiałów o budowie pryzmatycznej charakterystyki te będą silnie zależały od kątów ustawienia poszczególnych powierzchni odbijających światło i ich geometrycznego ułożenia. W tym przypadku nie ma żadnych ogólnych reguł, które pozawalałyby na oszacowanie rozkładu współczynnika odbłasku zarówno w funkcji kąta obserwacji i przy obrocie materiału względem osi prostopadłej do jego powierzchni.

Dla próbek, które nie są obrotowo-symetryczne, tzn. bryła odbitego strumienia świetlnego nie jest stożkiem, w praktyce dotychczasowych pomiarów należy dodatkowo ustalić wartości kąta obrotu ε próbki względem osi. Taka sytuacja ma miejsce w przypadku folii pryzmatycznych, które stanowią znaczący i stale rosnący odsetek produkowanych materiałów odbłaskowych. Dokładność ustawiania kątów β_1 , β_2 i ε przy obecnych pomiarach powinna wynosić co najmniej $0,1^\circ$. Dokładność ustawiania kąta obserwacji α powinna wynosić co najmniej $\pm 0,002^\circ$. Odległość pomiarowa (lub jej ekwiwalent optyczny) powinna wynosić od 10 do 30 m. Oznacza to, że w praktyce obserwowane wartości mogą znacząco odbiegać od zmierzonych właśnie z powodu różnic tych kątów. Odległość pomiarowa jest natomiast nierozdzielnie związana z maksymalnymi wymiarami źródła światła i głowicy pomiarowej

Ograniczenie się przy definiowaniu wymagań normatywnych do kilku wybranych wartości kątów oświetlenia i obserwacji powoduje, że w rzeczywistych warunkach drogowych widoczność obserwowanego przez kierującego obiektem odbłaskowego (znaku drogowego, pojazdu, pieszego) zwykle nie odpowiada wartościom określonym w wymaganiach dla gęstości powierzchniowej współczynnika odbłasku, nawet przy znormalizowanych wartościach natężenia oświetlenia.

Zasadnicza różnica w stosunku do warunków normatywnych wynika z odmiennych od znormalizowanych kątów oświetlenia i obserwacji, które przyjmują całe spektrum zmienności w zależności od wzajemnego

umiejscowienia obiektu i oświetlającego go pojazdu, a także usytuowania oczu kierującego względem reflektorów. Ma to związek zarówno ze zmianą odległości jak i z krzywizną drogi. Przykład dla znaku drogowego i różnych konfiguracji geometrycznych drogi przedstawiono na rys 1.



Rys.1. Zróżnicowane rozmieszczenie obiektów odbłaskowych w warunkach rzeczywistych. Kąt α na tym rysunku symbolizuje zmienność zarówno kąta oświetlenia jak i obserwacji w obu płaszczyznach – pionowej i poziomej.

Opisana powyżej problematyka stała się impulsem do próby poszukiwania możliwości szybkiego i względnie dokładnego pomiaru bądź oszacowania rozkładu gęstości powierzchniowej współczynnika odbłasku, szczególnie w funkcji kąta obserwacji i kąta wokół osi prostopadłej do powierzchni materiału (kąta obrotu próbki). Pomiaru takie są oczywiście możliwe do przeprowadzenia, przy zastosowaniu standardowej aparatury laboratoryjnej do pomiaru współczynnika odbłasku. Problem jednak polega na czasochłonności takich pomiarów, co dramatycznie ogranicza możliwość szczegółowego poznania i analizy właściwości konkretnego materiału, zwłaszcza w warunkach kontroli zgodności parametrów materiału odbłaskowego np. z deklaracją producenta czy wynikami wcześniejszych badań laboratoryjnych. Oferowane na rynku są bowiem materiały odbłaskowe, których jakość poza ew. deklaracją producenta nie może być oceniona. Np. materiały odbłaskowe wszywane w kamizelki odbłaskowe, czy rozdawane dzieciom odbłaskowe gadżety reklamowe mogą zawierać taki materiał, jaki producent aktualnie posiada. Stąd ważna jest potrzeba badania materiałów odbłaskowych w sposób szybki, wystarczająco dokładny, ale przede wszystkim odzwierciedlający właściwości materiału w całym zakresie użytkowym.

Do tego celu opracowano koncepcję i urządzenie do szybkiego badania rozkładu gęstości powierzchniowej materiału odbłaskowego wykorzystującą technikę wideofotometrii, tj. zastosowanie przetworników obrazu do rejestracji i pomiaru fotometrycznego obrazów luminancji. Technika ta jest już od wielu lat wykorzystywana do pomiarów wielkości fotometrycznych, także w wielu rozwiązaniach praktycznych opracowanych lub przez autora [3, 4, 5]. Analiza wymagań i możliwości tej techniki zawarta jest m.in. w [6].

Zasadę działania metody i urządzenia wyjaśnia rys 2.



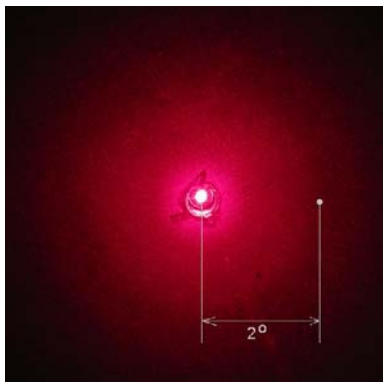
Rys.2. Urządzenie do badania rozkładu powierzchniowego współczynnika odbłasku.

Skupiona wiązka światła wysyłana z lasera pada na

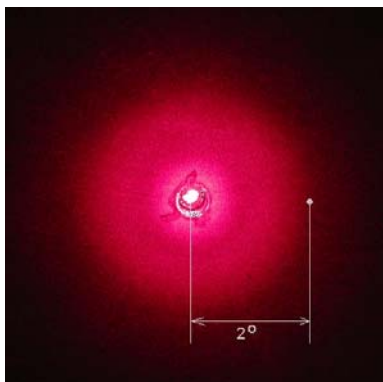
powierzchnię materiału odblaskowego, ustawionego pod odpowiednim kątem oświetlenia (β_i - zmiennym). Światło padające na próbkę odbija się współdrożnie i pada na równomiernie rozpraszający biały ekran znajdujący się po przeciwnej stronie materiału odblaskowego. Przy czym odbicie zachodzi dla całego zakresu kątów obserwacji α . Luminancja obrazu jest wprost proporcjonalna do gęstości powierzchniowej współczynnika odblasku. Obraz fotometryczny niesie więc informację o gęstości powierzchniowej współczynnika odblasku nie tylko dla płaszczyzny poziomej, ale także dla wszystkich kątów α w pionie i w poziomie. Dokładność zobrazowania zależy wyłącznie od rozdzielczości przetwornika obrazu i dla przeciętnego przetwornika można uzyskać rozdzielczość lepszą od $1'$.

Wyniki badań

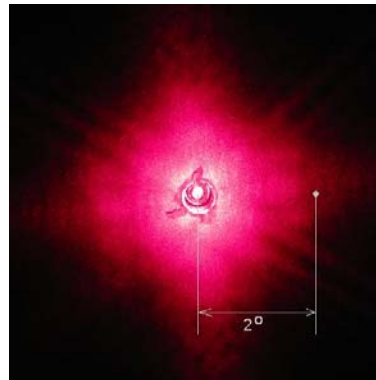
Na fot. 1 – 6 przedstawiono przykładowe wyniki badania różnych próbek materiałów odblaskowych. Pokazują one zróżnicowanie odbicia współdrożnego światła w zależności od rodzaju materiału odblaskowego. Czas ekspozycji został dostosowany do średniej jasności obrazu, stąd w niektórych przypadkach centralna, najsilniej odbijająca światło strefa wykazuje nasycenie. Bardzo wyraźnie jest natomiast widoczna zmienność w funkcji kątów obserwacji.



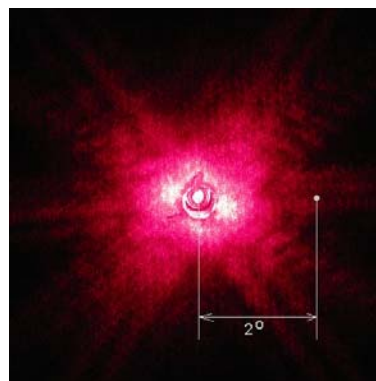
Fot.1. Materiał 1 generacji na bazie kulek szklanych – jednorodny odblask w szerokim kącie α , małe wartości współczynnika odblasku. W środku pola widoczny laser z obudową. Zaznaczono kąt obserwacji równy 2° . Czas ekspozycji $T=3,2$ s. Czas ekspozycji niesie informację o wartości bezwzględnej gęstości powierzchniowej współczynnika odblasku



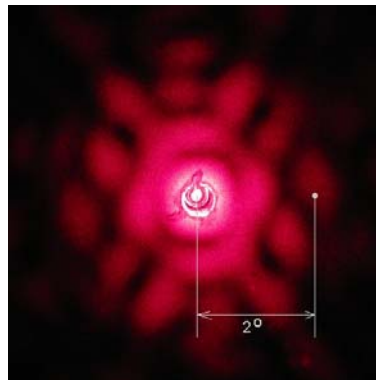
Fot.2. Materiał 2 generacji z kulkami szklanymi –stosunkowo jednorodny odblask w stosunkowo szerokim kącie α , większe wartości współczynnika odblasku w wymaganym obszarze, niejednorodności wzdłuż promienia („pierścień”). $T=2,5$ s.



Fot.3. Materiał 2 generacji, folia mikropryzmatyczna – stosunkowo jednorodny odblask, duże wartości współczynnika dla małych kątów α , szybko maleje, kwadratowy kształt bryły fotometrycznej= $1,6$ s.



Fot.4. Materiał 3 generacji, folia mikropryzmatyczna –wyraźne niejednorodności, bardzo duże wartości współczynnika odblasku dla małych kątów α , $T=1,6$ s.

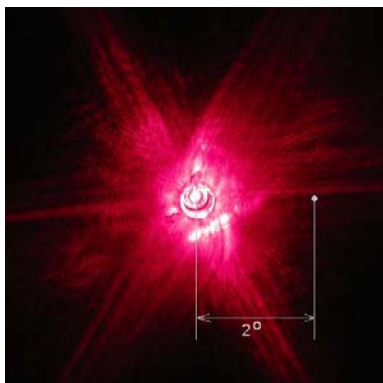


Fot.5. Materiał nieznanego pochodzenia, folia mikropryzmatyczna – wyraźne niejednorodności bryły fotometrycznej w postaci plamek, duże wartości współczynnika odblasku dla małych kątów α , wynik pomiaru metodami tradycyjnymi silnie zależny od kąta α i kąta obrotu próbki wokół osi prostopadłej do jej powierzchni. $T=1,6$ s.

Warto podkreślić, że obserwowane obrazy tylko nieznacznie zmieniały się w funkcji kąta β . Jest to oczywiste, biorąc pod uwagę technologie, w jakich wykonuje się współczesne materiały odblaskowe. Powyższe wyniki pokazują bardzo ważną zależność rozkładu gęstości powierzchniowej współczynnika odblasku od kąta α , a także od kąta obrotu próbki wokół osi prostopadłej do jej powierzchni (ϵ).

Wynika z tego, że powtarzalność wyników pomiarów dokonywanych tradycyjnymi metodami dla kątów określonych w normach będzie zadowalająca jedynie dla materiałów wykonanych na bazie kulek szklanych, a więc jedynie dla materiałów 1 i niektórych materiałów 2 generacji. Materiały te wykazują równomierność w funkcji

obrotu wokół osi prostopadłej do powierzchni próbki i monotoniczność w funkcji kąta α . (fot. 1 i fot.2)



Fot.6. Typowe urządzenie odbłaskowe pełnoprzyszmatyczne, – wyraźne niejednorodności bryły fotometrycznej w postaci plamek i smug, bardzo duże wartości współczynnika odbłasku dla małych kątów. Wynik pomiaru metodami tradycyjnymi będzie silnie zależny od kąta α i kąta obrotu próbki. $T=1,6$ s.

Podsumowanie

Opracowane urządzenie oraz wykonane badania pokazują, że dotychczasowy sposób pomiaru właściwości materiałów odbłaskowych, szczególnie dla niewielkiej liczby kątów α może nie odzwierciedlać rzeczywistych właściwości tych materiałów, szczególnie dla całego spektrum kątów występujących w warunkach drogowych.

Wraz ze zbliżaniem się pojazdu do znaku drogowego natężenie oświetlenia na powierzchni znaku rośnie z kwadratem odległości. Dlatego w rzeczywistych warunkach drogowych znajomość dwuwymiarowego rozkładu gęstości powierzchniowej współczynnika odbłasku odgrywa bardzo ważną rolę. Zarówno umiejscowienie materiału odbłaskowego, jak i zmiany kątów przy zbliżaniu się pojazdów znacząco wpływają na obserwowaną luminancję, a przez to odległość, z jakiej można zauważyć i prawidłowo rozpoznać element odbłaskowy. Wartości te mogą znacznie odbiegać od wyników badań laboratoryjnych przy ustalonych kątach. Przy czym istotne są także rozmiary elementów odbłaskowych. Dlatego taki sam materiał odbłaskowy zastosowany na małym znaku drogowym, czy elemencie odbłaskowym dla pieszego może być inaczej widoczny niż na znaku dużym przy tych samych rozmiarach

kątowych znaku. W efekcie odległość rozpoznawania może być zupełnie inna od wyznaczonej teoretycznie.

Opisane urządzenie i metoda ma charakter modelowy – prototypowy. W przypadku zastosowania lasera, jako źródła światła istotny jest fakt, że pomiary dokonane taką metodą wymagają kalibracji dla każdej próbki, ponieważ widmo światła lasera jest monochromatyczne. Jednak pomiar tylko jednego punktu dla małego kąta obserwacji metodą tradycyjną będzie w takim przypadku wystarczającym odniesieniem.

Przewiduje się rozwój urządzenia z wykorzystaniem skolimowanego źródła światła białego w celu bezpośredniego pomiaru gęstości powierzchniowej współczynnika odbłasku przy wykorzystaniu opracowanej metody.

LITERATURA

- [1] Projekt badawczy KBN 9 T12C 035 12. *Opracowanie metody badania rozsyłu światła reflektorów z wykorzystaniem komputerowej analizy obrazu uzyskanego przy pomocy przetworników wizyjnych.*
- [2] Targosiński T. rozprawa doktorska. *Metoda oceny reflektorów pojazdów przy użyciu analizatorów obrazu.* Białystok 2000
- [3] Projekt badawczy KBN nr 9T12C 017 19. Podstawy teoretyczne i koncepcja techniczna nowatorskiego systemu kompleksowej diagnostyki oświetlenia pojazdów samochodowych
- [4] Targosiński T., rozprawa doktorska. *Metoda oceny reflektorów pojazdów przy użyciu analizatorów obrazu.* Białystok 2000
- [5] Projekt badawczy KBN nr 9T12C 017 19. *Podstawy teoretyczne i koncepcja techniczna nowatorskiego systemu kompleksowej diagnostyki oświetlenia pojazdów samochodowych*
- [6] Rafałowski M., *Scalone analizatory obrazu w pomiarach techniki świetlnej i ocenie kształtu obiektów,* Białystok 2004

Autor: dr inż. Tomasz Targosiński
Instytut Transportu Samochodowego
Centrum Bezpieczeństwa Ruchu Drogowego
ul. Jagiellońska 80
03-301 Warszawa
e-mail tomasz.targosinski@its.waw.pl

Development of Ceramic Metal Halide Lamps with Ultra Lumen Maintenance and Reliability

Introduction

Lighting today is considered as a simple service in our every day's life. The increasing cost of the energy and of the maintenance, the need for environmentally friendly systems, the demand for reduction of energy usage, and hence the emission of greenhouse gases, makes the continues development of the existing and future light sources necessary. During these developments the light source manufacturers have to leverage the up-to-date materials and up-to-date material characterization methods as well as have to rely on widespread knowledge of the physical and chemical phenomena takes place during the operation of the lamp. The paper describes an investigation using such a method to reveal the early stages of the phenomena responsible for the lumen loss of Ceramic Metal Halide (CMH) lamps.

Lumen Maintenance of the Ceramic Metal Halide Lamps

High Intensity Discharge lamps (HID) play a major role in today's lighting. The two major families: the High Pressure Sodium (HPS) lamp and the Ceramic Metal Halide (CMH) lamp provide a wide range of luminous efficacy (up to 150 lumen/watt, HPS) or excellent colour rendering index (Ra=90+, CMH). The former offers a very efficient lighting with acceptable colour, hence used mainly in public lighting, road lighting or industrial lighting. The latter offers excellent colour and application areas are decorative lighting of buildings, shops, offices both in exterior as well as interior applications.

Luminous flux decrease of Ceramic Metal Halide Lamps

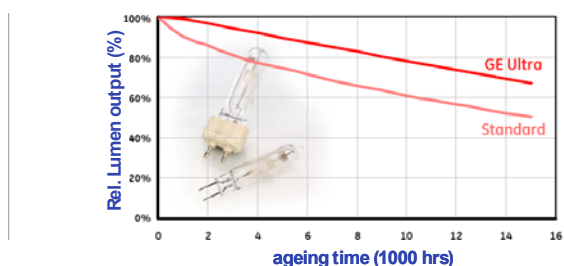


Figure 1. Decrease of the light output of a Standard and Improved lumen maintenance (Ultra) Ceramic Metal Halide (CMH) lamp.

Decrease of the lumen output of the quartz or ceramic metal halide lamps (QMH or CMH) over their life is a well-known phenomenon, see for instance the standard product in Figure 1. As a comparison, Figure 1 also shows a recently developed CMH lamp with improved lumen maintenance. The reason for the lumen loss is similar to the incandescent lamps: tungsten evaporated from the hot electrode tip condensate on the arc tube wall and forms a blackened layer. The tungsten particles formed on the arc tube surface block the light of the arc [1]. In the case of the

tungsten-halogenide lamps adding halide compounds to the lamp significant reduction of the lumen loss during the lifetime can be achieved. It was shown, that oxygen is also needed for the reaction. Similarly to this, in the case of Ceramic Metal Halide Lamps ensuring an appropriate oxygen pressure exists in the arc, the tungsten can be transported back to the electrode enabling superior lumen maintenance during lifetime [2], [3].

Surface Investigation methods

At the very early stage of the lamplife the tungsten layer starts to form on a clean alumina surface. The surface at this stage is covered by sub-micron sized tungsten particles. To be able to analyze it a technique must be found which is capable to see these topmost few atomic layers, and not the bulk alumina carrier below it. Based on these, Secondary Ion Mass Spectroscopy (SIMS) with very good depth sensitivity (2-5 monolayers) and elemental sensitivity (up to 1 ppm) [4] has been chosen. In this case the surface is bombarded with fast ions which kicks off the atoms sitting on the surface of the specimen. These kicked off particles are counted by a mass spectrometer and the composition of the surface can be measured. Beside the chemical composition of the surface, information about the chemical state of the elements on the surface (i.e. oxidized or metal) is required. The X-ray photoelectron spectroscopy method irradiates the surface with X-ray, and the energy distribution of the ejected electrons are analyzed. The energy of a certain electron is characteristic to the atom it was released from, and also has information on the chemical environment of it [5].

Results

As an example, Figure 2 shows a typical SIMS from the inner surface of a CMH lamp in an early phase (100 hrs) of the ageing. Even at this early stage the tungsten particles – both in metallic as well as oxidized form were detected beside the actual dose elements of the lamp. The presentation will describe the wall cleaning cycle and the investigation methods applied in detail.

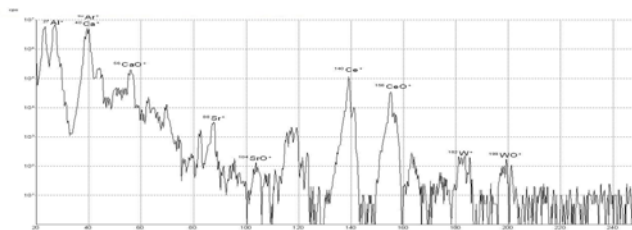


Figure 2. SIMS spectrum of the inner surface of a 100 hrs aged lamp.

References:

- [1] W. van Erk, Pure Appl. Chem, vol. 22, no. 11 (2000), 2159
- [2] J. Tu et al, Proc. of 11th Int. Symp. of the Sci. and Techn. of Light Sources, Shanghai, 2007, 35
- [3] J. He, Z. Toth, T. Russell, US Patent Application 2009/0146570 A1
- [4] A. Benninghoven et al, Secondary Ion Mass spectrometry, Wiley-Interscience, New York, 1987
- [5] C. D. Wagner, W. M. Riggs, L. E. Davis, and J. F. Moulder (G. E. Muilenberg, editor): Handbook of X-ray Photoelectron Spectroscopy 1st ed., Perkin-Elmer Corporation (Physical Electronics), 1979

Circadian rhythm and LED lighting

Abstract. RGB LEDs have been selected that produce reasonable colour rendering and can be easily tailored to produce low and high circadian effectiveness. With proper selection one can use the same green and red LEDs, changing only the blue LED (selecting a LED with proper maximal wavelength energy) one can produce warm-white light colour with low or high circadian effectiveness.

Keywords: RGB-LEDs, circadian effect, colour rendering.

Introduction

Biologists, medical doctors and lighting engineers deal for some decades with the question what the influence of light on the daily rhythm of human life is. Since the introduction of electrical lighting the problem of the non-visual effects of this lighting interests mankind. As long as only incandescent lamps were used for general lighting their infrared radiation was of main concern, since the introduction of more modern light sources, also the ultraviolet radiation has to be considered. Since the fourth type of light sensitive cells, the intrinsically light sensitive ganglion cells (LSG) of the retina have been found, many papers discuss their function and influence on human behaviour. First investigations have showed that the spectral responsivity of the LSG cells peaks in the blue-green part of the spectrum^{1,2}. Papers, published later, disagree whether a second, longer wavelength band has an inhibition effect on the melatonin suppression or not^{3,4}.

There is also global concern whether artificial lighting has to provide a spatially and temporally constant illumination on the working plane, or a dynamic change in illumination and correlated colour temperature – similarly to natural light – is more preferred⁵.

At the this years CIE Conference in Vienna almost two dozen papers dealt with the daily rhythm of human life, with the circadian rhythm and the suppression of melatonin secretion by light. As well known the secretion of melatonin into the blood system is suppressed by short wavelength visible light irradiation. The presence of melatonin in the blood suppresses activity – one feels sleepy. If during forenoon the natural light is full of blue light, one feels alert, in the evening the reddish sunset lighting helps to relax, as it does not hinder the melatonin secretion anymore. Some lighting engineers thought to use this phenomenon to keep the working force alert, and provide at the workplace high correlated colour temperature (CCT) – bluish white – light during after lunch hours, when people get usually more tired. Based on possible other advantages of dynamic lighting one could see recommendations of light sources where the CCT changed between 3000 K and 14 000 K. But – according to Kruihof⁶ – to make a 14 000 K lighting agreeable, one would need extremely high illuminance levels, and this is certainly not economic.

The visual impression of the lit scene is certainly disagreeable if with conventional light levels one would produce CCTs of above 10 000 K. Some interesting experiments of this kind were carried out in Ilmenau⁷. If one adapted first to a surrounding illuminated by 3000 K CCT light sources, and asked the observer to adjust at different illuminance levels the most agreeable CCT, then – in case of the generally used 300 lx to 1000 lx illumination levels –

observers set a CCT of 4000 K. This was the preferred CCT. If, however, the observers were first adapted to a 8000 K lighting (corresponding roughly to daylight), then they decreased the CCT of the illumination only to 6000 K. Thus one should look for a solution to be able to change the melatonin suppression activity of the lighting, but not use CCTs of 10 000 K or above.

In our study we investigated how one can prepare light of different circadian activity but with unchanged CCT by using LEDs of different dominant wavelengths.

Calculations

In our calculations we used the circadian responsivity function as recommended by Gall⁸, and depicted in Figure 1, thus the eventual influence of longer wavelength radiation was not considered. We hope to deal with this in a subsequent paper.

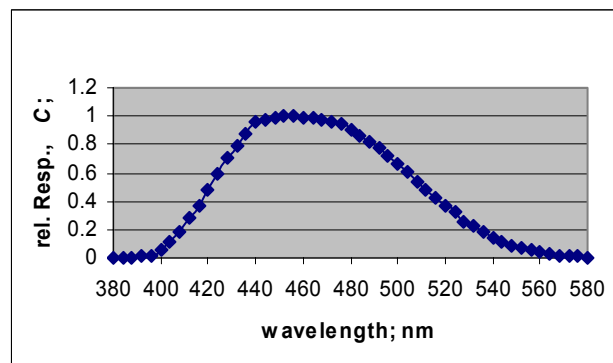


Fig.1: Circadian action spectrum according to Gall⁸.

We selected a high number of coloured LEDs and taking always one blue, one green and one red LED adjusted the spectral power distribution of the LEDs to get a lamp spectrum with approximately 2860 K colour temperature (as we could start from three LEDs we could get a chromaticity on the Planckian curve, thus not CCT, but CT could be set). For these RGB LED combinations the general colour rendering index (R_a) and the circadian effectiveness (C), normalized to the luminous flux (Φ) of the “lamp” was determined. For the investigations 19 real LED spectra were used, the maximum emission of which lay between 450 nm and 660 nm. Figure 2 shows the relative spectral power distribution (SPD) of those LEDs with which we were able to prepare well functioning RGB combinations. These LEDs gave combinations where the colour rendering and the circadian effectiveness were reasonable.

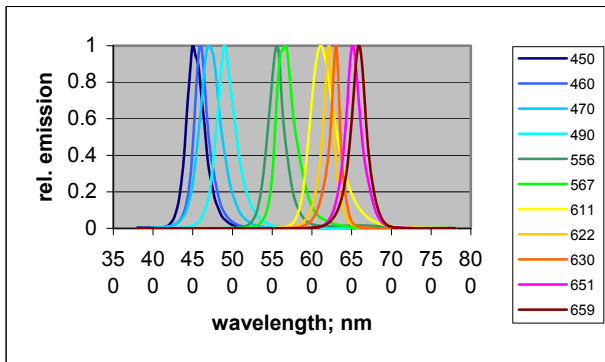


Fig.2 Emission spectra of those LEDs that gave a positive result of the calculations.

Boundary conditions

- For indoor application the CCT of the illumination should be warm white or neutral, we have selected the 2860 K CCT for this experiment.
- Only in indoor applications is it worth to investigate the circadian effectiveness, thus LED combinations were used where R_a was above 50.
- Melatonin secretion will occur when the circadian effectiveness of the light is low. Therefore we were selecting such spectra into one group where the circadian effectiveness normalized to the luminous flux of the radiation, C/Φ was below 4. The lowest C/Φ value we found was 3.44, the normalized effectiveness of an incandescent lamp is about 5.5.
- To get high melatonin suppression the normalized circadian effectiveness should be high. We found RGB LED combinations where this value was 11.9, but with a low CRI. The criterion for selecting the LEDs was that the C/Φ value should be above 7.

Computation details

Input quantities

- Spectra of LEDs: $S_{xxx}(\lambda)$, where xxx denotes the wavelength of maximum emission; as a general description we use in the following for the red LEDs: $S_R(\lambda)$, for the green ones: LED: $S_G(\lambda)$, and for the blue ones LED: $S_B(\lambda)$
- As action spectrum for the melatonin suppression we used the spectrum published by Gall⁸ : $c(\lambda)$.
- The spectral luminous efficiency spectrum is $V(\lambda)$
- The CIE 2° colour matching functions ($\bar{x}(\lambda)$, $\bar{y}(\lambda)$, $\bar{z}(\lambda)$) were used to calculate the chromaticity of the additive mixture of the red, green and blue LED spectra, taken in proper proportions.
- The CIE colour rendering index calculation method⁹ was used to determine the R_a value.

The light of the single red, green and blue LEDs was additively mixed:

$$S(\lambda) = k_R S_R(\lambda) + k_G S_G(\lambda) + k_B S_B(\lambda)$$

and the necessary proportions k_R , k_G , k_B to get a CCT of 2860 K determined using Excel's Solver program.

$$\text{The circadian effect } C = \int_{380\text{nm}}^{780\text{nm}} S(\lambda)c(\lambda)d\lambda,$$

$$\text{and the luminous flux } \Phi = 683 \int_{380\text{nm}}^{780\text{nm}} S(\lambda)V(\lambda)d\lambda$$

have been determined. From these the normalized circadian effectiveness C/Φ could be calculated (in the following in some cases to avoid the printing of Greek characters the C/F_i abbreviation will be used).

To determine the k_R , k_G , k_B constants the minimum of the chromaticity difference in the CIE UCS uniform chromaticity scale diagram was calculated:

$$\Delta(u,v) = [(u_S - u_A)^2 + (v_S - v_A)^2]^{1/2} = \min,$$

where u_S, v_S are the chromaticity co-ordinates of CIE Standard Illuminant A.

The same reference was used to determine the R_a general colour rendering index.

Results

Only with a few RGB LED combinations one can reach the $R_a > 80$ value recommended for interior lighting, and in such cases the melatonin suppression efficiency is not optimal. For low melatonin suppression, however, one can design such spectra. Figure 3 shows as a function of the blue LED emission maxima the R_a values of some RGB LED combinations (the numbers after the G, R letter refer to the wavelengths of the emission maxima). The R_a value of 100 for the incandescent lamp is also shown as reference. Figure 4 shows the circadian effectiveness for similar parameters.

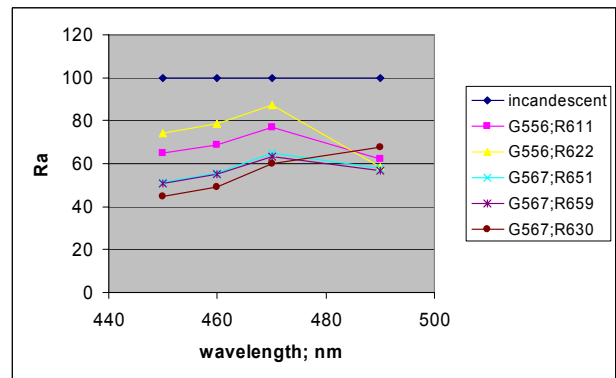


Fig 1: The change of the general colour rendering index for different RGB LED combinations as a function of the blue LED's emission maximum's wavelength.

As can be seen, for the same red and green LEDs, by changing the blue LED one gets different CRI values. Thus e.g. using the G556 and the R622 LEDs together with the B450 LED, R_a is only 74. But if the B470 LED is chosen then for the same TCC of 2860 K the R_a will be 87.5. For a blue LED with 490 nm of maximal emission R_a decreases to 58.4. The normalised circadian effectiveness increases for these three combinations from 3.8 to 8.01. Other R_a and C/Φ values can be read from the graphs.

Figure 4 shows also that the C/Φ values depend practically only on the blue LED, and for B470 one is already below the value of that of an incandescent lamp ($C/\Phi < 5.49$). Using blue LEDs of shorter wavelength the circadian suppression effectiveness increases, but the CRI decreases rapidly.

From above elaboration one can conclude that circadian effectiveness of RGB LED combinations can be changed keeping the CCT of the combination constant by simply changing only the blue component with unchanged red and green components. Only the currents of the three LED groups has to be changed. Before such experiments are performed in practice, one has to consider, however, also

the increased cancer risk produced by suppressing the melatonin secretion for longer time^{10,11}.

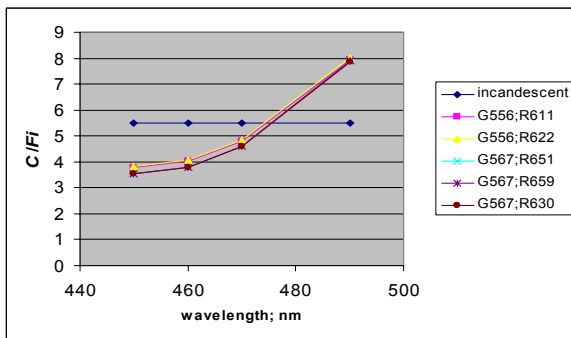


Fig. 2: The change of the circadian effectiveness for different RGB LED combinations as a function of the blue LED's emission maximum's wavelength.

Summary

We have built red-green-blue LED combinations of equal CCT of 2860 K. We have investigated how the CRI and the circadian effectiveness of the LED combinations changes if the individual red, green and blue LEDs are changed (selecting LEDs with different wavelength of emission maxima). For evening application, i.e. when the melatonin secretion is not hindered, and thus relaxation is promoted, one can use the following combination of LEDs: B470, G556, R622. These can be set to have the same CCT as an incandescent lamp with good CRI and a circadian effectiveness lower than that of the incandescent lamp. If the same green and red LEDs are used together with a blue LED with emission maximum at 490 nm (B490) one can get a circadian effectiveness above 8 by keeping the CCT of the light constant, but the CRI will drop to 58.4, still an acceptable value for some applications.

Further studies are needed to test more complicated LED structures, taking also the possible non-additivity of longer wavelength radiation into account. Possibly a smaller change in CCT between daytime and evening illumination (from 4000 K to 2700 K) could increase the circadian effectiveness without getting an unacceptably cool impression of the light. Such investigations are under way.

REFERENCES

- Brainard GC, Hanifin JP, Greeson JM, Byrne B, Glickman G, Gerner E, Rollag MD: Action spectrum for melatonin regulation in humans: evidence for a novel circadian photoreceptor. *J Neurosci* 2001, **21**:6405-12.
- Thapan K, Arendt J, Skene DJ: An action spectrum for melatonin suppression: evidence for a novel non-rod, non-cone photoreceptor system in humans. *J Physiol.* 2001, 535:261-7.
- Figuerio MG; Bullough JD; Parsons RH; Rea MS: Preliminary evidence for spectral opponency in the suppression of melatonin by light in humans. *Neuroreport*, **15**, No2, 2004.Feb.9, pp.313-316.
- Mawad K, Van Gelder RN: Absence of Long-Wavelength Photopic Potentiation of Murine Intrinsically Photosensitive Retinal Ganglion Cell Firing In Vitro. *J. Biol. Rhythms* **23**/5 387-391 2008.
- A. Majoros: Effects of dynamic lighting Proceedings *The 9th European Lighting Conference 2001* Reykjavik p.213.
- Kruithof, Arie Andries (1941). "Tubular Luminescence Lamps for General Illumination". *Philips Technical Review* **6** (3): 65–96.

- K. Bieske – C. Schierz: Dynamic Lighting – perception of luminous color variations *Proc. CIE 2010 "Lighting Quality and Energy Efficiency"* CIE **x035**:2010.
- D. Gall: Grundlagen der Lichttechnik, Kompendium. Licht und Beleuchtung Pflaum 2004.
- CIE: Method of Measuring and Specifying Colour Rendering of Light Sources 3rd ed. (including CD-ROM CD008) *CIE Techn. Report* **13.3**-1995.
- B.T. Martau et al: Lighting and health: case study in retail stores CIE **x35**:2010 pp. 234-246.
- Y. Koga, T. Iwata N. Ide: An approach to evidence-based design of the luminous environment in hospitals – Surveys on nurses' work and sleep. CIE **x35**:2010 pp. 217- 222.

Authors

Dr. Ágnes Vidovszky, National Transport Authority, Teréz krt. 38. Budapest Hungary E-mail: nemethne.vidovszky.agnes@nkh.gov.hu
 Dr. János Schanda, professor emeritus, University of Pannonia, Egyetem u. 10. Veszprém Hungary. E-mail: schanda@vision.vein.hu

Indoor optical free space networks – reflectivity of light on building materials

Abstract. Over the past decade rapid development happened in the field of communication technologies based on optical fibers. Over the past decade rapid development happened in the field of communication technologies based on an optical fibers. These technologies become dominant in the field of the last mile networks as well (WDM-PON, GePON, EPON, etc.). As an alternative to the last mile networks can be considered the so-called free space optical networks (FSO). Currently, diffusion systems make an interesting concept into the future. They use secondary sources - building materials inside the room. Therefore it is necessary to pay attention to an issue of the light reflectivity on building materials.

Keywords: Diffusion system, directional characteristic, polarization.

Introduction

A luminous flux, which is emitted from the light source, impinges directly into the receiver or is reflected into the receiver from the surfaces of walls, floors, ceilings (in cause a room). The most of light active surfaces around us fall into a group of secondary light sources. The secondary sources reflect the light that fell on them from the other light sources. This reflection is caused by interactions between the incident light beam and the surface of light active material. It is important to note that the wavelength of reflected light is dependent on the incident wavelength, angle of incidence and type of material - roughness of the light active material and its electrical properties such as permittivity and conductivity.

The architecture of indirectly oriented systems NLOS (Non Line of Sight) is inherently based on the use of reflections of optical beam from walls and internal equipment (general building materials). In conjunction with the optical free space system it is called a diffusion system very often. The reason is the use of optical wide-angle resources. Nowadays, it is beginning to establish multi-point and quasi-diffusion systems, which are based on the basic diffusion system, but there is used a cellular technology with the partition of microcells.

Indoor optical free space network – diffusion systems

In classical diffusion networks [1] the base station is placed on a level of table (cabinet or shelf) and the optical transmitter is directed to the ceiling of the room (Fig. 1). The optical transmitter has usually a radiation pattern as Lambert radiation source, which allows the lighting around the room ceiling and part of walls. In effect, this distribution means that the optical signal is scattered around the room and by the help of one or more reflections it reaches the optical receiver (terminal). Therefore it is not required any direction and any line of sight to the receiver, but an enormous amount of transmission paths leads to signal distortion and may cause the intersymbol interference.

The other issue is power efficiency [2]. Generally, the scattered configuration is characterized by high losses in the signal path. Therefore it has to be applied an optical receivers with large effective collecting area and wide FOV (Field of View). Above mentioned aspects, the loss of signal and the multipath propagation (intersymbol interference), are limiting the achievable bit rates of tens $\text{Mbit}\cdot\text{s}^{-1}$. On the other hand, NLOS system can be easily overshadowed by the barrier, the diffusion system is more resistant due to its distribution of optical signal.

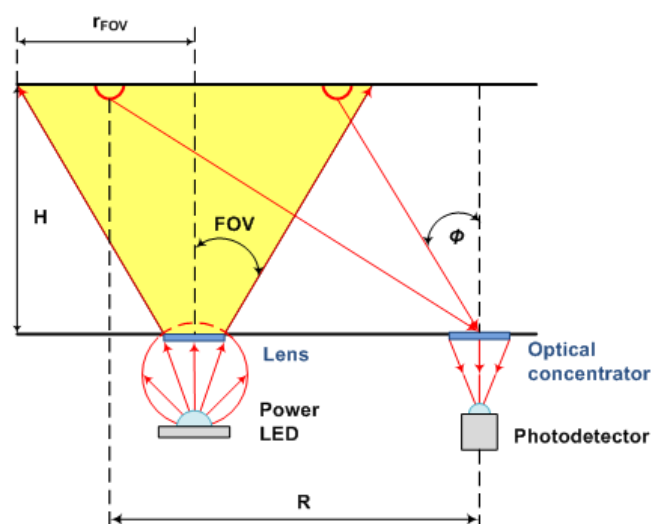


Fig. 1: Indoor FSO – diffusion system with Power LED

Incidence and reflection on building material surfaces

The optical properties of materials are especially important for the design and construction of light active parts of different devices. It has to be considered the possibility of directing the flux, its variance and eventually the restrictions of brightness in different directions, while the highest possible efficiency is achieved. In indoor FSO there are not only used the direct beams from the optical transmitter, but also the reflected beams from different material surfaces [3]. The surfaces may have a reflecting character as directional diffuse, diffuse or a combination of both (Fig. 2).

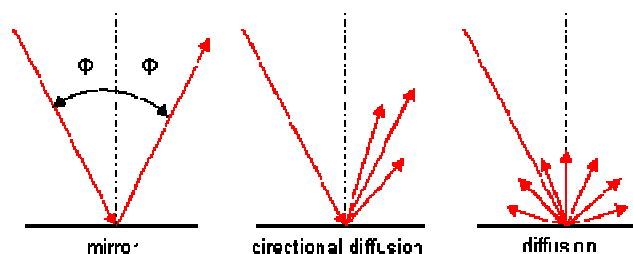


Fig. 2. Type of reflections on building material surface

The luminous flux Φ , which incidents on the considered matter, is generally divided into three parts, namely a Φ_p , which is reflected, in part Φ_r , which passes through a matter and in part Φ_a , which a matter absorbs. An outer limits correspond to absolute black body ($\alpha = 1$), absolute white

body ($\rho = 1$) and absolute transparent body ($\tau = 1$). For non-transparent materials $\alpha + \tau = 1$ [4].

Luminous flux Φ is determined by equation (4):

$$(4) \quad \Phi = K_m \int_{380nm}^{720nm} p(\lambda)V(\lambda)d\lambda,$$

where: $p(\lambda)$ – power spectral density of radiation, K_m – maximal value of spectral light efficiency with wavelength at $\lambda_m = 555 \text{ nm}$ (683 lm.W^{-1}), $V(\lambda)$ – relative spectral light efficiency of radiation with wavelength λ ($K(\lambda)/K_m$).

Directional characteristics of building materials

Directional characteristics connect points of the same intensity of power in space. It is determined as the dependence of optical power source of radiation on the active area of the receiver. It is shown as the dependence of light intensity on the direction angles from the central source. It is discriminated between the directional characteristics of the near and far fields. Directional characteristics of the near field affect a distribution of the radiation intensity on the source area. Directional characteristics of far field show the directional characteristics of emission. A block diagram of measuring system is shown in fig. 3.

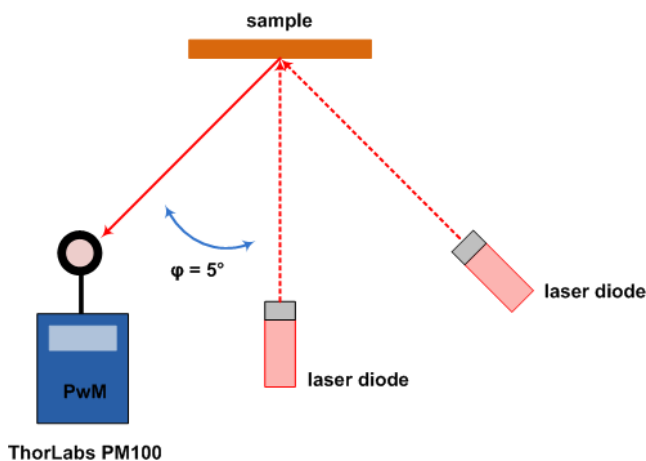


Fig. 3. Block diagram of measuring system of directional characteristics

The laser diode is connected to ThorLabs LDC 202 (Laser Diode Controller) and ThorLabs TED200 (Temperature Controller) for setting a constant optical output of 100 nW. The reflected optical beam (optical power 100 nW) of the sample is measured at different distances from the laser diode with an angle of rotation $\varphi = 5^\circ$. Experiment measurement is performed in range $0 - 180^\circ$. The position of the laser diode was 90° and 45° (see Fig. 3) at wavelengths of 650 nm and 850 nm.

For the experimental measurement of the directional characteristics of building materials, two groups of samples have been created. The first group consists of coatings (hereafter NH) which was two-times applied to the plaster. The coatings are formed predominantly by samples from companies Primalex NH and Het. NH samples are in different shades. Colours were selected on the basis of the most common use in the interiors of the rooms, so that the measurements are closer to the reality (Fig. 4, Table 1). The second group consists of samples of tiling, building and structural materials. By selection of samples was

emphasized the typical representatives of materials used in the interiors (Fig. 5, Table 2.).

Examples of the measured values of directional characteristics are shown in fig. 6 and 7. In this case, the samples were selected a whitewood no. 13 (natural colour) and HEAT CLASSIC no. 6. The measured values of the sample no. 13 exhibit that the directional characteristic is combined (diffuse and directional diffuse) and in the case of sample no. 6 directional characteristic is diffuse.



Fig. 4. The samples of coatings

Table 1. The description of samples of coatings

1	ROKO – INTERIER SUPER RK 400
2	HET KLASIK COLOR
3	PRIMALEX PLUS
4	PRIMALEX BONUS
5	HETLINE
6	HET KLASIK
7	PRIMALEX STANDARD (tinting)
8	EXIN EKO
9	Paste for tinting
10	PRIMALEX STANDARD

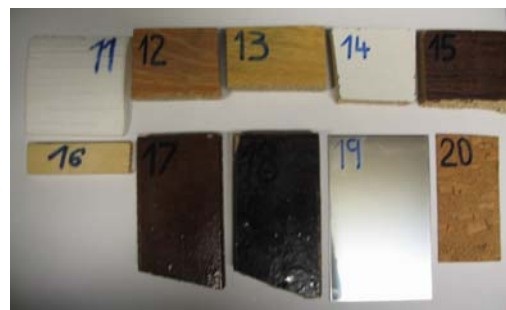


Fig. 5. The samples of building and tiling materials

Table 2. Building and tiling materials

11	POLYSTYREN
12	wooden board (light brown)
13	wooden board (ochre)
14	wooden board (white)

15	wooden board (dark brown)
16	spruce wood
17	clinker glossy (light brown)
18	clinker glossy (dark brown)
19	steel
20	cork

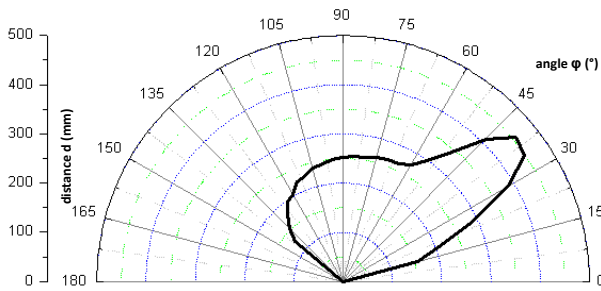


Fig. 6. Directional characteristic of sample no. 13, wavelength 650 nm, direction of laser diode 90°

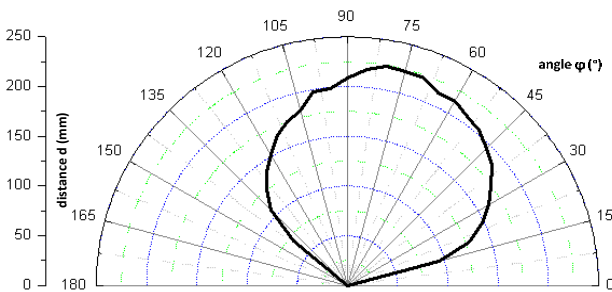


Fig. 7. Directional characteristic of sample no. 6, wavelength 650 nm, direction of laser diode 90°

The measured directional characteristics show a noticeable difference when using wavelength of 650 nm and 850 nm. When using larger wavelengths reflected optical radiation is able to cover a larger area and also achieves higher performance (Fig. 8).

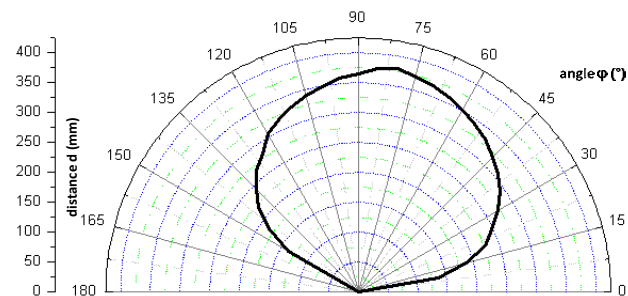


Fig. 8 Directional characteristic of sample no. 6, wavelength 850 nm, direction of laser diode 90°

Therefore it is evident that for diffusion systems in indoor FSO it is preferable to operate at higher wavelengths (infrared region).

Variance of reflectivity of building materials in dependence on polarization of light

Light is an electromagnetic wave and as such it has two components: the electrical component, which represents the vector of electric field intensity E and magnetic, which consists of a vector of magnetic induction B . The both components are perpendicular together and in addition they

are both perpendicular to the direction of propagation of light. For the experimental measurement of the variance of the reflectivity in dependence on the polarization state of light was used a block diagram on Fig. 9.

A polarizer was placed before the laser diode, whereby it is possible to polarize the nonpolarized light falling on the polarizer from a laser diode. Angle of polarization was $\varphi = 30^\circ$. Another steps are consistent with the procedure of the spectral characteristics measurement, respectively by the help of an optical detector the reflected light is coupled at first by semipermeable glass and then by the measured sample into fiber. The fiber is connected with the Ocean Optics USB4000 spectrometer. Examples of measured values at the wavelength of 650 nm and 850 nm are shown in fig. 10 and 11 for the sample no. 6.

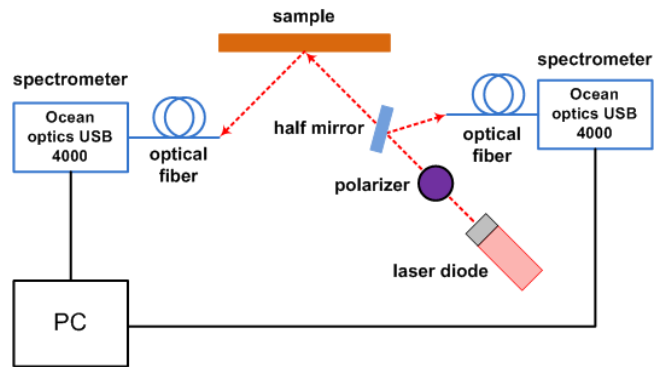


Fig. 9. Block diagram of experimental measurement of variance of reflectivity of building materials in dependence on polarization of light

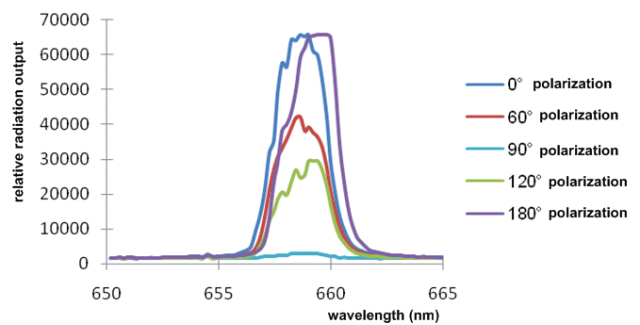


Fig. 10. Spectral characteristics in dependence on polarization of light of sample no. 6, wavelength 650 nm, direction of laser diode 45°

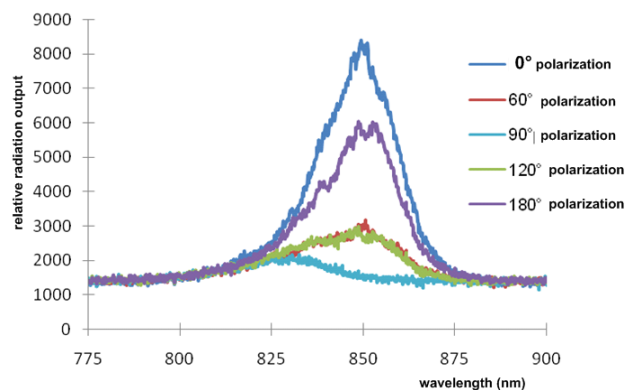


Fig. 11. Spectral characteristics in dependence on polarization of light of sample no. 6, wavelength 850 nm, direction of laser diode 45°

Measurement values of the sample no. 6 at wavelengths of 650 nm and 850 nm confirm that the polarized light has not any influence on the change of the spectrum after the reflection on the measured material. In dependence on the polarization changes only the value of the radiation power.

Conclusion

The diffusion systems are an alternative to the NLOS in indoor FSO. These systems are able to cover a larger area than NLOS. In experimental systems there was considered a primary source of radiation which can cover the whole room through a secondary sources of radiation (building materials inside the room). When using diffusion systems in indoor FSO it has to be paid attention to the building materials. The measured directional characteristics of building materials have confirmed the assumptions that matt surfaces have diffuse or directional diffuse character of the reflection - the typical example of the diffuse reflectivity is the sample no. 10 (PRIMALEX STANDARD). On the other hand, shiny, polished and glazed surfaces have a directional, almost mirror reflection - the typical example of the mirror reflection is the sample no. 18. The other finding was the influence of wavelength on the directional characteristics of building materials. It appears that the higher wavelengths are more suitable for diffusion systems, especially in the infrared region. The experimental measurements did not demonstrate (at wavelengths of 650 nm and 850 nm), that the polarization of light can affect the radiation spectrum. It changed only the value of the emitted power of secondary source, but this value is based on the principle of polarization.

Acknowledgement

This paper and research has been supported by the Czech Science Foundation GA 102/09/0550, GA 102/09/1986 and BI454 9951, SP/2010185, Cesnet no.337/2009.

REFERENCES

- [1] BARRY, John R.; KAHN, Joseph M. Wireless Infrared Communications. *Proceedings of the IEEE* [online]. 1997, 85, [cit. 2010-04-24]. Available from WWW: <<http://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=554222>>. ISSN 0018-9219.
- [2] JIVKOVA, Svetlana ; KAVEHRAD, Mohsen. Transceiver Design Concept for Cellular and Multispot Diffusing Regimes of Transmission. *EURASIP Journal on Wireless Communications and Networking* [online]. 2005, 2005, [cit. 2010-04-24]. Available from WWW: <<http://ictr.ee.psu.edu/facstaff/kavehrad/kavehrad-pub.html>>. ISSN 1687-1472.
- [3] Optické bezvláknové systémy : Odrazivost, její prostorová a časová závislost v bezvláknových optických systémech. In NEČESANÝ, Jaromír; VAŠINEK, Vladimír. *Seminář elektroniky a telekomunikační techniky VŠB – TUO*. Ostrava : VŠB-TU Ostrava, 2005. s. 4. ISBN 80-248-0833-1.
- [4] PLCH, Jiří. Světelná technika v praxi. 1. Praha : IN-EL, 1999. 210 s. ISBN 80-86230-09-0.

Authors: Ing. Jan Vitásek, VŠB-TU Ostrava, Faculty of Electrical Engineering and Computer Science, Department of Telecommunications. 17. listopadu 15, 708 33 Ostrava-Poruba. Email: jan.vitasek@vsb.cz

Ing. Petr Koudelka, VŠB-TU Ostrava, Faculty of Electrical Engineering and Computer Science, Department of Telecommunications. 17. listopadu 15, 708 33 Ostrava-Poruba. E-mail: petr.koudelka@vsb.cz

Ing. Jan Látal, VŠB-TU Ostrava, Faculty of Electrical Engineering and Computer Science, Department of Telecommunications. 17. listopadu 15, 708 33 Ostrava-Poruba. E-mail: jan.latal@vsb.cz
prof. RNDr. Vladimír Vašínek, CSc. VŠB-TU Ostrava, Faculty of Electrical Engineering and Computer Science, Department of Telecommunications. 17. listopadu 15, 708 33 Ostrava-Poruba. E-mail: vladimir.vasinel@vsb.cz

Ing. František Dostál, VŠB-TU Ostrava, Faculty of Electrical Engineering and Computer Science, Department of Electrical Power Engineering. 17. listopadu 15, 708 33 Ostrava-Poruba. E-mail: frantisek.dostal@vsb.cz

prof. Ing. Karel Sokanský, CSc. VŠB-TU Ostrava, Faculty of Electrical Engineering and Computer Science, Department of Electrical Power Engineering. 17. listopadu 15, 708 33 Ostrava-Poruba. E-mail: karel.sokansky@vsb.cz

Vliv nočního osvětlení reklamních poutačů na okolní obytnou zástavbu

P. Vrbík, Z. Židková, P. Baxant

Souhrn:

Posouzení možných vlivů nočního osvětlení reklamních poutačů na obyvatelstvo v blízké obytné zástavbě. Zobjektivizování reálné situace, odezvy obyvatelstva, možnosti nápravných opatření včetně doporučení.

Effect of night illumination advertising banner on the surrounding residential houses

Summary:

Evaluation of possible impact of artificial lighting induced by eye catchers on population in near house building. Objectification of actual situation, responses of inhabitants, possibility of remedial measure including recommendation.

Úvod.

Rušivé osvětlení v obytné zástavbě lze považovat za nový fenomén, který také bývá nepřesně označován za světelné znečištění. Používání označení „znečištění“ je poněkud zavádějící, protože světlo již ze své podstaty nic neznečišťuje. O rušivém osvětlení se diskutuje především ve spojení s narušením některých astronomických pozorování noční oblohy, což ale nelze ztotožňovat z nepříznivým vlivem na lidské zdraví (např. rušením spánku, popř. obtěžováním obyvatel).

Vlivy světla na lidské zdraví.

Světlo považujeme za fyzikální faktor našeho životního prostředí, který prokazatelně a významně působí na lidské zdraví. Jako „světlo“ označujeme tu spektrální část optického záření, které je schopno vyvolávat vizuální počítky, a současně je zhodnoceno podle spektrální citlivosti oka pozorovatele. Spektrální citlivost zraku se mění v závislosti na množství světla, takže v běžné praxi rozlišujeme citlivost pro denní (fotopické - vrchol citlivosti na 555 nm) a noční vidění (skotopické - vrchol na 505 nm).

Záměrné používání světla k dosažení viditelnosti nebo rozlišitelnosti pozorovaných předmětů označujeme jako **osvětlení**, které zároveň může působit na organismus člověka (příznivě i nepříznivě):

- množstvím světla (energetické působení);
- barvou světla (spektrálním složením);
- dobou trvání (dlouhodobé nebo krátkodobé působení);
- časovým průběhem (např. střídáním denního světla a tmy popř. míháním světla);

K nezanedbatelným hygienickým vlivům nepochybně patří **střídání přírodního světla a tmy** v průběhu celého denního cyklu. Bylo prokazatelně ověřeno, že přirozené střídání denního světla a tmy synchronizuje naše vnitřní „**biorytmy**“. Tyto vnitřní biorytmy jsou u člověka vrozené (endogenní) a jsou pro udržení lidského zdraví nezbytné (mj. ztráta vnitřních biorytmů bývá považovaná za jednu z příčin psychogenních onemocnění). Lidský organismus reaguje na světlo především pomocí receptorů v oku. Receptory sítnice převádějí světlem vyvolané vzruchy nervovými vlákny do mozku, kde se vytvářejí zrakové vjemy; jiné receptory převádějí světlem vyvolané vzruchy do jiné části mozku, fungující jako vnitřní oscilátor (tzv. „biologické hodiny“), který je hormonálně synchronizován melatoninem. K plnohodnotné tvorbě tohoto „spánkového“ hormonu je potřebná relativní tma. Aktuálně se zkoumá, jaké množství světla je potřeba k zahájení snížení tvorby melatoninu (supresi). V některých studiích se uvádí hodnoty blízké se již k jednotkám luxů (otázkou však zůstává, o jakou osvětlenost se zde jedná; prostorovou ?).

Teoreticky lze tedy předpokládat, že vlivem světla může docházet i k **rušení spánku**. Přitom průběh spánkového cyklu může být u každého jedince odlišný a záviset i na věku. Také potřeba délky spánku je individuální (pro dospělého člověka je uváděna potřeba asi 7 – 9 hodin). K nerušenému spánku je navíc zapotřebí dodržení určitých podmínek vnějšího prostředí, kdy se jedná alespoň o přiměřené ticho, relativní tmu i vhodné mikroklima. Předpokládá se, že k rušení spánku může také výrazně přispívat případné **míhání** nebo **výrazná barva světla** především v těsné blízkosti obytných objektů (barevné záblesky u světelných reklam v nočním období). Při hygienickém posuzování rušivého osvětlení v obytné zástavbě se tedy především zaměříme na možné **rušení nočního spánku obyvatel**.

Poznámka: Z hlediska rušení nočního spánku se přitom považuje za mnohem významnější zdravotní riziko působení hluku než osvětlení, protože u hluku nemá člověk možnost žádné přirozené obranné reakce jakým je např. zavření očních víček (viz. nerušený spánek malého dítěte za denního světla).

Avšak zdroj rušivého osvětlení může nepříznivě působit na zdraví dotčených obyvatel i nepřímo, např. **obtěžováním** popř. vyvoláním **emočně podmíněného stresu**, zvláště když jde o zdroj:

- **cizí**, vyskytující se v **bezprostřední blízkosti** obytné zástavby;
- **obtěžující**, např. svým nežádaným informačním charakterem (politická kampaň);
- je **známým zdrojem světla**, bez možností ovlivnění subjektem;
- působící nepřetržitě i v období vyhrazeném k **relaxaci** dotčených obyvatel.

Příčemž emoční stres může způsobovat dotčeným osobám potíže psychosomatického charakteru nebo být příčinou takového obtěžování, které by bylo možné považovat z hlediska charakteristiky zdravotního rizika za prokazatelné.

Poznámka: Při posuzování vlivu na zdraví obyvatel bývá požadována autorizace osob pro hodnocení zdravotních rizik (vydávané Min. zdravotnictví).

Světelné situace u reklamních poutačů.

K určité objektivizaci účinků rušivého osvětlení v obytné zástavbě již byla přijata doporučení mezinárodní komise pro osvětlování (viz tabulka č. 1):

Tabulka č. 1: Doporučené limity rušivého osvětlení

Přípustné maximum rušivého světla (podle ČSN EN 12464-2)							
Zóna prostředí	Podíl světelného toku do horního poloprostoru ULR [%]	Svislá osvětlenost na objektech E_V [lx]		Svítivost svítidel I [cd]		Jas L [$\text{cd}\cdot\text{m}^{-2}$]	
		mimo dobu nočního klidu ^{a)}	pro dobu nočního klidu	mimo dobu nočního klidu	pro dobu nočního klidu	L_B - fasády	L_S - značky (reklamní tabule)
E 1	≤ 0	≤ 2	0	≤ 2 500	0	0	50
E 2	≤ 5	≤ 5	≤ 1	≤ 7 500	≤ 500	≤ 5	400
E 3	≤ 15	≤ 10	≤ 5	≤ 10 000	≤ 1 000	≤ 10	800
E 4	≤ 25	≤ 25	≤ 10	≤ 25 000	≤ 2 500	≤ 25	1000

Poznámky k tabulce:

^{a)} V případě, kdy se neuplatňuje noční omezení, nesmí být větší hodnoty překročeny a mají se upřednostnit menší hodnoty.

E1 - představuje velmi tmavé oblasti jako národní parky a chráněná území;

E2 - představuje málo světlé oblasti jako průmyslové a obytné venkovské oblasti;

E3 - představuje středně světlé oblasti jako průmyslová a obytná předměstí;

E4 - představuje velmi světlé oblasti jako městská centra a obchodní zóny;

U reklamních poutačů bývají zdrojem případného rušivého osvětlení většinou pouze **odrazy světla od nasvětlených ploch reklamního poutače**. Osvětlovací reflektory zde bývají většinou dostatečně cloněné (světelné zdroje nejsou vidět) a jsou nasměrovány na plochy panelů tak, aby zajistily jejich dostatečné osvětlení při nočním provozu. Svítivost svítidel v tomto případě nebývá podstatná, protože téměř veškerý světelný tok ze svítidel je nasměrován pouze na plochu reklamních panelů.

Jako kritérium pro posouzení vlivu rušivého osvětlení na obyvatele se tedy nejčastěji používá **svislá osvětlenost (E_v)** na fasádách obytných domů v blízké okolní zástavbě (nejlépe v oknech ložnic či dětských pokojů) a zjištěný **jas reklamních panelů (L_s)**.

K zjišťování jasových poměrů v rámci konkrétní světelné situace se nám jeví jako nejvýhodnější počítačové zpracování digitální fotografie do tzv. **jasové mapy**. S pomocí konkrétní jasové mapy potom můžeme porovnávat (objektivizovat) význam jednotlivých světelných zdrojů v rámci možného zorného pole pozorovatele (např. konkrétního stěžovatele). Na obrázku (viz obr. č. 1) je ukázka zpracování digitální fotografie s více světelnými zdroji (světelný poutač, veřejné osvětlení, Měsíc, okna obchodního domu).

Obr. č. 1: Jasová mapa světelného poutače

(zpracoval doc. Ing. P. Baxant Ph.D., Ústav elektroenergetiky VUT Brno)



Poznámka: Pro správné pořízení digitální fotografie, vhodné ke zpracování do jasové mapy platí určitá pravidla. Znárodněná jasová mapa na obrázku je pouze k prezentaci (není kalibrována).

V budoucnu lze očekávat, že používání digitální fotografie se rozšíří i při řešení dalších světelných situací; např. pro posouzení osvětlování vstupů do tunelů v průběhu dne nebo osvětlování interaktivní tabule ve školách apod.

Závěrečné doporučení.

Při posuzování osvětlení reklamních poutačů je nezbytné kontrolovat, zda osvětlení poutače **vyhovuje doporučeným limitům rušivého osvětlení pro příslušnou zónu** (svislé osvětlenosti na obytných objektech; svítivosti použitých světelných zdrojů; jasům osvětlených ploch;), protože závazné hygienické limity k této problematice stanoveny doposud nejsou.

Poznámka: Obecně platí, že podíl rušivého osvětlení (od reklamního poutače) na celkové svislé osvětlenosti fasád okolních obytných domů významně klesá se vzdáleností mezi poutačem a posuzovaným obytným objektem. Kontrolujeme tedy nejbližší (nezastíněnou) obytnou zástavbu.

Za potřebné lze považovat ověření relativního podílu osvětlení poutače na celkové svislé osvětlenosti fasád obytných domů a pokud je tento podíl největší ($\geq 50\%$), lze jej považovat z hlediska zrakového vnímání za významný, takže může být i příčinou obtěžování, popř. vyvolávat emoční stres. Ke zvážení je, zda vzhledem k jasovým kontrastům v daném prostředí (posuzovaný poutač bývá většinou významně kontrastní vůči tmavé noční obloze) by ke splnění účelu reklamního poutače nevystačila nižší hladina osvětlenosti reklamních ploch popř. zajistit regulaci osvětlení pro noční období (větší citlivost zraku v noci).

Každá konkrétní světelná situace si vyžaduje náležité prozkoumání (nelze vyloučit ani zástupný problém), nicméně v porovnání se zdravotním dopadem nedostatku denního osvětlení v pobytových prostorech (mj. nárůst zrakové zátěže, vznik očních vad, narušení biorytmů) a při vzetí do úvahy možné expozice obyvatel rušivému osvětlení včetně případné ochrany (žaluzie, okenice, apod.), lze **vliv nočního osvětlení na rušení spánku** většinou označit **za zanedbatelný**. U obtěžování rušivým světlem nesmíme zapomenout zahrnout do úvahy i **emoční vlivy**.

Brno, květen 2010

Optimization of Rotationally Symmetrical Mirror Reflector Profile

Abstract. A computational design optimisation process is used to generate luminaire reflector geometry that achieves a set luminous intensity distribution. Different optimisation strategies are discussed and compared with the analytical solution to the problem.

Keywords: ray tracing, optimization, luminaire reflector design.

Introduction

Luminaire optical design often requires determining the optimal luminous intensity distribution, or optimal luminance distribution, for a given set of constraints. Constraints can include: the size of luminaire, the properties of material used, the overall cost of the solution proposed, the minimum efficiency that can be accepted, etc.

The main goal of the designer is to achieve the highest performance given a particular configuration, by adjusting the variables of the problem [1, 7] (Fig. 1). Variables can include: the shape of the reflector, the diffraction index of the diffuser, the reflector efficiency, the lamp position, the lamp geometry, etc.

This paper illustrates how an advanced optimisation workflow can be used to help the designer task.

To better explain this idea an example application is discussed: it is fictitiously assumed that the main goal of a designer is the optimisation of a luminaire by adjusting the geometry of the reflector and the goal is to meet a given luminous intensity distribution. Position, power and geometry of lamps, material used are set. Variables describe the geometry of the reflector.

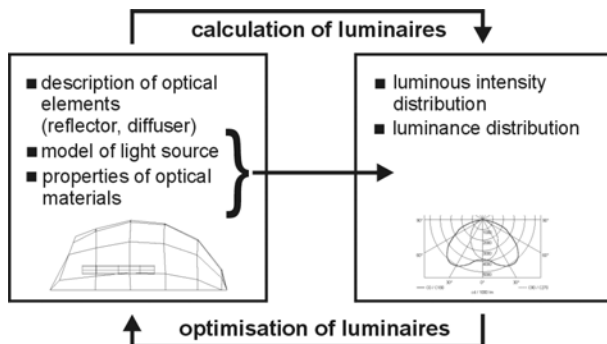


Fig. 1. Illustration of the design process associated with luminaire optical design.

This task can be implemented as a computational optimisation problem [2] aimed at determining the optimum reflector shape to produce the luminous intensity distribution required (Fig. 1). A computational optimization process consists in the generation and evaluation of a succession of designs. Each variation is derived from the previous by adjusting the design variable(s). An algorithm decides how and which variable needs adjusting and iterates the process until an optimal solution is found. To ensure that the process ends in a limited time stopping criteria are implemented: for example, the maximum number of iterations or the maximum computational time can be set; if either is exceeded, the process stops and the best configuration found is recorded. If the best configuration found does not change more than a specified threshold and for a given number of iterations, the process stops and the best option is recorded. The process starts

with an initial configuration at the set starting point X_0 . The best option found is recorded as final point X_F .

The proposed workflow requires the integration between an optimisation algorithm, based on MathWorks MATLAB, and a light simulation software. The first drives the generation of the reflector configuration by adjusting the variables and iterates the process until a stopping criterion is met. The second is used to evaluate all options by generating the corresponding luminous intensity data which is read by the optimisation algorithm.

The simulation software selected is Radiance Ray Tracing System [6], standard de facto for advanced lighting calculations and described in several of publications.

This software has been already used to evaluate the performance of luminaires. In particular, in the study of [1], the results produced by the software have been compared with the analytical solutions (mirror reflector model, diffuser model and diffuse reflector model). Furthermore computations and laboratory measurements for a reflector made of sheet aluminium, with non-ideal photometric properties (mixed reflection) have been performed. In all cases considered, the consistency between compared parameters proved to be very high. For the mirror reflector, the relative error between the maximum luminous intensity of the luminaire calculated analytically (the reference method) and computed using the ray tracing method did not exceed 6% [1].

The following sections of this paper illustrate how the problem has been implemented and the different results that have been obtained by changing the optimisation algorithm. In particular three optimisation strategies have been implemented (genetic algorithm, pattern search, simulate annealing) and two problems have been solved. One problem consists in maximising the luminous intensity for a single direction, the other consists in maximising the intensity for a direction but also meeting a set luminous intensity distribution (at a given angle the intensity is half of the peak value, etc).

Modelling the reflector geometry

The luminaire reflector considered for the purpose of this paper is a rotationally symmetrical surface. Figure 2 illustrates the profile of revolution of the reflector. The starting point P_p and the ending point P_k are both fixed. These points determine the maximum reflector dimensions. Between P_p and P_k a series of intermediate points are set: points P_1 , P_2 , P_3 . P_1 , P_2 and P_3 have fixed X coordinates while Z coordinates can be adjusted within a range. Limiting the range of Z coordinates ensures that the surface of revolution is concave. The acceptable range of position for points P_1 , P_2 , P_3 is shown in the following diagram (Fig. 2).

The Z coordinates of points P_1 , P_2 and P_3 are the variables of the problem and determine the shape of the reflector. Variables are recoded together as a single vector with three dimensions, X_i (1).

$$(1) \quad X_i = [P1 \ P2 \ P3]$$

The vector X_i is used by the optimisation algorithm to adjust the reflector shape. The shape of the reflector is obtained by revolving the curve that passes through all points around the Z axis. This curve is obtained by polynomial interpolation. In particular, the reflector profile is interpolated using a piecewise cubic Hermite polynomial strategy and it is constrained to points P_p , P_1 , P_2 , P_3 , P_k .

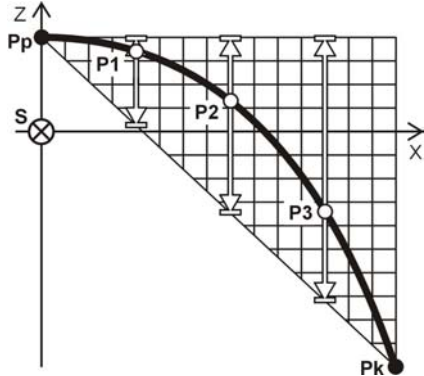


Fig. 2. Reflector shape profile revolving around Z axis: S – light source, P_p , P_k – fixed points (start and end point for reflector profile, determining reflector dimensions), P_1 , P_2 , P_3 – data points those determine interpolating polynomial, their Z coordinates can change (X coordinates are fixed). Vertical arrows show ranges of Z values where points P_1 , P_2 , P_3 can occur.

Hermite polynomial interpolation is closely related to the Newton polynomial interpolation as both are derived from the calculation of divided differences. Unlike Newton interpolation, Hermite strategy ensures that also the first derivatives through the data points are matched. Data points (x_k, z_k for $k=1...n$) are called interpolation nodes and breakpoints. If the derivative values are not defined, the slope values must be evaluated at the breakpoints. The slope of the line tangent to the curve at the point is the divided difference, and is thus equal to the rate of change of the function at that point. Piecewise cubic interpolation methods differs in the way of calculating slopes [3, 5].

Spline piecewise interpolation method is class C^2 (second derivative is continuous). A function generated with this approach has smooth shape but doesn't preserve monotonicity (MATLAB *spline* function) [5].

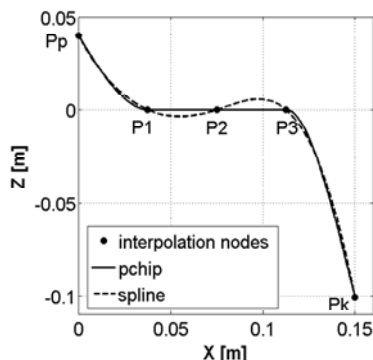


Fig. 3. Interpolation of the reflector profile using MATLAB *pchip* and *spline* function.

Monotone interpolation can be accomplished using cubic Hermite splines with the slopes modified. In this case the function is class C^1 (only first derivative is continuous). A discontinuous second derivative implies discontinuous

curvature, but this method guarantees shape preservation and local monotonicity.

The second method available is the Fritsch–Carlson which allows calculating slopes and to preserve shape (it is used in the MATLAB function *pchip* [3, 5]). Figure 3 compares the results of the reflector geometry interpolation using the *spline* and *pchip* function. In the middle area of the curve between points P_1 and P_3 the *spline* function is not monotonic. For this reason it has been preferred to generate the reflector profile with the function *pchip*.

Implementation of the computational optimisation workflow

The MATLAB optimisation toolbox [4] is used to start the optimisation process and to drive the simulations through the UNIX system shell. The implementation of the computation scheme can be described with the following elements (Fig. 4) [2]. As soon as the optimisation solver is called:

- a starting point X_0 is selected,
- a luminaire reflector is generated,
- the model is exported to Radiance Ray Tracing system
- the evaluation of the luminous intensities is performed by Radiance,
- the results are saved in a text file and read in MATLAB,
- the optimization algorithm selects consecutive values of the variable X_i based on the performance that has been previously calculated,
- the stop condition is verified.

This process iterates until a stopping condition is met.

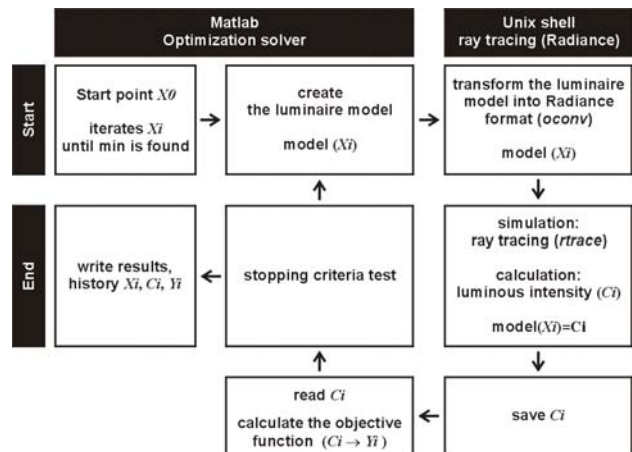


Fig. 4. Computation scheme: X_i – variable, Y_i – value of the objective function, *oconv* – creates the luminaire model in Radiance format, *rtrace* – ray tracing calculation.

Computational optimisation strategies (algorithms)

Optimization is the process of finding the maximum (or minimum) of a function over a given domain (note that in MATLAB the optimisation algorithms are programmed to find minima). Depending on the effectiveness of an algorithm global or local maxima/minima can be found. As the problem proposed (optimisation of the reflector luminous intensity) can potentially contain multiple local optima/minima values, attention will be made in ensuring that the strategy used is able to converge to the absolute maximum/minimum over the domain considered. Three optimisation strategies will be used for the purpose of this paper [4]:

- patternsearch,
- simulated annealing,
- genetic algorithm.

Patternsearch algorithm uses direct search method for solving optimization problem that doesn't require any

information about the gradient of the objective function. The algorithm search a set of points, called mesh, around the current point (the current reflector configuration). The mesh is formed by adding the current point to a scalar multiple of a set of vectors called a pattern. If a point in the mesh that improves the objective function is found, the new point becomes the current point at the next step of the algorithm. This method is not able to find absolute maxima/minima and requires some tweaking for this. The strategy used is to select random starting points.

The genetic algorithm is a method for solving both constrained and unconstrained optimization problems that is based on natural selection. The algorithm selects individuals at random from the current population to be parents and uses them to produce the children for the next generation. The main difference from other algorithms is that the genetic algorithm generates a population of points at each iteration instead of generating single point. The population of points is made of random configurations and points which are derived from the previous generation best with crossover and mutation. Given the nature of the method it is possible to increase significantly the performance of the optimisation process by using vectorised functions. Vectorised functions are able to calculate multiple configurations a single pass. Therefore the computational cost is reduced. The number of computational cores of the system will determine the possible performance gain.

Simulated annealing is a method for solving unconstrained and bound-constrained optimization problems. The method models the physical process of heating a material and then slowly lowering the temperature to decrease defects. At each iteration a new point is randomly generated with the distance from the current point based on a probability distribution with scale proportional to the temperature. As the temperature decreases the algorithm reduces the extent of its search to converge to a minimum. The algorithm accepts all new points that lower the objective, but also, with certain probability, points that raise the objective. In this way the algorithm avoids being trapped in local minima. As for the genetic algorithm the number of computational cores of the system will determine the possible performance gain.

Case studies

Two case studies have been implemented with the proposed technique. The first case study is the optimisation of the reflector shape in order to maximise the luminous intensity for a given direction. The simulation results have been compared to the analytical solution. The second case study is the optimisation of the reflector shape to meet a set luminous distribution. For both case studies the three optimisation strategies have been used and compared.

Case study A - optimization of luminous intensity for a given direction

The aim of this case study is to define the optimal reflector shape for which the luminous intensity in the axis $I_{\gamma=0}$ is maximum (2). Since the optimization algorithm seeks the function minimum and the task is aimed at determining maximum luminous intensity, a minus sign is placed in the objective function equation (2).

$$(2) \quad F(X) = -I_{\gamma=0}$$

The problem considered can be summarised as follows:

Variables: Z coordinate of points P1, P2 and P3

Constrains: $(-0.9375x + 0.04) < P1, P2, P3 < 0.04$

Objective function: I , intensity at $\gamma=0^\circ$.

As the analytical solution to the problem is known, it is possible to compare the different approaches. In fact, the maximum luminous intensity, which can be only obtained with a parabolic reflector, can be calculated using the following equation (3).

$$(3) \quad I_{\gamma=0} = \frac{\Phi}{4\pi} + \frac{\pi D^2}{4} L_g \rho$$

where: Φ - luminous flux (1000 lm), D -diameter of the reflector (0.3 m), L_g - luminance of light source (1065294 cd/m^2), ρ - reflectance of reflector's surface (0.9). In the proposed example the maximum intensity is: $I_{\gamma=0} = 67\ 850 \text{ [cd]}$

Pattern search

Patternsearch algorithm is used with randomly selected starting points P1, P2, P3 (Fig. 5). In the test 10 starting points have been used, of which 4 got nearly the same best solution.

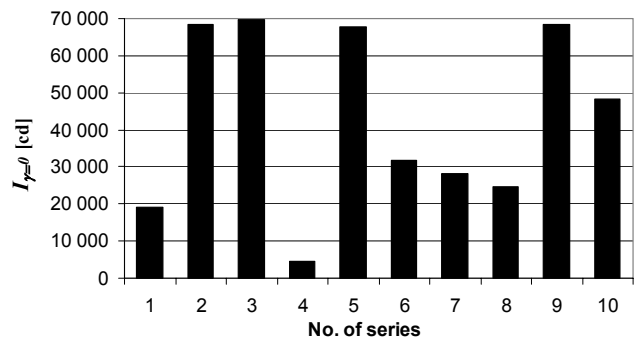


Fig. 5. Patternsearch. Luminous intensity distribution in the reflector's axis. Final results for each of the 10 series.

Table 1 compares values of highest luminous intensity from optimization algorithm with the theoretical maximum. Figure 6 show the comparison between reflector profile generated by the optimization algorithm and the analytical solution (parabolic curve). Calculated reflector profile is almost identical to parabolic curve, therefore it can be said that algorithm have found optimum solution.

Table 1. Comparison of luminous intensity values.

Luminous intensity in the reflector's axis $I_{\gamma=0}$		Difference
Theoretical best solution (3)	Optimization algorithm (series no. 13)	
67 850 cd	69 550 cd	2.5 %

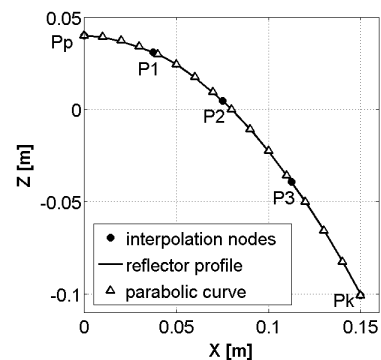


Fig. 6. Reflector profile and parabolic curve.

Simulated annealing

The next example was performed using the simulated annealing method (Fig. 7). It is interesting to look at the

profile of the objective function versus the iterations. The effect of the re-annealing technique is clear: the temperature raises after a certain number of new points have been accepted, and starts the search again at the higher temperature. This technique avoids local minima.

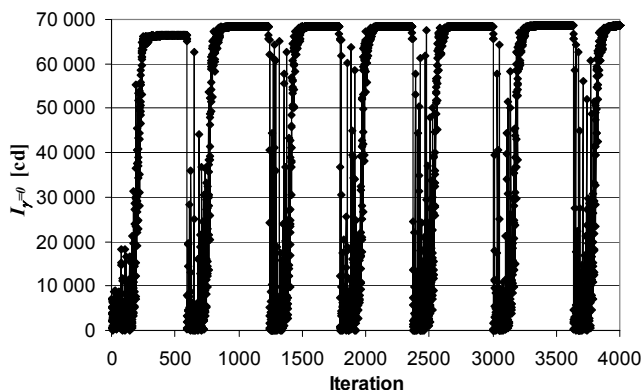


Fig. 7. Simulated annealing. Changes in luminous intensity $I_{\gamma=0}$ in the reflector's axis in consecutive iterations.

Table 2. Comparison of luminous intensity values.

Luminous intensity in the reflector's axis $I_{\gamma=0}$		Difference
Theoretical best solution (3)	Optimization algorithm	
67 850 cd	68 539 cd	1.0 %

Genetic algorithm

Genetic algorithm uses crossover and mutation rules. Crossover combines two parents to form children for the next generation, while mutation apply random changes to individual parents to form children. The plot on Figure 8 shows a vertical line at each generation. This line represents the range of the objective function values within a generation. Reducing the amount of mutation decrease the diversity of subsequent generations. Diversity is important to the genetic algorithm because it enables the algorithm to search a larger region of the space.

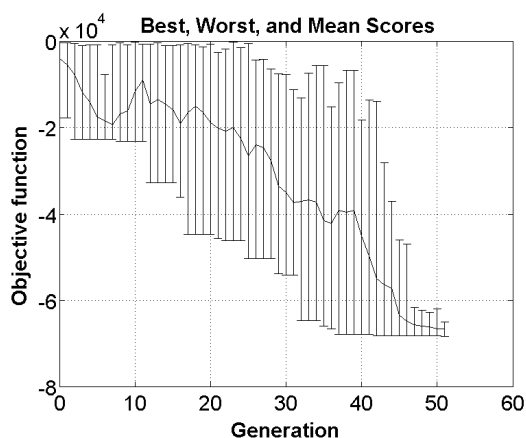


Fig. 8. Genetic algorithm. The objective value changing in subsequent generations. The lower objective value, the higher luminous intensity $I_{\gamma=0}$ in the reflector's axis. No of population in the current generation is 20.

Table 3. Comparison of luminous intensity values.

Luminous intensity in the reflector's axis $I_{\gamma=0}$		Difference
Theoretical best solution (3)	Optimization algorithm	
67 850 cd	68 359 cd	0.7 %

Commentary to results

Simulated annealing and genetic algorithm methods return slightly different results each time when are run. This is because they both use random number generators. Patternsearch also produced random solution as the starting points are defined randomly.

Table 4 shows a comparison of the results for the three optimization algorithms. All methods found a very good solution. Simulated annealing has better ratio of iteration within the 5% best. It is interesting to note that using vectorised functions has a very positive effect on performance, especially for genetic algorithm.

Table 4. Summary of the results.

	Pattern search	Simulated annealing	Genetic algorithm	Analytical solution
Luminous intensity $I_{\gamma=0}$ [cd]	69 557	68 539	68 359	67 850
Best solution (Z coordinates)	$P1$ 0.030768 $P2$ 0.004435 $P3$ -0.039320	0.031228 0.004764 -0.038838	0.030926 0.004735 -0.039275	0.031211 0.004844 -0.039102
No of iteration	2 585	4 044	1 040	-
Iterations / time elapsed in [s] (Intel Core Duo T2450 2.0 GHz)	2 585 / 7 610 [s] = 0.34	4 044 / 12 396 [s] = 0.33	1 040 / 2 425 [s] = 0.43	-
Success percentage: no of solution within 95% of the theoretical best	562 / 2585 = 22%	2 510 / 4044 = 62%	174 / 1024 = 17%	-

Case study B - optimization of luminous intensity meeting a set distribution

In addition to the previously discussed case study, another reflector optimization task is set. The aim of this second example is to determine the reflector curve that achieves the maximum luminous intensity in the axis $I_{\gamma=0}$ but also that meeting a condition whereby the ratio R of luminous intensity at angle $\gamma=5^\circ$ to luminous intensity at angle $\gamma=0^\circ$ is equals 0.5 (half-peak divergence value is 5°). The objective function has the following form (4).

$$(4) \quad F(X) = -\frac{I_{\gamma=0}}{m} + f_k$$

where: m – coefficient reducing luminous intensity to the level of the penalty function, f_k – penalty function defined below:

$$(5) \quad f_k = \begin{cases} \left(100 \left(\frac{I_{\gamma=5}}{I_{\gamma=0}} - 0,5 \right) - tol \right)^2 & \text{if } \left(\frac{I_{\gamma=5}}{I_{\gamma=0}} - 0,5 \right) - tol > 0 \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases}$$

If tolerance tol is set at 0.05, this means that the penalty function will be greater than zero if the ratio R is greater than 0.55 or smaller than 0.45. In such a case, all results with the ratio R within the range from 0.45 to 0.55 are accepted without penalty. The value of the m coefficient must be selected in such a way as to adjust luminous intensity values obtained (from several hundred to several thousand candelas) to the value of the penalty function f_k .

This is necessary if the penalty function is to yield the optimum solution.

This example has not analytical solution which can be easily evaluated, therefore the comparison between the three optimisation strategies is not compared to an absolute value of the objective function.

Pattern search

Figure 9 shows that for objective function with penalty (4, 5) it is more difficult to find the best solution. The patternsearch algorithm found only one series (no. 4) close to the optimum.

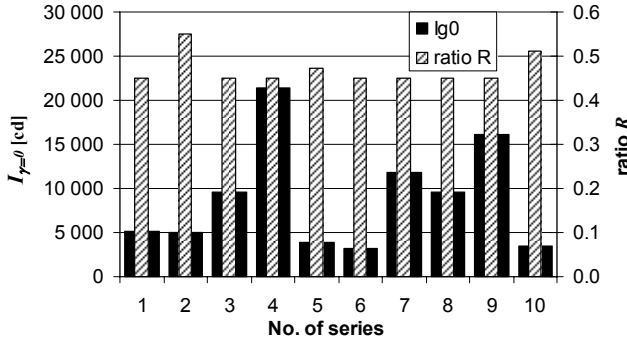


Fig. 9. Patternsearch. Objective with penalty. Luminous intensity distribution in the reflector's axis ($I_{\gamma=0}$) and ratio R . Final results for each of the 10 series.

Simulated annealing

Figure 10 shows a selected portion of the simulated annealing optimization (one re-annealing step). Even if there are higher values of luminous intensity, they are not accepted because of the constrain at 5° (ratio $R = 0.45 \div 0.55$). The final solution is reached when the objective function is minimized.

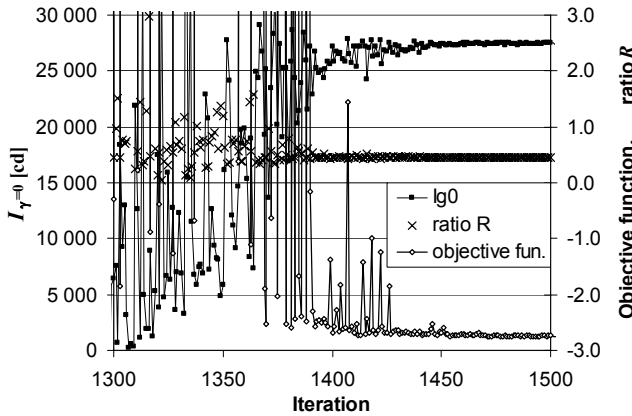


Fig. 10. Simulated annealing. Objective with penalty. Changes in luminous intensity $I_{\gamma=0}$ in the reflector's axis, ratio R and objective function.

Genetic algorithm

The plot on the Figure 11 shows high differences in objective function as a result of the penalty (5) which increase the objective function value (4) when ratio R is outside the range $0.45 \div 0.55$.

Commentary to results

Table 5 shows a final comparison of the results for three optimization algorithms. The shorter calculations were performed by genetic algorithm and this method has also the best ratio of success percentage. Patternsearch algorithm success percentage was calculated for the best produced by patternsearch (best objective value -2.139).

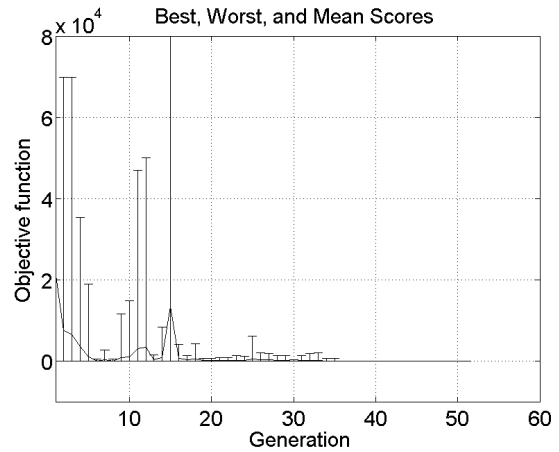


Fig. 11. Genetic algorithm. Objective with penalty. The objective value changing in subsequent generations. The lower objective value, the higher luminous intensity $I_{\gamma=0}$ in the reflector's axis. No of population in the current generation is 20.

Table 5. Summary of the results (objective with penalty).

	Pattern search	Simulated annealing	Genetic algorithm
Best objective value	- 2.139	- 2.750	- 2.751
Best solution (Z coordinates)	$P1$ $P2$ $P3$	0.027139 -0.002332 -0.046742	0.027664 0.000392 -0.043739
Luminous intensity $I_{\gamma=0}$ [cd]	21 399	27 514	27 514
Ratio R	0.4501	0.4497	0.4503
No of iteration	1 740	3 082	1 040
Iterations / time elapsed in [s] (Intel Core Duo T2450 2GHz)	1740 / 5 390 [s]	3082 / 9 930 [s]	1040 / 3 030 [s]
Success percentage: no of solution within 95% of the best	40 / 1 740 = 2 %	316 / 3 082 = 10 %	174 / 1 040 = 17 %

Figure 12 presents the luminous intensity curve of a reflectors which profiles were calculated using genetic algorithm method for simply objective function (2) and objective with penalty (4, 5).

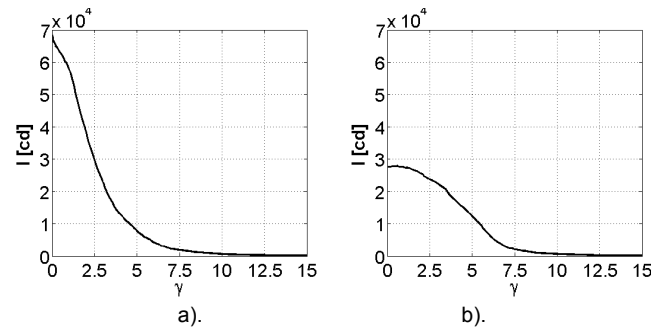


Fig. 12. Luminous intensity curve of the reflector as a result of optimization task: a) - maximum luminous intensity, b). maximum luminous intensity and ratio $R = 0.45 \div 0.55$ for $\gamma = 5^\circ$.

Conclusions

The paper has demonstrated that computational design optimisation can successfully be used to optimise simple reflector geometry to meet luminous intensity criteria. The methodology used is general and can be easily implemented with various software packages or applied to more complex scenarios.

In regards to the case studies shown, of the method used, simulated annealing and genetic algorithm seem to be the most promising techniques. They both show a good ratio of iterations per second and a high percentage of solution within the 5% best. Pattern search shows a more cleaner convergence but it is often confused by local maxima/ minima.

REFERENCES

- [1] Wandachowicz K.: Calculation of Luminaires Using Radiance. 3rd International RADIANCE Workshop. 11-12 October 2004, Ecole d'ingénieurs et d'architectes de Fribourg, Switzerland
- [2] Antonutto G.: Design optimisation with Radiance. 5th International Radiance Scientific Workshop. 13-14 September 2006, De Montfort University, Leicester, UK
- [3] Fritsch F. N., Carlson R. E.: Monotone Piecewise Cubic Interpolation. SIAM Journal on Numerical Analysis, 17 (1980), pp. 238-246

- [4] Matlab Global Optimization Toolbox 3, User's Guide. The MathWorks, Inc. <http://www.mathworks.com>
- [5] Moler C.: Numerical Computing with MATLAB. SIAM, Philad., 2004
- [6] Ward Larson G., Shakespeare R.: Rendering with Radiance. Morgan Kaufmann Publishers, San Francisco (1997)
- [7] Oleszyński T.: Oprawy oświetleniowe. WNT, Warszawa (1966)

Authors:

*Krzysztof Wandachowicz,
Poznan University of Technology, Institute of Electrical Engineering
and Electronics, Piotrowo 3a, 60-965 Poznań, Poland,
E-mail: Krzysztof.Wandachowicz@put.poznan.pl*

*Giulio Antonutto,
Arup Lighting, 13 Fitzroy Street W1T 4BQ, London, UK,
E-mail: giulio.antonutto@arup.com*

Colored lights in nature

Abstract. The Earth is often called the blue planet. Indeed, satellite pictures and aerial photographs are dominated by the blue color of the oceans that cover over 70 per cent of Earth's surface. On these pictures the sky looks blue, whereas in pictures taken on the ground the sky is blue. However, different plants, flowers, birds, fish, and butterflies display all the colors of the rainbow – even more than that, in fact. In general, blue seems to dominate the inanimate world, whereas living beings exhibit a very broad range of colors. In my talk I examine those laws of physics and biology that bring about the colorfulness of the terrestrial environment.

Keywords: Color, Light, Optical phenomenon, Atmospheric phenomenon

Introduction

The atmosphere, waters, fauna and flora of Earth delight the eye with colourful lights and surfaces. Various optical phenomena are responsible for the colours of the water in oceans, lakes and rivers, the sky and clouds, snow and icebergs, for the colourful lights of the film on the surface of pools and on soap bubbles, for the colours of the rainbow, northern light, wings of butterflies, feathers, flowers and the human eye. For this article, we picked four of these to discuss the optical and physical phenomena behind them.

Colours of the sky and clouds

The colour of the sky is created by the scattering of light in the atmosphere. Without the atmosphere, the sky would be black, with only the Sun and the stars visible. Think of photos taken on the Moon.

The colourless white light of the Sun is scattered by the particles of the atmosphere. White light is composed of the colours of the spectrum – red, orange, yellow, green, blue, violet.

The lower its frequency, the more a given particle will scatter light. This phenomenon was studied first by the English physicist Rayleigh who established this relationship to be an extremely close one: the intensity of scattered light radically decreases with the increase in wave length. Thus, blue light, having the shortest wave length, is scattered most and this is why the sky is blue. [1], (Fig. 1).

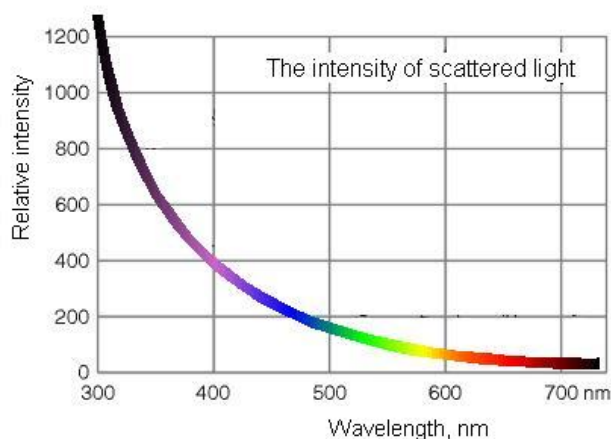


Fig. 1

The rate of scattering depends not only on wavelength but also on the size of the particles involved in scattering. Typical bands of the spectrum are classified by the size of their particles. [2]:

In the case of Rayleigh scattering, the size of particles is below 0.03 mm (e.g. gas molecules). In this case, the colour blue scatters most. This is why the sky is blue (Fig. 2).



Fig. 2

We talk about the Mie effect or Tyndall effect (the so called "Yellow Moon" phenomenon) when the size of particles is below 0.5 mm (e.g. macro-molecules). In this case, blue and green lights are scattered most.

The "Blue Moon" phenomenon occurs when the size of particles is around 0.5 mm (e.g. volcanic ash particles). In this case, red and green light show the highest scattering. After eruptions, sometimes the sun sets in a red glory that tints the whole sky (Fig. 3).



Fig. 3

Particles larger than 1 mm (e.g. vapour and fog particles or crystals of snow or ice) cause “white scattering”, where all the colours are equally visible. This is why the clouds are white (Fig. 2) and the light is pale and whitish in hazy sunrises (Fig. 4).



Fig. 4

Quite large particles not only reflect light but also absorb a significant part of it. This is why heavy rainclouds, potentially loaded with ice, are of an angry grey or black colour (Fig. 5).



.Fig. 5

What is a rainbow? An optical explanation

Rainbows may be understood by the phenomenon of refraction. Refraction is described by the Snellius-Descartes law (Fig. 6)

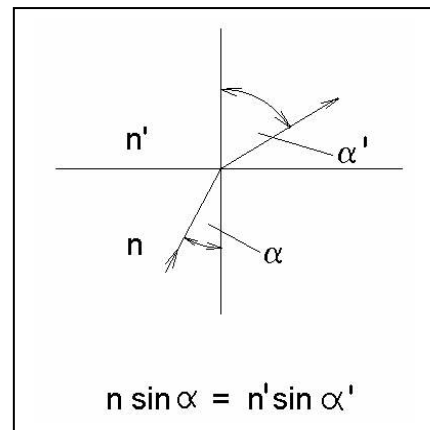


Fig. 6

where

- a is the angle of incidence
- a' is the angle of refraction, and
- n > n' is the index of refraction

The refraction index “n” is determined by wave length. As an example, Fig. 7. illustrates how the refraction index of the glass substance SF6 changes with wavelength.

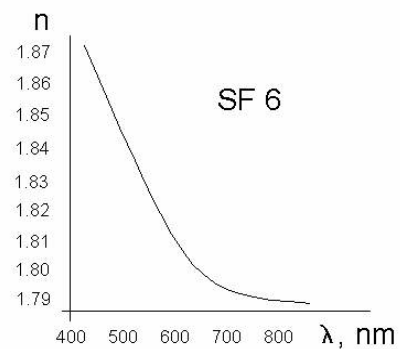


Fig. 7

The refraction index of water similarly changes according to wavelength. Thus, each wavelength results in a different refraction angle, as stated by the Snellius-

Descartes law. This is why white light breaks into colours after refraction. The phenomenon is called dispersion. Blue light, having the shortest wavelength, is refracted the most as this wavelength band has the highest refraction index [3].(Fig.8).

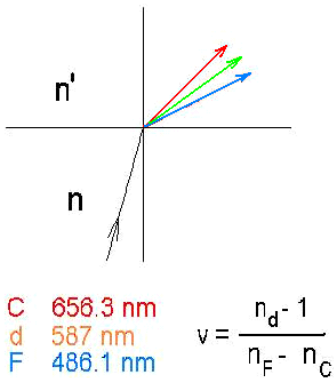


Fig. 8

If a ray of light enters a raindrop, it is reflected on the opposite side and leaves the raindrop. When exiting, the ray gets dispersed and continues its course broken up into colours (Fig. 9).

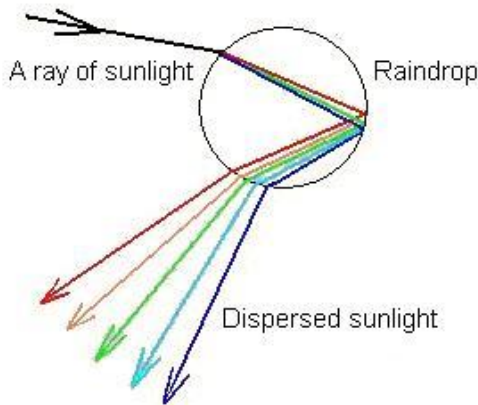


Fig. 9

The spectacle of the rainbow is actually created in our eyes as the lens of the human eye creates a picture of a circle from the light dispersed by the drops of the wide curtain of rain through central projection (Fig. 10).



Fig. 10

Colourful lights appearing on the surface of pools and soap bubbles

This beautiful luminous phenomenon is created by thin film interference [4]. The optical explanation of the phenomenon is illustrated by Fig. 11.

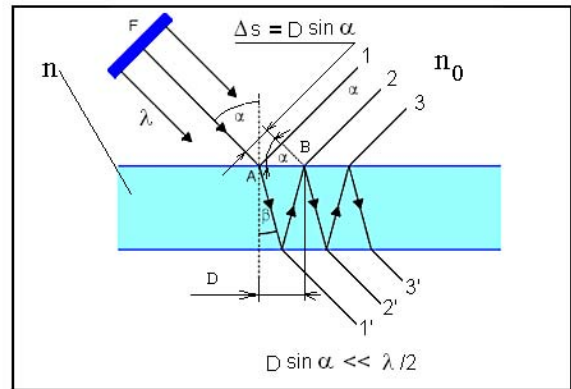


Fig. 11

The rays of λ wavelength from light source F arrive at the thin, transparent film of refraction index "n".

Let's follow the route of the ray in the middle. The ray is partially reflected from the surface of the film at point "A" (ray 1) while part of it enters the film and arrives at the opposite surface after refraction. It is partially reflected here, while another part of it leaves the film (ray 1').

The reflected ray is partially reflected again at point B while another part of it leaves the film via its upper surface after refraction (ray 2). Rays 1 and 2 are parallel and if the film is thin enough, they will also be coherent as they are created by the refraction of the same original ray of light. The coherent rays 1 and 2 will interfere. The difference in the path lengths of the two rays is Δs . If it is an integral multiple of λ , it will cause the constructive interference of the two rays. However, if the path length difference is $\lambda/2$, the two rays will interfere destructively [4]. In the case of coloured light, the interference of different colours may be destructive or constructive, resulting in the apparent rainbow colour of the film. As the thickness of the film usually changes continuously, the colour of the film also changes, thus becoming iridescent (Fig. 12).

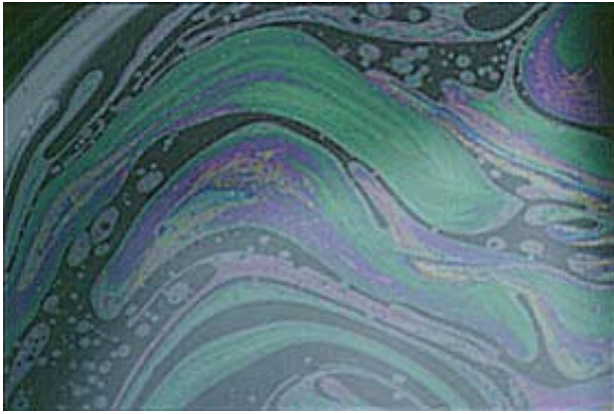


Fig. 12



Fig. 14

Northern light

One of the most spectacular luminous phenomena in the sky are the northern lights.

Gasses occasionally erupting from the fiery inside of the Sun are ejected to heights of several thousand kilometers (protuberances). In these cases, ions are ejected into space in enormous volumes and at immense speed. The solar particles (nuclei of hydrogen atoms, electrons) are electrically charged. These charged particles reach Earth in 3-4 days. They are deflected by the magnetic field of the planet in a way that they enter the atmosphere at the poles where they cause the northern lights phenomenon (Fig. 13).

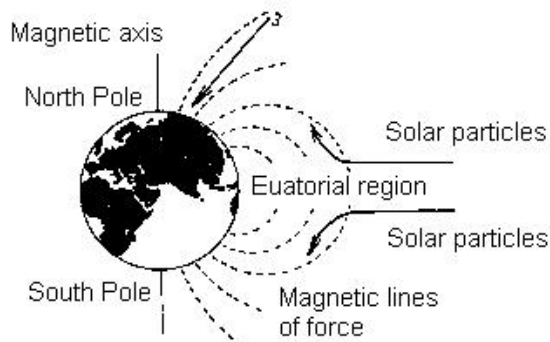


Fig. 13

Extremely vivid northern lights appear after extremely strong protuberances. Northern lights are common in the polar regions at the North Pole and the South Pole (Fig. 14)

Physiological effects of coloured lights

Natural coloured lights have important physiological effects. Light affects the hypophysis, the organ controlling our hormonal system, via our eyes. The lack of light in e.g. the polar regions may cause depression. This depression may be cured or prevented by intensive light therapy. The therapy involves the patient spending at least an hour daily in intensive coloured light that soon relieves the symptoms.

REFERENCES

- [1] National Geographic Online, 2003. szeptember 8.
- [2] Horváth Gábor: Fényszóródás a természetben, A természet világa, 1986
- [3] A. Nussbaum, R. Phillips: Modern optika, Műszaki Könyvkiadó, 1982
- [4] Horváth Miklós honlapja, <http://hmika.freeweb.hu>
- [5] Óveges József: A sarki fény

Author: *prof. dr hab. Ing. Klara Wenzel, Technical University Budapest, Department Mechatronics Optics and Information Engineering, Mechanical Engineering Faculty, Budapest University of Technology and Economics, Budapest 1521 Műegyetem rkp. 3-9. Hungary, tel:+3614632602, fax.+3614633787*
<http://www.mogi.bme.hu> ,E-mail: wenzel@mogi.

Możliwości regulacji strumienia świetlnego lamp metalohalogenkowych

Summary: Artykuł prezentuje wyniki pomiarów strumienia świetlnego, mocy lamp, mocy układu, rozkładu widmowego promieniowania, temperatury barwowej światła i obliczeń ogólnego wskaźnika oddawania barw w funkcji zmian wartości napięcia zasilającego. W wyniku pomiarów i obliczeń określono możliwości regulacji strumienia świetlnego wytwarzanego przez lampy metalohalogenkowe poprzez zmianę wartości napięcia zasilającego.

Key words: Elektryczne źródła światła, lampy metalohalogenkowe, regulacja strumienia świetlnego.

Introduction

Systemy sterowania strumieniem świetlnym lamp wyładowczych są coraz częściej stosowane w oświetleniu zewnętrznym i wewnętrznym. Pojawiają się stateczniki elektroniczne, które umożliwiają regulację strumienia świetlnego lamp wyładowczych również lamp metalohalogenkowych. W artykule przedstawione zostaną wyniki pomiarów strumienia świetlnego, mocy lamp, mocy układu zasilającego, rozkładu widmowego i temperatury barwowej światła wytwarzanego przez lampy metalohalogenkowe w funkcji zmian napięcia zasilającego. Na podstawie pomiaru rozkładu widmowego wytwarzanego światła obliczano wartość ogólnego wskaźnika oddawania barw. Na podstawie wyników obliczeń i pomiarów przedstawione będą możliwości regulacji mocy, preferowany zakres regulacji mocy i strumienia świetlnego wytwarzanego przez lampy metalohalogenkowe. Analiza nie obejmuje wpływu regulacji strumienia świetlnego na zmianę trwałości lamp. Regulacja strumienia świetlnego lamp metalohalogenkowych była realizowana poprzez zmianę wartości napięcia zasilającego. Producenci źródeł światła nie zalecają regulacji mocy lamp metalohalogenkowych, a tym samym strumienia świetlnego ze względu na zmianę parametrów fotometrycznych światła (zmiana temperatury barwowej i ogólnego wskaźnika barw) oraz możliwości skrócenia trwałości lamp. Dopuszcza się regulację mocy lamp w realizowaną za pomocą stateczników elektronicznych jednak w ograniczonym zakresie. Pomimo tych ograniczeń postanowiono zbadać wpływ zmian mocy lamp na wartość wytwarzanego strumienia świetlnego, ogólnego wskaźnika oddawania barw i temperatury barwowej światła. Określić preferowany zakres regulacji mocy i potencjalne efekty ekonomiczne jakie może przynieść zmniejszenie mocy lamp metalohalogenkowych, przy założeniu zachowania dobrych cech jakościowych wytwarzanego światła.

Typy lamp metalohalogenkowych przyjęte do pomiarów

Do pomiarów wybrano 11 lamp metalohalogenkowych o mocach 35W, 70W i 150W. Cztery lampy o mocy 35W wytwarzające światło o temperaturze barwowej $T_c = 3000K$ i $R_a > 80$. Cztery lampy o mocy 70W, przy czym dwie lampy wytwarzające światło o temperaturze barwowej $T_c = 3000K$ i dwie lampy o $T_c = 4200K$ o ogólnym wskaźniku oddawania barw $R_a > 90$. Trzy lampy o mocy 150W, przy czym jedna lampa wytwarzająca światło o temperaturze barwowej $T_c = 4200 K$, dwie lampy o temperaturze barwowej $T_c = 3000 K$ wytwarzające światło o ogólnym wskaźniku oddawania barw $R_a > 90$. W zestawie 11 lamp znajdowały się lampy metalohalogenkowe wykonane w różnych technologiach: 2 lampy wykonane w technologii kwarcowej (jarznik wykonany ze szkła kwarcowego), 9 lamp wykonanych w technologii ceramicznej, w tym 7 lamp z

jarznikiem w kształcie walca i 2 lampy z jarznikiem wykonanym w kształcie sfery. Przykłady konstrukcji lamp metalohalogenkowych wykonanych w technologii ceramicznej z jarznikiem walcowym i w kształcie sfery znajdują się na rysunku 1.



Rys. 1. Przykłady lamp metalohalogenkowych wykonanych w technologii ceramicznej, z jarznikiem sferycznym i walcowym. [2]

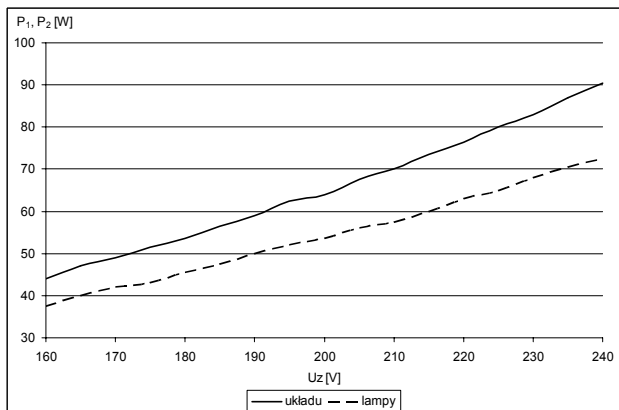
Wszystkie lampy reprezentują źródła światła, które wytwarzają światło o wysokim ogólnym wskaźniku oddawania barw $R_a > 80$ i $R_a > 90$ i temperaturach barwowych $T_c = 3000 K$ i $T_c = 4200K$.

Sposób wykonania pomiarów i obliczeń

Zmiana mocy lamp realizowana była poprzez zmianę napięcia zasilającego. W trakcie zmian napięcia zasilającego wykonywane były pomiary mocy układu, mocy lampy, wartości strumienia świetlnego, temperatury barwowej wytwarzanego światła i rozkładu widmowego wytwarzanego światła. Na podstawie pomiarów mocy lampy i strumienia świetlnego obliczana była skuteczność świetlna lampy. Na podstawie pomiarów rozkładu widmowego wytwarzanego światła wykonywane były obliczenia wartości ogólnego wskaźnika oddawania barw. W wyniku pomiarów i obliczeń uzyskano charakterystyki zmian mocy układu, mocy lampy, strumienia świetlnego, skuteczności świetlnej lampy, rozkładu widmowego wytwarzanego światła, temperatury barwowej światła i ogólnego wskaźnika oddawania barw w funkcji zmian napięcia zasilającego. Z otrzymanych charakterystyk uzyskano dane umożliwiające określenie preferowanych zakresów obniżenia mocy lamp i redukcji wartości strumienia świetlnego, przy których wartość ogólnego wskaźnika oddawania barw spełnia warunek $R_a \geq 80$.

Wpływ zmian wartości napięcia zasilającego na moc układu i lampy.

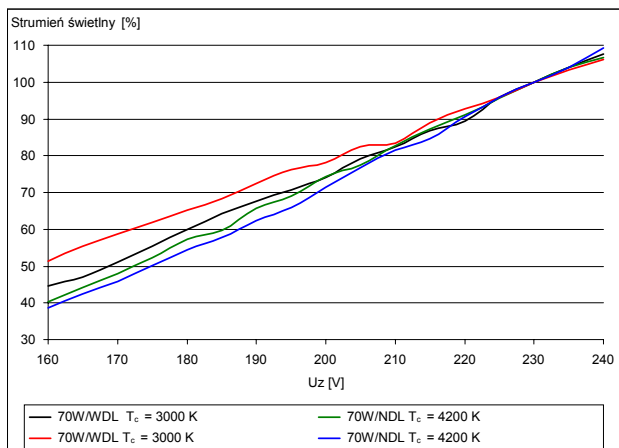
Na rysunku 2 przedstawiony jest przykładowy wpływ wartości napięcia zasilającego na moc lampy metalohalogenkowej (przykład dla źródła o mocy 70W). Charakter zmian mocy lamp i układu zasilającego w funkcji napięcia zasilającego mają podobny przebieg dla wszystkich testowanych lamp.



Rys. 2. Wpływ zmian wartości napięcia zasilającego na moc lampy i moc układu.

Wpływ zmian wartości napięcia zasilającego na wartość strumienia świetlnego

Wpływ napięcia zasilającego na wartość strumienia świetlnego przedstawiony jest na rysunku 3. Przykładowy wykres dla lamp metalohalogenkowych o mocy 70W i temperaturach barwowych wytwarzanego światła $T_c = 3000\text{ K}$ i $T_c = 4200\text{ K}$. Charakter zmian wartości strumienia świetlnego w funkcji napięcia zasilającego jest podobny dla wszystkich testowanych lamp.

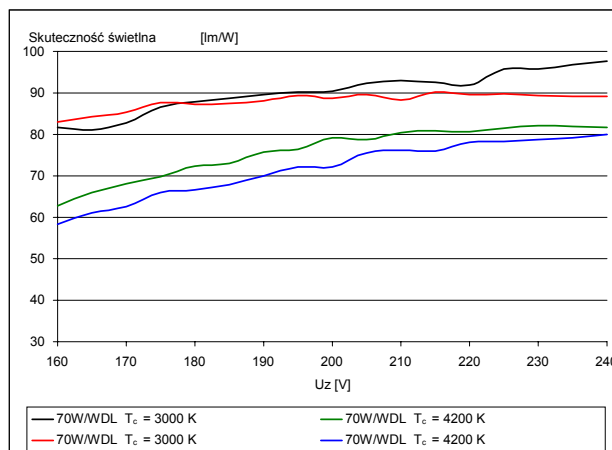


Rys. 3. Wpływ zmian wartości napięcia zasilającego na strumień świetlny.

Wpływ zmian wartości napięcia zasilającego na skuteczność świetlną lamp.

Zmiany skuteczności świetlnej lamp (na przykładzie lamp o mocy 70W) w funkcji zmian napięcia zasilającego przedstawione są na rysunku 4. Obniżenie skuteczności świetlnej wraz ze zmniejszeniem wartości napięcia zasilającego (tym samym mocy lamp) jest charakterystyczne dla wszystkich testowanych lamp. W

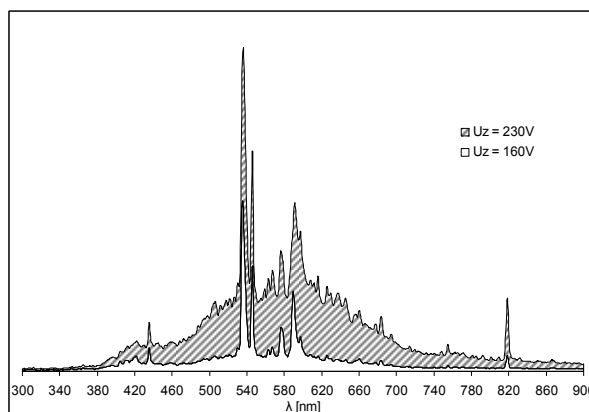
zakresie napięć od 230 V do 200 V zmiany skuteczności świetlnej nie są zbyt duże, zmiany wahają się w zakresie kilku procent.



Rys. 4. Wpływ zmian wartości napięcia zasilającego na skuteczność świetlną

Wpływ zmian wartości napięcia zasilającego na rozkład widmowy wytwarzanego światła

Przykład wpływu zmian napięcia zasilającego (mocy lampy) na rozkład widmowy światła wytwarzanego przez lampę o mocy 70 W pokazany jest na rysunku 5. Lampa w warunkach znamionowych wytwarza światło o temperaturze barwowej $T_c = 4200\text{ K}$.

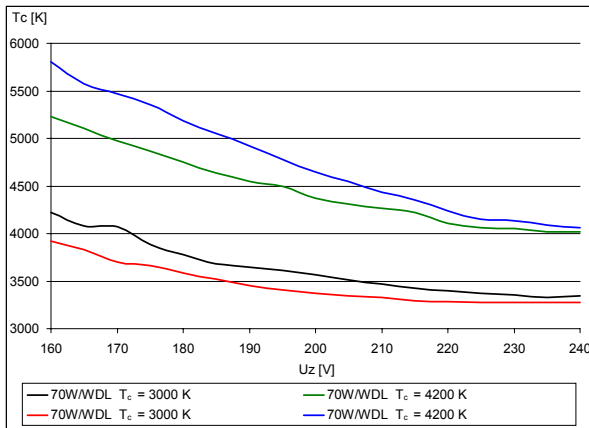


Rys. 5. Wpływ zmian wartości napięcia zasilającego na rozkład widmowy promieniowania lampy o mocy 70W.

Pomiar rozkładu widmowego światła umożliwił obliczenie ogólnego wskaźnika oddawania barw i jego zmiany w funkcji mocy lampy (napięcia zasilającego).

Wpływ zmian napięcia zasilającego na wartość temperatury barwowej wytwarzanego światła

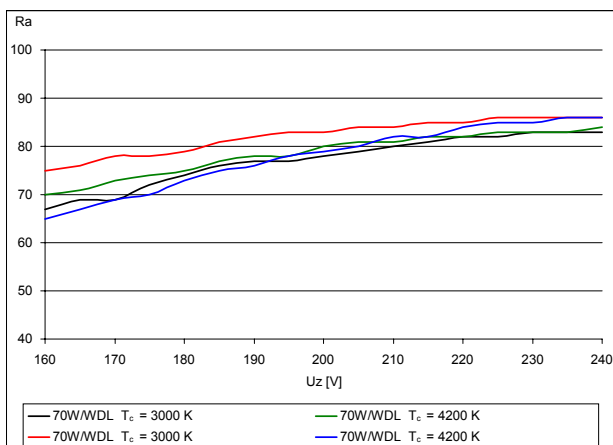
Wpływ zmian mocy lampy na wartość temperatury barwowej światła pokazany jest na rysunku 6. Dla wszystkich badanych lamp metalohalogenkowych charakterystyczny jest wzrost temperatury barwowej światła w trakcie zmniejszania ich mocy.



Rys. 6. Wpływ zmian wartości napięcia zasilającego na wartość temperatury barwowej wytwarzanego światła.

Wpływ zmian napięcia zasilającego na wartość ogólnego wskaźnika oddawania barw

Dla wszystkich badanych lamp zaobserwowano zmniejszenie wartości ogólnego wskaźnika oddawania barw w wyniku zmniejszenia mocy lamp (zmniejszenia napięcia zasilającego). Badane lampy w warunkach znamionowych wytwarzały światło o ogólnym wskaźniku oddawania barw $R_a > 80$, za granicę racjonalnej regulacji mocy lampy przyjęto warunek $R_a \geq 80$.



Rys. 7. Wpływ zmian wartości napięcia zasilającego na wartość ogólnego wskaźnika oddawania barw wytwarzanego światła.

Preferowane zmiany mocy lamp metalohalogenkowych

Na podstawie wyników pomiarów strumienia świetlnego, rozkładu widmowego światła, temperatury barwowej światła i obliczeń ogólnego wskaźnika oddawania barw przyjęto racjonalne zakresy regulacji mocy badanych lamp metalohalogenkowych. Zakresy te dla wybranych typów lamp znajdują się w tabeli 1. Za racjonalny zakres regulacji mocy lampy przyjęto warunek, aby wartość ogólnego wskaźnika oddawania barw wytwarzanego światła nie była mniejsza od 80 ($R_a \geq 80$).

Tabela 1. Preferowane zmiany mocy lamp metalohalogenkowych

Moc lampy [W] T_c [K]	U_z [V]	R_a [-]	$\Delta\Phi$	ΔP
			[lm] [%]	[W] [%]
P = 35 W $T_c = 3000$ K	230 - 225	81 - 81	121,0	1,5
			4,0	3,3
P = 70 W $T_c = 3000$ K	230 - 185	86 - 81	1932,0	26,5
			31,8	31,9
P = 70 W $T_c = 4200$ K	230 - 200	83 - 80	1478,0	19,0
			25,7	22,6
P = 70 W $T_c = 3000$ K	230 - 210	83 - 80	1217,0	14,0
			17,7	16,3
P = 150 W $T_c = 3000$ K	230 - 215	83 - 80	2012,0	21,0
			14,4	12,9

Wnioski końcowe

W wyniku wykonanych obliczeń ogólnego wskaźnika oddawania barw w funkcji zmian mocy lampy, można stwierdzić, że istnieje zakres regulacji mocy, w którym badane lampy wytwarzały światło o ogólnym wskaźniku oddawania barw $R_a \geq 80$. W wyniku redukcji mocy lampy można liczyć na oszczędności w zużyciu energii elektrycznej. Redukcja mocy lamp metalohalogenkowych może przynieść korzyści w zmniejszeniu zużycia energii elektrycznej bez uszczerbku dla jakościowych cech oświetlenia (R_a). Zmniejszenie mocy lamp, tym samym zmniejszenie zużycia energii elektrycznej, może być większe przy założeniu szerszego zakresu zmian wartości ogólnego wskaźnika oddawania barw (np. $R_a \geq 70$). Należy zwrócić uwagę, że nie mierzono wpływu zmian napięcia zasilającego na trwałość lamp.

BIBLIOPGRAPHY

- [1] OSRAM's Catalogue – Lichtprogramm 2008 / 2009
- [2] The thesis written under the author's supervision by Piotr Matuszewski : The measurement of basic photometric and electric parameters of metalhalide lamps.
- [3] OSRAM, technical catalogue - Technical information on reducing the wattage of HID lamps, Marc 2009

The author: **PhD/ EngD** Andrzej Wiśniewski, The Warsaw University of Technology, Faculty / Institute of Electrical Engineering, 75 Koszykowa Street, Warsaw 00 662 - [ul.Koszykowa 75 00-662 Warszawa](mailto:ul.Koszykowa75.00-662.Warszawa), E-mail: Andrzej.Wisniewski@ien.pw.edu.pl

SEPIC converter for high power LED lighting

Abstract. The SEPIC converter for high brightness LED lighting applications supplied from the lithium-ion batteries is discussed. It was built using specialized integrated chip MCP1651 and additional microcontroller from AVR family – Attiny13, for additional functionality. Typical application of MCP1651 was extended of a couple of elements. The converter was tested experimentally and some results are presented.

Keywords: LED, SEPIC, DC/DC converter.

Introduction

Recently, high brightness LED lighting in residential, automotive, industry and many other applications becomes feasible and in many cases can replace the incandescent bulbs, halogen bulbs or compact fluorescent light bulbs as well. In such applications, high efficiency, high power factor and low harmonics are particularly important. It can also be significant to step up or step down the input voltage with possibly simple single-stage conversion for low cost and high efficiency. A single-ended primary-inductance converter (SEPIC) can meet all the needs especially when the output current is relatively not to high. SEPIC converter has the ability to regulate an output voltage that is either larger or smaller in magnitude than the input voltage.

The SEPIC converter is a good solution in applications supplied from a battery. In such cases, voltage can be above and below that of the applications needs. For example, a single lithium-ion battery typically discharges from 4.2 volts to below 3 volts, if some application requires for example 3.5 volts, the SEPIC would be effective. This kind of applications requires very efficient power conversion in order to improve the battery life.

The SEPIC converter is a DC/DC-converter topology that provides a positive regulated output voltage from an input voltage that varies from above to below the output voltage. This type of conversion is very convenient for supplying devices from an unregulated input power supply (which sometimes consists of a transformer, rectifying bridge and a capacitor only) or from different kinds of accumulators and batteries. There are some disadvantages also. The SEPIC topology requires two inductors and expensive ceramic capacitors with relatively huge capacitance with very small ESR. Instead of using two separate inductances, a coupled inductor can be used, thanks to similar shape of currents. Coupled inductors are sold in a single package at a cost only slightly higher than that of the comparable single inductor. The coupled inductor not only provides a smaller footprint but also, to get the same inductor ripple current, requires only half the inductance required for a SEPIC converter with two separate inductors. When the converter operates with high switching frequency, passive elements can be very small which can be important in many portable applications.

In this article, SEPIC converter for high brightness LED lighting applications supplied from the lithium-ion batteries is discussed. It was built using specialized integrated chip MCP1651 and additional microcontroller from AVR family – Attiny13, for additional functionality. Typical application of MCP1651 was modified of a couple elements. There is added additional inductance which filters the LED current (L_3), additional potentiometer allowing for dimmable LED current, microcontroller which can control turn on, turn off the SEPIC converter and signalize too low battery voltage. It can also be used to periodically turn on or off the LED

lighting according to the applications needs. Presented converter can be easily controlled with analog voltages and can deliver dimmable LED light thanks to additional resistor-potentiometer R2. The R2 resistor can be used to regulate the feedback voltage of the MCP1651. The discussed circuit has certain advantages, like only one stage of power conversion and no need to sense the input voltage. It can step up and down the supply voltage and has dimmable LED current. A practical evaluation board based on the specialized device MCP1651 and AVR microcontroller ATtiny13 was developed to verify the proposed design and some experimental results are presented.

SEPIC converter

General scheme of SEPIC converter is presented in Fig. 1.

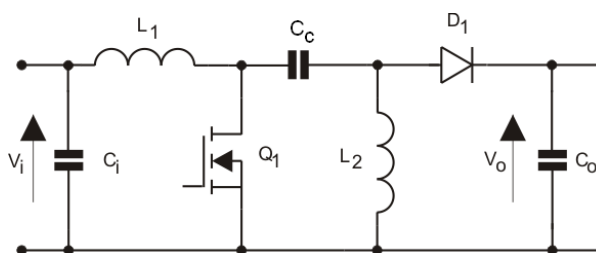


Fig.1. SEPIC converter

The Fig.1 shows a simple circuit diagram, consisting of an input capacitor C_i , an output capacitor C_o , inductors L_1 and L_2 (which can be coupled), an AC coupling capacitor C_c , a power MOSFET transistor Q_1 and a diode D_1 . During steady-state and continuous conduction mode of operation, pulse-width modulation operation, and neglecting ripple voltage, coupling capacitor C_c is charged to the input voltage V_i . When Q_1 transistor is turned off, the voltage across L_2 is equal V_o . Since C_i is charged to V_i , the voltage across Q_1 (when Q_1 is turned off) is $V_i + V_o$. The voltage across L_1 is V_o . When Q_1 is on, capacitor C_c , which is charged to V_i , is connected in parallel with L_2 , so the voltage across L_2 is equal V_i . When Q_1 is on, energy is being stored in L_1 from the input and in L_2 from C_c . When Q_1 turns off, L_1 's current continues to flow through C_c and D_1 into C_o and the load. Both C_o and C_c get recharged so that they can provide the load current and charge L_2 , respectively, when Q_1 turns back on.

Such simple SEPIC circuit (Fig. 1) requires for normal operation a couple of additional elements to control the output voltage or current and to control the duty cycle of Q_1 . In this article, the SEPIC converter for high power LED lighting applications is described, which was built using specialized integrated chip MCP1651 and additional microcontroller from AVR family – Attiny13. Additional inductance L_3 filters the LED current while additional

potentiometer allows to dim the LED current. The AVR microcontroller controls turn on, turn off of the SEPIC converter and signalize low battery voltage. It can also be used to periodically turn on or off the LED lighting according to the applications needs. The proposed application of the SEPIC converter for high power LED lighting is presented in Fig. 2.

The output voltage regulation is accomplished by comparing the output voltage (sensed through an external resistor divider R1, R2 and R3) to a internal reference inside the MCP1651. When the sensed output voltage is below the reference, the EXT pin pulses the external N-channel MOSFET Q1 on and off at the maximal 750 kHz gated oscillator frequency. Energy is stored in the boost inductor when the external N-channel MOSFET is on and is delivered to the load through the external Schottky diode when the MOSFET is turned off. Several pulses may be required to deliver enough energy to pump the output voltage above the upper hysteric limit. Once above the hysteric limit, the internal oscillator is no longer gated to the EXT pin and no energy is transferred from input to output.

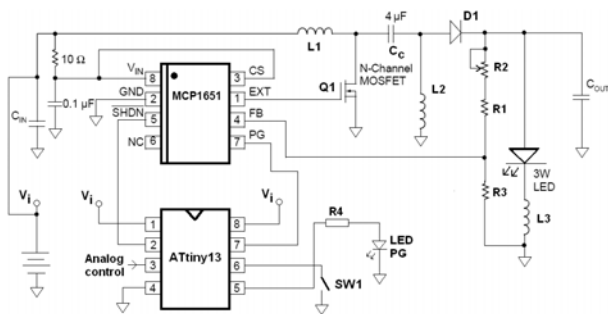


Fig.2. SEPIC converter for high power LED lighting

The range of input voltage for the MCP1651 family of devices is specified from 2.0V to 5.5V. For the S-option devices, the under voltage lockout (UVLO) feature will turn the boost controller off once the input voltage falls below 2.55V. The MCP1651 can operate over a wide input voltage range (from 2.0V for the R-option devices to 5.5V) to accommodate multiple primary-cell and single-cell Li-Ion battery-powered applications. The MCP1651 R-option devices are recommended for use when “bootstrapping” the output voltage back to the input. Bootstrap application means that the input of the MCP1651 device is supplied by the output voltage during boost operation. This can be used to derive output voltages from input voltages that start up at approximately 2V. The output voltage is fed back through a resistor divider to the FB pin. It is then compared to an internal 1.22V reference. When the divided-down output is below the internal reference, the EXT pin pulses the Q1 N-channel MOSFET on and off, to transfer energy from the source to the load at 750 kHz. This will cause the output voltage to rise until it is above the 1.22V threshold, thereby gating the internal oscillator off. Hysteresis is provided within the comparator and is typically 12 mV. The rate at which the oscillator is gated on and off is determined by the input voltage, the load current, the hysteresis voltage and the inductance. The output ripple voltage will vary depending on the input voltage, the load current, the hysteresis voltage and the inductance. The external switch peak current is sensed on the CS pin across an optional external current sense resistor. If the CS pin falls more than 122 mV below V_i , the current limit comparator is set and the pulse is terminated. This prevents the current from getting too high and damaging the N-channel MOSFET. In the

described application, the current limit resistor is not used. The EXT output pin is designed to directly driver external N-channel MOSFETs and is capable of sourcing 400 mA (typical) and sinking 800 mA (typical) for fast on and off transitions. The top side of the EXT driver is connected directly to V_{IN} , while the low side of the driver is tied to GND, providing rail-to-rail driver capability. To control the speed of the turn on and off an external resistor can be connected in series with the N-channel MOSFET Q1. By slowing the transition speed down, there will be less high frequency noise generated. Speeding the transition up produces higher efficiency. For bootstrap configuration, the higher-regulated boost output voltage is used to power the MCP1651. This provides a constant higher voltage used to drive the external MOSFET. The R-option device can be used for applications that need to start up with the input voltage below 2.7V. For this type of application, the MCP1651 will start off of the lower 2.0V input and begin to boost the output up to its regulated value. As the output rises, so does the input voltage of the MCP1651. This provides a solution for 2-cell alkaline inputs for output voltages that are less than 6V (because of possible damage of MCP device).

The SEPIC components selection

Components selection of the SEPIC converter and calculations are based on [1, 2 and 3]. General assumptions: input voltage (V_{IN}): 2.8 – 4.2 V, output voltage (V_O): 3.2 V, output current (I_O): 1.1 A, switching frequency f_s : 750 kHz, V_D : 0.5 V, peak-to-peak ripple current approximately 35% of the maximum input current at the minimum input voltage.

Assuming 100% efficiency, for a SEPIC converter operating in a continuous condition mode, where the inductors current never falls to zero, the maximal and the minimal duty cycle under given assumptions are equal (1) and (2):

$$(1) \quad D_{(max)} = \frac{V_O + V_D}{V_{IN(min)} + V_O + V_D} = 0.57$$

where: V_D is the forward voltage drop of the diode D, which should be as small as possible to keep the performance on the high level.

The Schottky diode is recommended in such purpose. The minimum duty cycle is under maximum input voltage:

$$(2) \quad D_{(min)} = \frac{V_O + V_D}{V_{IN(max)} + V_O + V_D} = 0.47$$

where: V_D is the forward voltage drop of the Schottky diode.

For inductors selection, the peak-to-peak ripple current should be known:

$$(3) \quad \Delta I_L = I_{IN} \cdot 35\% = 0.39A$$

The inductors values can be calculated as follows:

$$(4) \quad L1 = L2 = \frac{V_{IN(min)}}{\Delta I_L \cdot f_s} \cdot D_{(max)} = 4,5\mu H$$

where: f_s is the Q1 switching frequency.

If L1 and L2 are wound on the same core, the value of inductance L1 and L2 can be divided by two due to mutual

inductance. To ensure the inductors does not saturate, the peak currents in the inductors can be calculated:

$$(5) \quad I_{L1(peak)} = I_O \cdot \frac{V_O + V_D}{V_{IN(min)}} \cdot \left(1 + \frac{0.35}{2}\right) = 1.7A$$

$$(6) \quad I_{L2(peak)} = I_O \cdot \left(1 + \frac{0.35}{2}\right) = 1.3A$$

To select the MOSFET transistor Q1, a couple of parameters should be considered. Namely, the on-resistance ($R_{DS(on)}$), the minimum threshold voltage ($V_{th(min)}$) – which is very important especially under battery power supply and the maximum drain to source voltage ($V_{DS(max)}$).

The peak switch voltage is equal to:

$$(7) \quad V_{DS(peak)} = V_{IN(max)} + V_O = 7.4V$$

The peak switch current is given by:

$$(8) \quad I_{Q1(peak)} = I_{L1(peak)} + I_{L2(peak)} = 3A$$

The RMS current through the switch is given by:

$$(9) \quad I_{Q1(RMS)} = I_O \sqrt{\frac{(V_O + V_{IN(min)} + V_D) \cdot (V_O + V_D)}{V_{IN(min)}^2}} = 1.9A$$

The output diode must be selected to handle the peak current and the reverse voltage. In a SEPIC converters, the diode peak current is the same as the switch peak current (8). The average diode current is equal to the output current. The minimum peak reverse voltage the diode must withstand is:

$$(10) \quad V_{DR} = V_{IN(max)} + V_O = 7.4V$$

The power dissipation of the diode is equal to the output current multiplied by the forward voltage drop of the diode, so to minimize the power losses, Schottky diodes are recommended.

Very important for the overall performance is the coupling capacitor C_s . The capacitor must be rated for a large enough RMS current relative to the output current. This property makes the SEPIC much better suited to lower power applications where the RMS current through the capacitor is relatively small (relative to capacitor technology). The voltage rating of the SEPIC capacitor must be greater than the maximum input voltage. Ceramic capacitors are the best choice in such purpose.

The peak-to-peak ripple voltage on C_s (assuming low ESR ceramic capacitor):

$$(11) \quad \Delta V_{Cs} = \frac{I_O \cdot D_{(max)}}{C_s \cdot f_s} = 0.17V$$

The coupling capacitor must handle the maximum RMS output current:

$$(12) \quad I_{Cs(RMS)} = I_O \cdot \sqrt{\frac{V_O + V_D}{V_{IN(min)}}} = 1.26A$$

After discussed calculations, the following elements was selected: coupling capacitor: $4\mu F$ ceramic, Q1 transistor: IRL014NPBF, diode BY510-45.

Experimental Verifications

To verify the feasibility of the studied LED driver, a laboratory prototype with following specifications was designed and tested: input voltage adequate to Li-ion battery: 2.8 – 4.2 V, switching frequency: 750 kHz, maximal output current: 1.1 A, rated output voltage: 3.2 V. Some of experimental results are presented in Figures 3, 4, 5, 6, 7.

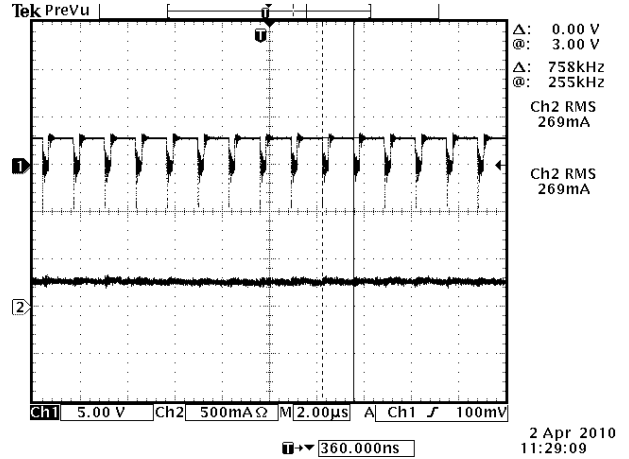


Fig.3. Q1 control signal -1 and output current -2, switching frequency $f_s = 758$ kHz, $V_i = 3$ V, $I_i = 1.3$ A.

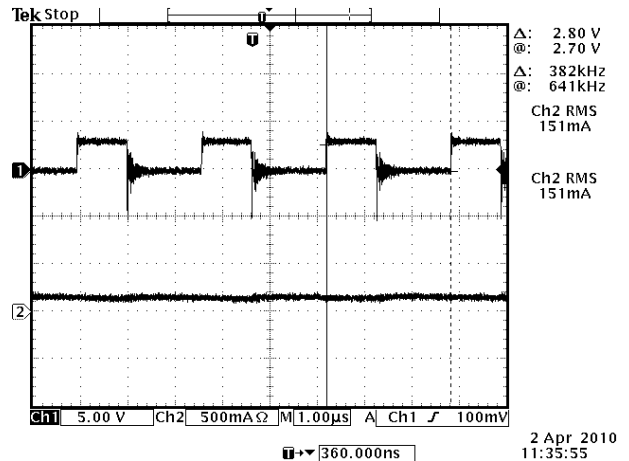


Fig.4. Q1 control signal -1 and output current -2, switching frequency $f_s = 382$ kHz, $V_i = 3$ V, $I_i = 0.36$ A.

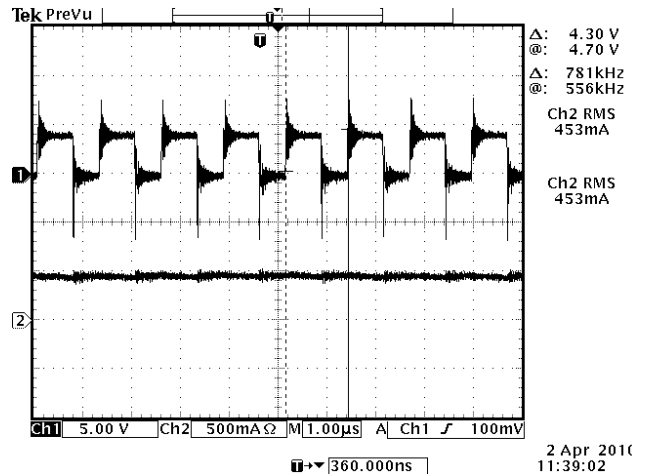


Fig.5. Q1 control signal -1 and output current -2, switching frequency $f_s = 781$ kHz, $V_i = 4.1$ V, $I_i = 0.76$ A.

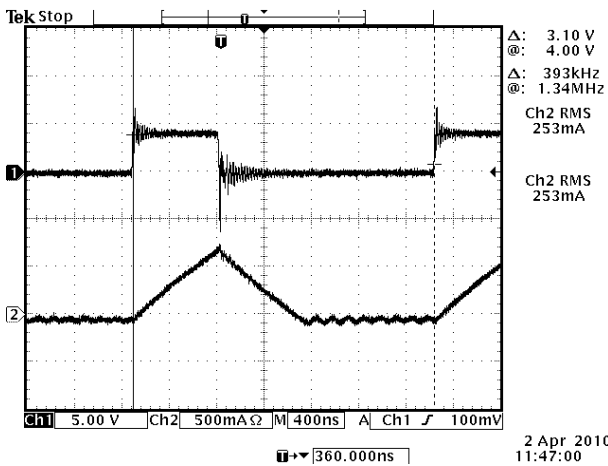


Fig.6. Q1 control signal -1 and inductance L2 current -2, not CCM mode, switching frequency $f_s=394$ kHz, $V_i = 4.1$ V, $I_i=0.19$ A, $I_o=0.1$ A.

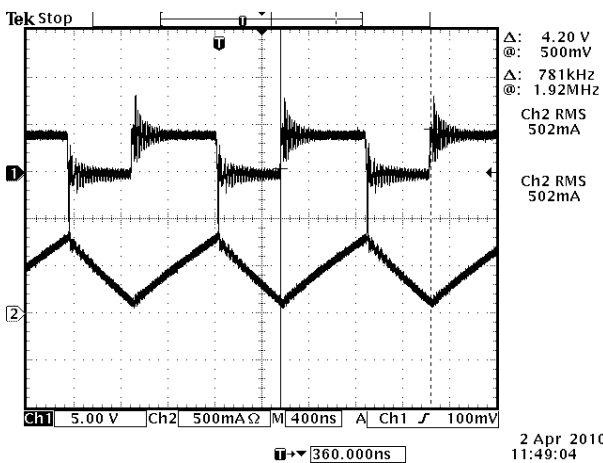


Fig.7. Q1 control signal -1 and inductance L2 current -2, CCM mode, switching frequency $f_s=781$ kHz, $V_i = 4.1$ V, $I_i=0.76$ A, $I_o=0.45$ A.

The output current was regulated using R2 during the experiment. When not bootstrap configuration is

considered, a transistor with very low V_{GS} threshold voltage should be selected.

This paper was supported by S/WE/1/06

Conclusions

The SEPIC converter for high brightness LED lighting applications supplied from the lithium-ion batteries is discussed. It was built using specialized integrated chip MCP1651 and additional microcontroller from AVR family – Attiny13, for additional functionality. Typical application of MCP1651 was extended of a couple of elements. The converter was tested experimentally and some results are presented. The converter works well, especially at higher input voltages, when the efficiency is higher. Lower input voltages like 2,7 or less are also possible, but the efficiency will be worse. For very low input voltages, proposed configuration can be simply modified for bootstrap operation. The bootstrap applications will work with output voltage not higher than 6 V. Additional potentiometer R2 allows for easy regulation of the output current which can be used for dimming LED light intensity.

REFERENCES

- [1] Application Note 1051: <http://www.maxim-ic.com/an1051>
- [2] Application Note 1484: <http://www.national.com>
- [3] Falin J., Designing DC/DC converters based on SEPIC topology, *Analog Applications Journal*, 4Q 2008, <http://www.ti.com/>
- [4] Ye Z., Greenfeld F., Liang Z., Single-Stage Offline SEPIC Converter with Power Factor Correction to Drive High Brightness LEDs, Applied Power Electronics Conference and Exposition, 2009. APEC 2009. Twenty-Fourth Annual IEEE, 546 - 553

Author: Wojciech Wojtkowski Ph.D., Bialystok University of Technology, Faculty of Electrical Engineering, Wiejska 45, 15-351 Bialystok, E-mail: w.wojtkowski@we.pb.edu.pl;

O potrzebie modyfikacji bazy danych fotometrycznych opraw oświetleniowych.

Streszczenie. W artykule poruszono zagadnienie modyfikacji sposobów przeprowadzania pomiarów fotometrycznych niektórych opraw oświetleniowych. Szczególnie dotyczy to opraw z wieloma źródłami elektroluminescencyjnymi (LED). Także klasyczne oprawy ale wykorzystywane w asymetrycznych sytuacjach oświetleniowych wymagają innego sposobu rejestrowania bazy danych fotometrycznych. Artykuł pokazuje również nowe możliwości w zakresie prezentowania rozkładów luminancji opraw.

Abstract. The issues of photometric measurement modification of some luminaires were discussed in this paper. The matter applies for multisource LED luminaires particularly. Typical luminaires, but used in asymmetric lighting situations, need another way of photometric data registering as well. New opportunities in the field of luminaire's luminance distribution presentation were also shown in this paper (**On the need for luminaire photometric data modification**).

Słowa kluczowe: technika świetlna, fotometria, odległość fotometrowania, bryła fotometryczna.

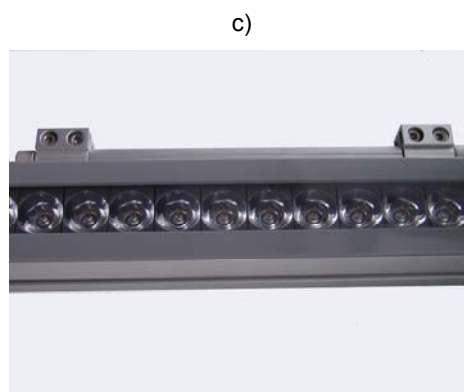
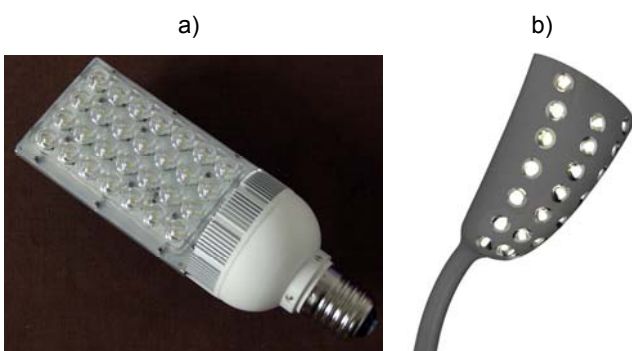
Keywords: lighting technology, photometry, photometric measurement distance, luminous intensity distribution.

Wstęp

Znane i obowiązujące do chwili obecnej zasady pomiarów fotometrycznych opraw oświetleniowych są związane z tzw. graniczną odległością fotometrowania [1]. Określa ona jak, i z jakiej odległości, należy mierzyć światłość oprawy oświetleniowej w różnych kierunkach, w jakim systemie fotometrycznym (np. C-γ) należy te badania prowadzić. Wszystko to zostało ustalone dużo wcześniej i stanowi kanony klasycznej fotometrii. Te wydawałoby się nienaruszalne zasady mogą a w zasadzie powinny zostać zmodyfikowane, a to głównie za sprawą pojawienia się wieloźródłowych opraw oświetleniowych wykorzystujących diody elektroluminescencyjne. Innym powodem zmuszającym do weryfikacji zasad badań fotometrycznych niektórych opraw oświetleniowych są specyficzne warunki dystrybucji strumienia świetlnego w kierunku obiektu oświetlanego. Jest jeszcze jeden powód, który podpowiada potrzebę pewnej modyfikacji zasad określania charakterystyk świetlnych opraw oświetleniowych. Jest nim następstwo rozwoju metod pomiarowych i obliczeniowych opraw oświetleniowych opierające się na digitalizacji wyników, zatem prowadzące do wielokrotnie większej dokładności określania rozkładu luminancji powierzchni wyjściowej.

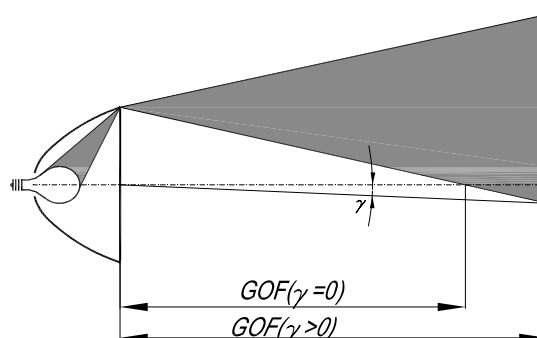
Badania fotometryczne wieloźródłowych opraw z diodami elektroluminescencyjnymi

W chwili obecnej wyodrębnić można trzy podstawowe rozwiązania opraw oświetleniowych wykorzystujących diody świecące. Jednym z nich jest tzw. oprawa powielająca (zespół n-diodowy o identycznym ukierunkowaniu i elementarnej bryle fotometrycznej zamontowanych na płaskiej matrycy). Drugim oprawa z indywidualnie ukierunkowanymi elementarnymi diodami zamocowanymi na niepłaskiej (najczęściej wypukłej) powierzchni. Trzecia to linia utworzona z rozmieszczonych obok siebie diod.



Rys. 1. Trzy podstawowe rozwiązania opraw oświetleniowych z diodami elektroluminescencyjnymi: a) matryca powielająca, b) matryca przestrzenna, c) linia diodowa

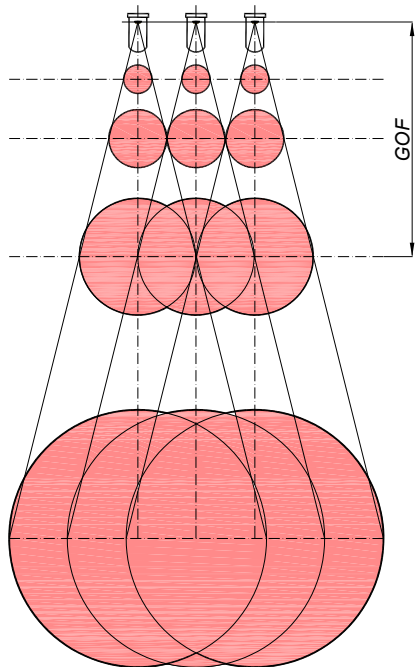
Gdyby rozważania ograniczyć chwilowo do matrycy powielającej, to analizę warunków przeprowadzania pomiarów takich opraw można by prowadzić analogicznie jak w przypadku układu optycznego reflektora zwierciadlanego z jednym źródłem (rysunek 2), które emituje szereg identycznych odbić elementarnych.



Rys. 2. Klasyczna zasada wyznaczania granicznej odległości fotometrowania (GOF) dla reflektorów zwierciadlanych

Na rysunku 3 pokazano zależności geometryczne jakie zachodzą pomiędzy elementarnymi wiązkami wyemitowanymi z poszczególnych diod. Dopiero od pewnej odległości (GOF) wiązki elementarne uczestniczą w

oświetlaniu punktów położonych na osi i według starych zasad fotometrii odległość ta wyznacza minimalny odstęp pomiaru bryły fotometrycznej. Jednak już patrząc na kształt plamy świetlnej (różowe koła) widać, że graniczna odległość fotometrowania dla linii świetlnej złożonej z diod będzie osiągnięta dopiero wówczas, gdy obrys (kontur) łącznej plamy świetlnej będzie kołem. Teoretycznie jest to w nieskończoności.



Rys. 3. Ilustracja specyficznych warunków wyznaczania GOF dla zespołu trzech diod (linia świetlna) o tym samym kierunku osi optycznej

Dodatkowo należy zauważyć, że wiązka elementarnej diody nie jest jednorodna pod względem fotometrycznym. Charakteryzuje się indywidualnym rozsyłem światłości, zatem w punktach na osi, poza GOF dodawane są różne światłości pochodzące od elementarnych wiązek. Gdyby te teoretyczne rozważania ograniczyć wyłącznie do układu trzech diod, to można prześledzić jak zmienia się sumaryczna światłość zespołu przy oddalaniu się od punktu GOF (tabela 1).

Tabela 1. Błąd pomiarów światłości zespołu trzech diod wynikający ze zbyt bliskiej odległości fotometrowania

OF (m) odległość od reflektora	I (%) światłość względna	δ (%)
GOF=0,57	33,3	66,6
1	62,0	38,0
2	81,0	19,0
3	87,0	12,7
4	90,3	9,7
5	92,3	7,7
10	96,3	3,7
20	98,0	2
30	99,0	1

Przyjmując, zgodnie z podstawami fotometrii, błąd wyznaczania światłości nie większy niż 1%, otrzymuje się skorygowaną graniczną odległość fotometrowania, wielokrotnie większą niż ta, która wynika z dotychczasowych ustaleń fotometrii. W podanym na rysunku 3 i w tabeli 1 przykładzie, wyznaczono obie

odległości przy założeniu, że linię świetlną stanowi zespół utworzonej przez 3 identyczne diody, odległe od siebie o 5 cm, których elementarne rozsyły światłości charakteryzuje kąt rozbieżności użytecznej wiązki 10^0 . Wyniki obliczeń błędu popełnianego przy zbyt krótkiej odległości linia świetlna–ogniwo obliczone zostały w podanym przykładzie przy założeniu, że rozsył światłości elementarnych diod jest liniową zależnością w funkcji kąta (trójkątny wykres światłości).

Linia świetlna składająca się z np. 24 diod ma długość około 120 cm [2] i jak pokazuje rysunek 3 w dużej odległości tworzyć będzie na prostopadłej ścianie symetryczną obrotowo kolistą plamę świetlną a w niewielkiej odległości obrazem plamy świetlnej będzie silnie wydłużony prostokąt. W jednym i drugim przypadku bryła fotometryczna będzie zasadniczo różna zarówno pod względem kształtu jak i wartości poszczególnych światłości. Tego typu oprawa, jak pokazuje praktyka może być wykorzystywana zarówno do oświetlenia obiektów blisko jak i daleko odległych od niej samej. Mało tego, mogą zachodzić takie potrzeby czy pomysły oświetlenia, przy których przy jednym ustawieniu opraw w niektórych częściach przestrzeni świeci z bliskiej odległości a w innych z dalekiej. Oświetlenie barierki tralkowej zwieńczającej zabytkowy gmach dokonuje się przy pomocy linii świetlnej zamocowanej u podstawy barierki i skierowanej pionowo do góry. Są to krótkie odległości linia świetlna–obiekt (poniżej granicznej odległości fotometrowania). Jednak bywa też i tak, że linia taka bywa wykorzystywana tak, aby w dużej odległości utworzyć okrągłą plamę świetlną. Ten efekt jest możliwy przy dużej odległości linia–obiekt.

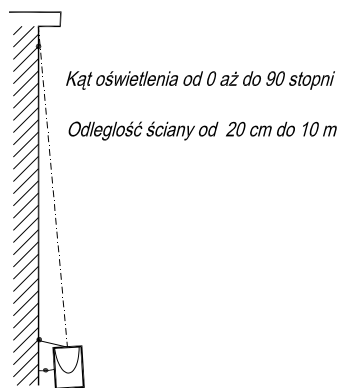
Zatem w jakich warunkach powinna być fotometrowania linia świetlna (oprawa wieloźródłowa z diodami elektroluminescencyjnymi)? Z bliska czy z daleka? Wydaje się, że żadna z tych propozycji nie jest właściwa. Prawdopodobnie, jako dane fotometryczne producenta, powinna być podana charakterystyka przestrzenna jednej elementarnej diody tworzącej linię. W obliczeniach projektowych diody te należy powielić tyle razy i umieścić w takich miejscach jak to wynika z budowy linii (oprawy). Dopiero wówczas nie popełni się błędów i to niezależnie, czy oprawa będzie wykorzystywana do oświetlenia bliskich czy dalekich obiektów.

Bryła fotometryczna oprawy użytkowanej w silnie asymetrycznych warunkach

Są takie sytuacje wzajemnego położenia oprawy oświetleniowej i obiektu oświetlania, które można nazwać silnie asymetrycznymi. Reflektor iluminacyjny przytwierdzony bezpośrednio do oświetlanej ściany elewacji i skierowany do niej bardzo skośnie, oświetla bezpośrednio otoczenie z bliska, ale jednocześnie utworzony akcent świetlny sięgający znacznej wysokości ponad reflektorem. Zatem w takich warunkach reflektor oświetla równocześnie bliska i z daleka.

Reflektor samochodowy (np. światła mijania) ma przede wszystkim realizować oświetlenie daleko położonych od pojazdu rejonów jezdni i pobocza (25-60 m), ale jednocześnie oświetla przedpole pojazdu tuż przed nim, znajdujące się w odległości kilku metrów.

Asymetryczny naświetlacz iluminacyjny umieszczony w niewielkiej odległości od oświetlanej ściany oświetla ją na znacznym obszarze ponad ziemią. Dolne partie ściany są oddalone od tego naświetlacza o co najwyżej kilka metrów a górne o kilkanaście. Zatem oprawa taka również pracuje w silnie asymetrycznych warunkach odległości.



Rys. 4. Skrajnie asymetryczne warunki geometryczne oświetlenia: odległość oświetlenia od 20 cm do kilkunastu metrów, kąt oświetlenia prawie 90° . Z jakiej odległości mierzyć charakterystykę świetlną takiego reflektora?

Pokazane sytuacje oświetleniowe przekonują, że ani klasyczny system fotometryczny (z odległości większej niż GOF) ani zmodyfikowany do mniejszej odległości, nie jest w stanie zrealizować potrzeb i dokładności wynikających ze skrajnie różnych odległości. Wydaje się również, że jedynym rozwiązaniem tego problemu jest akceptacja pomysłu, aby dane fotometryczne takich opraw stanowił zespół brył fotometrycznych (baza kilku brył fotometrycznych) zarejestrowanych z kilku odległości od oprawy: z bliska, ze średniej odległości oraz z odległości większej niż GOF. Zwiększa to ilość danych fotometrycznych stanowiących bazę, ale możliwości obliczeniowe dzisiejszych komputerów używanych do obliczeń oświetleniowych z powodzeniem poradzą sobie z takim zmodyfikowanym zadaniem. Należałoby tylko zgłębić zagadnienie dla ilu odległości należy stworzyć taką bazę danych fotometrycznych. Można sobie wyobrazić, że dla potrzebnych, praktycznych odległości oprawy od obiektu, dla których baza nie dysponuje odpowiednią bryłą fotometryczną, przeprowadzone będą obliczenia aproksymacyjne, na podstawie dwóch brył sporządzonych dla najbliższych danej odległości.

Jak pokazują pewne wyniki badań prowadzonych w tym kierunku [3] problem dotyczy w pierwszej kolejności opraw o niewielkim kącie przestrzennym wiązki światła, zatem jest on przede wszystkim aktualny dla wąskokątnych reflektorów zwierciadlanych o dużych wzmocnieniach światłości.

Obecne możliwości charakterystyk świetlnych opraw oświetleniowych

W praktyce projektowej, mimo znacznego rozwoju metod obliczeniowych i pomiarowych opraw oświetleniowych, w dalszym ciągu do wykorzystania przez projektantów, oferowana jest bryła fotometryczna oprawy czyli przestrzenny rozkład światłości wyznaczony dla odległości większej niż graniczna. W programach komputerowych używanych do obliczania zapisywana jest jedna bryła fotometryczna, „wektory” światłości zaczepione są w jednym punkcie co oznacza, że nie uwzględnia się realnych gabarytów opraw oświetleniowych oraz faktu, że emisja strumienia świetlnego dokonuje się z całej powierzchni układu optycznego a nie z jednego punktu. Jeśli idzie o luminancję oprawy a w zasadzie o bryłę fotometryczną luminancji, ponieważ wielkość ta bardzo silnie zmienia się z kierunkiem, wykorzystywane bywają dane będące efektem obliczenia luminancji z ilorazu światłości i powierzchni pozornej. Uzyskuje się zatem wiedzę nie o rzeczywistej luminancji i o jej rozkładzie ale

wątpliwie potrzebną informację o luminancji średniej. Te wstępne rozważania prowadzą do wniosku, że mimo obecnych możliwości dostępu do szerokiego spectrum wiedzy o właściwościach fotometrycznych opraw w praktyce wykorzystuje się w dalszym ciągu wyłącznie tradycyjną bryłę fotometryczną i to określoną z jednej stałej odległości fotometrycznej. Warto więc zastanowić się, jakie możliwości w tym zakresie oferuje dziś nauka i technika.

Przede wszystkim należałoby zacząć od nowej jakości w obszarze pomiarów luminancji, czyli o quasi ciągłych pomiarach luminancji wykorzystujących scalone przetworniki obrazu. Takie urządzenie pomiarowe znalazło już swoją nazwę jako matrycowy miernik luminancji lub cyfrowy miernik luminancji. Imponującą cechą tego miernika jest jednoczesny pomiar rozkładu luminancji całego zarejestrowanego obrazu z rozdzielczością wynikającą z zastosowanego cyfrowego przetwornika obrazu. Zatem w przypadku opraw oświetleniowych dostępne stają się rzeczywiste rozkłady luminancji zarejestrowane z dowolnego kierunku i z dowolnej odległości. Jak z nich skorzystać? Można zamiast posługiwać się światłością w danym kierunku „zaczepioną” w jednym punkcie, posłużyć się płaszczyzną z rozkładem luminancji zarejestrowanym dla danego kierunku. Wówczas uwzględniony będzie fakt, że światłość nie jest przywiązana do jednego punktu (środku optycznego) oprawy a utworzona jest jako efekt charakterystycznego rozkładu luminancji na powierzchni wyjściowej. Zatem podstawowym kierunkiem modyfikacji bazy danych fotometrycznych jest uzupełnienie, a w zasadzie zastąpienie tradycyjnych danych fotometrycznych oprawy (zbiór światłości) o bazę rozkładów luminancji.

Być może, choć dziś pomysł ten można rozpatrywać w kategoriach futurystycznych, pewien kierunek rozwoju techniki symulacyjnej w oświetleniu będzie wykorzystywanie w obliczeniach zamiast danych fotometrycznych całej oprawy, odpowiednio spreparowanego modelu luminancyjnego użytego w niej źródła światła [4] oraz modelu oprawy i te dane będą punktem startowym obliczeń zamiast obecnie używanej bryły fotometrycznej. Zatem etapem pośrednim obliczeń będzie oprawa oświetleniowa ze swoją charakterystyczną geometrią. W ten sposób funkcjonują obecnie programy obliczeń wykorzystujące metodę Monte Carlo [5]

Niewątpliwie oczekiwanym kierunkiem modyfikacji danych fotometrycznych opraw oświetleniowych będzie postać wizualizacyjna obliczonego (zmierzonego) obrazu efektu użycia oprawy w najbardziej typowych lub zalecanych zastosowaniach. Ten typ prezentacji danych jest już coraz częściej pokazywany przy okazji prezentacji doziemnych opraw oświetleniowych używanych w iluminacji obiektów.

Wnioski

- Wieloźródłowe oprawy oświetleniowe wykorzystujące diody elektroluminescencyjne rozszerzają z jednej strony asortyment sprzętowy w oświetleniu, ale tworzą nowe wymagania dla przeprowadzania pomiarów fotometrycznych.
- Tradycyjna bryła fotometryczna oprawy rozumiana jako przestrzenny rozkład światłości, nie pozwala na zachowanie stałej dokładności obliczeń oświetleniowych, szczególnie w warunkach asymetrii geometrycznej obiektu oświetlania.
- Dzisiejsze metody pomiarów i obliczeń w obszarze opraw oświetleniowych oferują znaczne poszerzenie bazy danych fotometrycznych, szczególnie o rozkłady luminancji na powierzchni wyjściowej.

LITERATURA

- [1] Żagan W., *Podstawy techniki świetlnej*, Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa 2005, ISBN 83-7207-541-7
- [2] *Composung with light, LEDline* - broszura tematyczna firmy Philips,
- [3] Buczkowski R., Żagan W., *Dokładność obliczeń oświetlenia akcentującego w iluminacji*, Przegląd Elektrotechniczny 5/2004, ISSN 0033-2097
- [4] Słomiński S., *Mapowanie rozkładu luminancji źródła światła w obliczeniach fotometrycznych odbłyśników zwierciadlanych*, rozprawa doktorska Politechniki Warszawskiej, Warszawa 2010
- [5] www.lighting-technologies.com

Autor: prof. dr hab. inż. Wojciech Żagan, Politechnika Warszawska, Instytut Elektroenergetyki,
E-mail: wojciech.zagan@ien.pw.edu.pl;

Energy's efficiency and economic aspects in road lighting

Abstract. Directive 2006/32/EC to reduce the consumption of electrical energy. The obligation can be satisfied, among other measures, by improving the energy efficiency of equipment and projects. The desired illumination effect can be obtained using various lighting system solutions. Consequently, an economical analysis should be performed for each project at the design stage. The final choice of a lighting solution should be a compromise between the effort to save electrical energy and the final cost of road lights implementation and operation.

Keywords: energy efficiency, road lighting, luminaires location, economic efficiency.

Introduction

Stationary road lighting is an important factor directly affecting traffic comfort and safety. Good lighting helps drivers operate the vehicle efficiently. It makes it easier to recognize shapes of the road, pedestrian crossings, road signs, road lights and landmarks. It is also helpful in noticing other road users, their location, speed and direction of movement. A correctly designed and constructed road lighting system reduces the time required by the driver to take an appropriate decision. As a result, it decreases the number and effects of accidents, ensures smooth traffic flow and proper road capacity at night. Consequently, road lighting should ensure appropriate visibility conditions for all road users by meeting a number of fundamental requirements and lighting-related recommendations. Quantitative and qualitative photometric parameters of road lighting systems adopted at the design stage result from normative requirements currently in place [2]. Under the EU Directive [1] and recommendations included in the applicable standard [2], light systems should be designed and implemented in a way that guarantees low electrical energy consumption and, consequently, high energy efficiency.

The desired illumination effect can be obtained using various lighting system solutions. Consequently, an economic analysis should be performed for each project at the design stage, including both costs of investment and future operating costs.

Designing a road light system with a high energy efficiency and low investment/operations costs is by no means an easy task. It should be a compromise between the need to manage electricity efficiently and take into account the investor's budget.

Energy efficiency of road lighting

According to the definition included in the Directive [1], energy efficiency represents a ratio between an output of performance, service, goods or energy, and an input of energy.

Regarding road lights, the measure of energy efficiency (energy efficiency factor) can be assumed to correspond to the ratio between the installed capacity of the lighting system and the achieved light parameter (luminance or illuminance) on the surface of the road being lit [3].

For lighting system classes which must meet specific road luminance-based requirements, the energy efficiency factor designated as $EE [W/cd \cdot m^2/m^2]$, for further analyses can be determined using the equation (1):

$$(1) \quad EE = \frac{P}{L \cdot S}$$

where: P – total power of the lighting system $[W]$,
 L – operational level of average luminance $[cd/m^2]$,
 S – road surface $[m^2]$.

If the lit road surface is replaced with the product of road width (s_d) and spacing between consecutive luminaires (d), the total power of the lighting system is equivalent to the power of a single luminaire (Fig. 1).

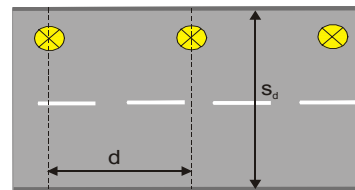


Fig. 1. Geometry of the lighting system for calculating the energy efficiency factor EE .

Economic efficiency of road lighting

One of the criteria determining the choice of a lighting solution – among designs meeting normative requirements – is the cost of providing lighting infrastructure and costs of future maintenance. The basis for economic assessment of road lighting should be a combination of investment and operation costs. For comparison of costs in PLN and Euro has to be taken conversion rate: 4 PLN = 1 Euro

Investment costs

Investment costs K_i – direct costs of electrical wiring systems, utility poles and overhangs, luminaires and lamps, as well as expenditures on materials and costs of labour.

$$(2) \quad K_i = m \cdot (K_l + K_s + K_{rs}) + K_{el}$$

Were:

m – number of lights points,

K_l – cost of light point (incl. cost of luminaires and lamps) $[PLN]$,

K_s – cost of poles and overhangs $[PLN]$,

K_{rs} – costs of labour and equipment associated with the mounting of poles, overhangs and luminaires $[PLN]$,

K_{el} – total cost of wiring systems $[PLN]$.

Operation costs

Annual operations costs – K_e – including costs of labour and materials involved in the annual wear-and-tear and replacement of lamps, cleaning sources of light and luminaires, as well as costs of electricity and depreciation of luminaires.

$$(3) \quad K_e = m \cdot (K_{en} + K_{zl} + K_{wl} + K_p) + K_a$$

Were: K_{en} – annual electricity costs [PLN],
 K_{zt} – cost of wear-and-tear of lamps per one year of operation,
 K_{wl} – cost of lamp replacement and clearing of luminaires per one year of operation [PLN],
 K_a – costs of depreciation of fixed assets, making up 4.5% of investment costs [PLN],
 K_p – cost of maintenance of light poles and electrical wiring system per one year of operations [PLN].

The most frequently used method for the assessment of economic efficiency of a project is discounted cash flow analysis [4]. The method takes into account the distribution in time of anticipated incoming and outgoing cash flows associated with the project. The choice of the most economically advantageous solution is based on the present value of future cash flows made in different periods (updated for the time of assessment).

The simplest method for the assessment of economic efficiency of the project is to determine the net present value (PV). PV – present-day value of cash flows discounted according to an appropriate discount rate.

$$(4) \quad PV = \sum_{i=1}^n \frac{CF_t}{(1+k)^t}$$

where:

CF_t – net cash flow during time t,

t – time frame [year],

k – discount rate.

The updated value of operation costs K_{et} can be accounted for with the relationship (5):

$$(5) \quad K_{et} = \sum_{i=1}^n \frac{K_e}{(1+k)^i}$$

Analysis of energy and economic efficiency of road lighting

To perform a comparative analysis of energy efficiency of different lighting systems, calculations were carried out for a sample section of the road lit with three selected commonly used luminaires with high-pressure sodium lamps (150 W). For the purpose of the analysis, the luminaires were designated as A, B and C. According to the manufacturer's specifications [5], the luminaires are designed specifically for motorways, main roads and secondary roads. Each of the luminaires had the option of changing the position of the reflector relative to the lamp.

The luminaires were placed in a staggered arrangement along a dual carriageway with two directions of traffic separated by a 1 m central reservation and two traffic lanes for either of the directions. Each carriageway was 7 m wide.

Energy efficiency of each case considered was determined for lighting classes ME1, ME3a, ME5, maintenance factor u: 0.5-0.9 [-] and luminaire mounting height h = 10 m. For each case under analysis, maximum distance between successive luminaires was established (d [m]), for which all lighting requirements were fulfilled. Shape of the photometric sphere was selected in manufacturer's position.

Results of calculations are listed in Table 1 and in Fig. 2 - 5. Based on the distance determined between successive luminaires, the number of luminaires per 1000 m of road was calculated. Investment and operations costs of road lighting were determined. Economic calculations were limited to the analysis of costs involved in the provision of light spots, poles and overhangs. The analysis disregarded costs of materials and construction of electrical

wiring systems supplying voltage to light poles. Operation costs were established for the collective replacement of light sources, carried out together with the periodic cleaning of luminaires (performed once in four years). The cost of replacement of individual light sources was estimated for 5% of defective lamps in the period between consecutive maintenance procedures. The following parameters were adopted for calculations: electrical energy consumption – 0.44 PLN/kWh (for 4000 hours) and annual inflation rate – 3.8%. Furthermore, indirect costs were estimated at 20%, profit at 5%, costs of purchase at 9% and costs of auxiliary materials at 2.5%. Labour costs were assessed on the basis of the Catalogue of Standard Prices and Rates. Results of calculations are listed in Table 2 and in Fig. 6.

Table 1. Distances determined between for different (A,B,C) luminaires, values of the luminance and energy efficiency factor and the number of luminaires for lighting systems under analysis.

u	Lighting classes									
	ME 1			ME 3a			ME 5			
	d	L	EE	d	L	EE	d	L	EE	
A	0,50	19	2,0	0,63	39	1,0	0,62	75	0,5	0,64
	0,60	23	2,0	0,52	45	1,0	0,53	90	0,5	0,53
	0,70	27	2,0	0,44	48	1,0	0,50	97	0,5	0,49
	0,80	30	2,0	0,40	48	1,1	0,45	97	0,5	0,49
	0,90	34	2,0	0,35	48	1,3	0,38	97	0,6	0,41
B	0,50	18	2,0	0,67	38	1,0	0,63	77	0,5	0,62
	0,60	22	2,0	0,55	43	1,0	0,56	86	0,5	0,56
	0,70	26	2,0	0,46	46	1,0	0,52	86	0,5	0,56
	0,80	29	2,0	0,41	46	1,2	0,43	86	0,6	0,47
	0,90	33	2,0	0,36	46	1,3	0,40	86	0,7	0,40
C	0,50	18	2,0	0,67	38	1,0	0,63	73	0,5	0,66
	0,60	22	2,0	0,55	46	1,0	0,52	88	0,5	0,55
	0,70	25	2,0	0,48	51	1,0	0,47	98	0,5	0,49
	0,80	30	2,0	0,40	52	1,1	0,42	103	0,5	0,47
	0,90	33	2,0	0,36	54	1,2	0,37	103	0,5	0,47

Table 2. Operation and investment costs of lighting systems analysed and number of luminaires working in lighting systems

u	Lighting classes									
	ME 1			ME 3a			ME 5			
	Cost [in thousands PLN]									
	m	K_l^*	K_{et}^{**}	m	K_l^*	K_{et}^{**}	m	K_l^*	K_{et}^{**}	
A	0,50	104	462	934	50	227	454	26	116	232
	0,60	86	381	770	43	194	391	21	96	191
	0,70	73	324	655	41	181	365	20	89	177
	0,80	66	291	589	41	180	364	20	89	177
	0,90	58	256	518	41	181	365	20	89	177
B	0,50	110	437	952	52	210	450	25	101	217
	0,60	90	361	780	46	185	396	22	90	194
	0,70	76	308	661	42	172	370	22	90	194
	0,80	68	269	587	42	172	370	22	90	194
	0,90	60	239	517	42	172	370	22	90	194
C	0,50	110	436	951	52	208	448	26	106	229
	0,60	90	366	784	42	173	370	22	88	189
	0,70	79	322	689	38	156	333	19	80	169
	0,80	66	268	572	37	153	327	18	75	160
	0,90	60	237	516	36	147	314	18	75	160

* components of investment cost:

cost of luminaires and lamps are:

A - 1269 PLN

B - 766 PLN

C - 781 PLN,

average cost of poles and overhangs was 2280PLN,

costs of labour and equipment associated with the mounting of poles, overhangs and luminaires was 935 PLN

** components of operation cost:

Annual, real the cost of operation of light point was 400 PLN

in this the cost of electric energy was 307 PLN.

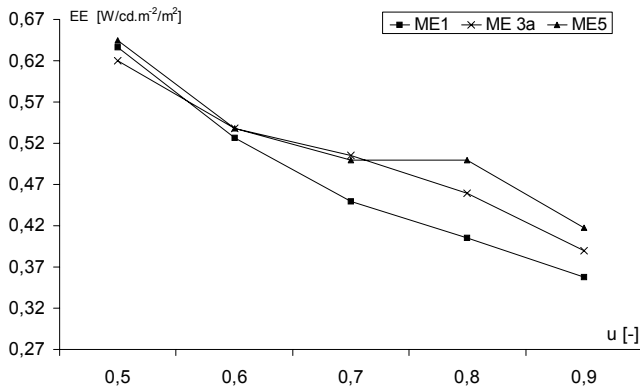


Fig. 2. Sample relationship between energy efficiency and maintenance factor for the luminaire designated as A.

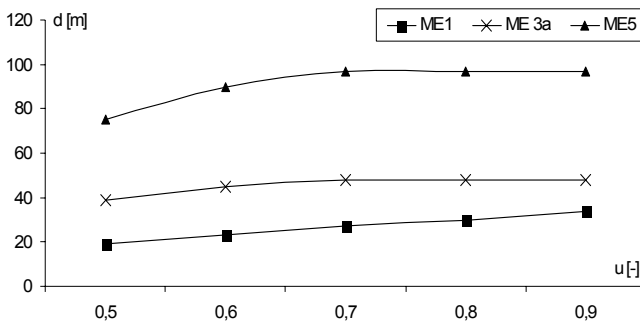


Fig. 3. Sample relationship of distances between luminaires designated as A and maintenance factor.

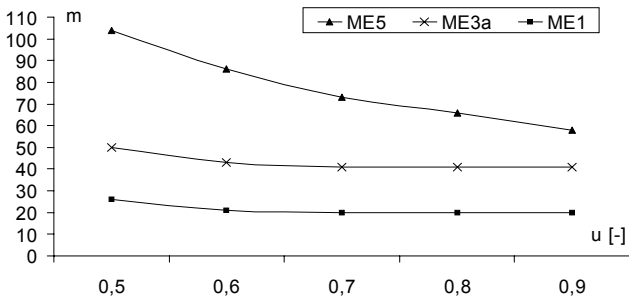


Fig. 4. Sample relationship between numbers of luminaires designated as A and maintenance factor.

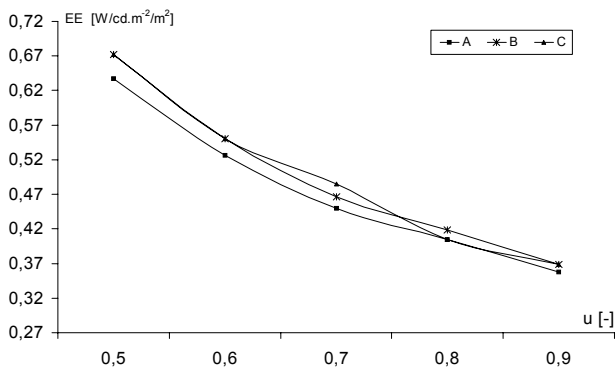


Fig. 5. Sample relationship between energy efficiency and maintenance factor for compared lighting systems and ME1 lighting classes.

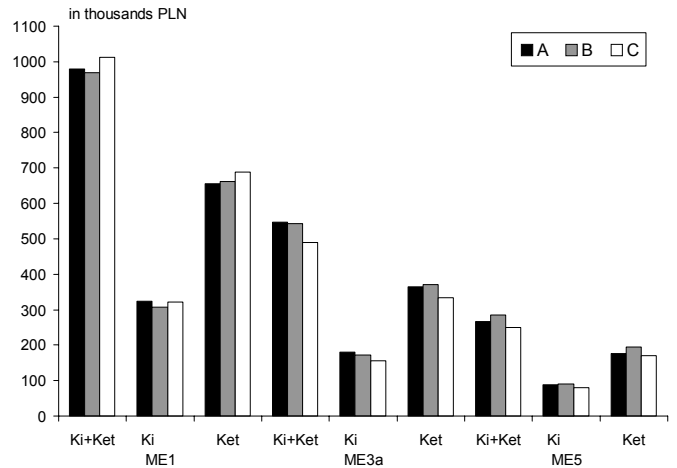


Fig. 6. Investment and operation costs of lighting systems under analysis for selected maintenance factor values u=0.7

Conclusions

Analyzing road lighting, the main factors having a direct favourable effect on energy efficiency include: types of light sources and luminaires, maintenance factors, geometrical arrangement of light sources, as well as type and reflective properties of road pavement. These also rank among factors having an influence on the economic efficiency of road lighting. The analysis presented above shows that the luminaires adopted for calculations had similar very good photometric properties. Thanks to changing the shape of the photometric sphere by adjusting the position of the reflector relative to the lamp, it was possible to make an optimum use of luminous flux produced by the luminaire to light the road section concerned.

Applied luminaires working in the same geometry bindings permitted on obtainment of approximate values of energy efficiency. The maximum difference in coefficient of energy efficiency carried out about 8% for ME 5 lighting class and u=0.9. Differences in the number of luminaires necessary to achieve correct photometric parameters on the road being lit were maximum about 10%.

Investment costs of road illumination realized with the luminaires B and C and the same project assumptions are the same or very similar. For A- luminaires was the higher costs despite smaller number of light points. Luminaires A made it possible to obtain the higher energy efficiency, but its caused higher costs. Differences in investment costs of the lighting system consisting of the three luminaires under analysis result from variation in costs of luminaires, poles and overhangs. Generally out of all luminaires considered, the most cost-effective solution for ME1 lighting class was a lighting system comprising luminaires designated as B. The luminaires are ca. 40% cheaper than A-luminaires. For ME 3a and ME 5, the most cost-effective solution was a lighting system comprising luminaires designated as C.

Operation costs relating to the lighting systems analyzed in the work depend to the greatest extent by the cost of electrical energy (accounting for ca. 75% of total annual operation costs).

Calculations show that the adopted value of maintenance factor affects the level of energy efficiency. The higher the maintenance factor level assumed for the same geometrical arrangement of luminaires with regard to the road, the higher the energy efficiency value – the lower energy efficiency factor (EE) – see Fig. 2, and lower investment and operation costs. The effect of the

maintenance factor is evident in particular for the ME 1 lighting class where an 80% increase in maintenance factor results makes up ca. 83% of analyzed combined costs. For the ME 3 and ME 5 classes, a change of the maintenance factor within the same range results in a cost increase of ca. 30% .

Energy and economic efficiency depend on a range of factors. Calculations demonstrate that whenever luminaires with similar photometric parameters are installed in a particular lighting arrangement, the most important element is the determined value of the maintenance factor and lighting class adopted on the basis of detailed requirements. The aspects had the key influence on the number of light spots and, consequently, on investment and operation costs.

REFERENCES

- [1] Directive 2006/32/EC of the European Parliament and of the Council of 5 april 2006 on energy end-use efficiency and energy services and repealing council directive 93/76/EEC.
- [2] PN-EN/13201-2:2007. Oświetlenie dróg – Część 2: Wymagania oświetleniowe
- [3] Zalesińska M., Analiza porównawcza efektywności energetycznej oświetlenia drogowego. *Przegląd Elektrotechniczny*, 11/2009, s. 219-222.
- [4] Dobbis R., Frąckowiak W., Witt F. : Praktyczne zarządzanie kapitałami firmy. Pannpol Poznań 1999.
- [5] www.philips.swiatlo.pl (30.03.2010).

Authors: *Małgorzata Zalesińska PhD, Poznan University of Technology, Institute of Electrical Engineering and Electronics, Piotrowo Street 3a, 60-965 Poznan, Poland, E-mail: Malgorzata.Zalesinska@put.poznan.pl*

Obliczenia diodowego oświetlenia dróg

Abstract The introduction of light emitting diode technology to the road lighting contributes to the need for calculation methods revision. So far applied methods may lead to overlooking irregularities in the road lighting realised by LED luminaires. The proposed method consisting of introducing computational subpoints protects not only against errors as a result of different flux distribution generating but also makes lighting values got by calculation resemble measurement results.

Streszczenie. Wprowadzenie technologii diod elektroluminescencyjnych do oświetlenia drogowego przyczynia się do konieczności nowelizacji metod obliczeniowych. Dotychczas stosowane metody mogą prowadzić do przeoczenia nieprawidłowości w oświetleniu drogi oprawami LEDowymi. Proponowana metoda polegająca na wprowadzeniu subpunktów obliczeniowych zabezpiecza nie tylko przed błędami wynikającymi z odmiennego kształtowania bryły fotometrycznej opraw diodowych ale także zbliża wartości obliczone do wartości uzyskanych z pomiarów terenowych.

Keywords: road lighting, lighting calculation, LED luminaire.

Słowa kluczowe: oświetlenie drogowe, obliczenia oświetleniowe, oprawa LEDowa.

Wstęp

Wprowadzenie diod elektroluminescencyjnych do oświetlenia drogowego stwarza nowe możliwości, wyzwania i problemy w zakresie obliczeń symulacyjnych i modelowania. Dotychczas funkcjonujące metody obliczeniowe, dobrze sprawdzające się przy stosowaniu opraw z konwencjonalnymi, czyli żarowymi i wyładowczymi, źródłami światła, mogą powodować zafałszowanie wyników w przypadku użycia opraw wyposażonych w LEDy. Ze względu na zupełnie odmienną technologię budowy opraw diodowych możliwe jest uzyskiwanie znacznie większych gradientów natężeń oświetlenia i luminancji nawierzchni niż w przypadku stosowania sprzętu tradycyjnego. Nierównomierności w oświetleniu drogi, jakie mogą pojawić się przy stosowaniu diodowych opraw oświetleniowych, mogą nie zostać wykazane w wynikach obliczeń wykonywanych w programach wspomagających, liczących według obecnie obowiązujących standardów. Wartości wielkości kryterialnych uzyskane w wyniku prowadzonych obliczeń mogą przekraczać wartości krytyczne gdy rzeczywiste wartości są znacznie poniżej progów akceptacji. Wskazane jest wprowadzenie nowych metod obliczeniowych wyznaczania wielkości fotometrycznych determinujących jakość oświetlenia.

Pod względem skuteczności świetlnej diody elektroluminescencyjne zaczynają doganiać tradycyjne, wysokowydajne źródła światła. Charakteryzują się przy tym bardzo małymi, wręcz mikroskopowymi rozmiarami i olbrzymią luminancją, przewyższającą nie tylko luminancję innych elektrycznych źródeł światła, ale nawet słońca. Te charakterystyczne dla diod cechy powodują, że są one coraz częściej stosowane w wąsko świecących układach optycznych. Dzięki nim możliwe jest tworzenie opraw oświetleniowych o bardzo dużych gradientach światłości. Wystąpienie wyraźnej granicy światła i cienia na krawędziach oświetlanego pola jest jak najbardziej wskazane, a nawet pożądane. Pozwala na uzyskiwanie znacznie wyższych sprawności oświetlania, nieosiągalnych dla sprzętu konwencjonalnego. Pojawienie się takich granic wewnątrz oświetlanego obszaru należy uznać za zdecydowanie niekorzystne.

Bryła fotometryczna oprawy diodowej może być tworzona techniką komplementacyjną, w której każda z diod samodzielnie odpowiada za wybrany wycinek bryły fotometrycznej całej oprawy. Na stykach brył składowych mogą powstawać lokalne wzmocnienia światłości jak i obszary nieoświetlone. Te nierównomierności kąтового rozsyłu strumienia mogą przejść niezauważone w

standardowo zapisanej bryły fotometrycznej oprawy powodując zafałszowanie wyników obliczeń. W pewnych sytuacjach może dochodzić do drastycznych różnic pomiędzy wynikami obliczeń symulacyjnych oświetlenia a rzeczywistością. Taki przykład został opisany w "Application of LEDs in Road lighting"[1]. W sytuacji przypadkowego powstania nierównomierności oświetlenia drogi błąd zapewne zostanie dość szybko dostrzeżony i wyeliminowany. Prawdziwy problem leży w tym, że odpowiedni dobór położenia pól jasnych i ciemnych może znacząco podnieść uzyskiwane parametry oświetleniowe drogi. Nieuczciwy konstruktor, mając możliwość wpływania na wyniki obliczeń, może wykorzystywać je do nieczystej walki z konkurencją powodując zagrożenie dla bezpieczeństwa w ruchu drogowym. System fotometrowania opraw diodowych, sposób zapisu ich brył fotometrycznych oraz metody obliczania efektów oświetleniowych narzucone przez normy powinny być tak zmodyfikowane, by prawdopodobieństwo wystąpienia opisanych problemów wyeliminować lub choćby zminimalizować.

Europejska Norma PN-EN 13201-x [2] regulująca wszelkie aspekty projektowania oświetlenia dróg bardzo ściśle ustala zasady obliczania oświetlenia, w tym sposób rozmieszczenia punktów obliczeniowych. Jest ona dość dobrze dostosowana do tradycyjnego sprzętu oświetleniowego. W stosunku do sprzętu diodowego nie jest jednak idealna. Wskazana byłaby zmiana między innymi sposobu obliczania rozkładów luminancji nawierzchni, zbliżająca wyniki obliczeń do wartości uzyskiwanych w pomiarach weryfikacyjnych.

Wyznaczanie parametrów oświetlenia według PN-EN 13201-x

Zgodnie ze wspomnianą Normą liczba punktów obliczeniowych luminancji na odniesieniowym odcinku drogi jest zależna od liczby pasów ruchu na jezdni oraz odległości między sąsiednimi słupami oświetleniowymi, umieszczonymi po tej samej stronie jezdni. Liczba linii punktów obliczeniowych liczona w poprzek drogi stanowi trzykrotność liczby pasów ruchu. Liczba rzędów punktów rozmieszczanych wzdłuż obliczeniowego odcinka drogi zależy od modułu. Jeśli jest on mniejszy od 30 metrów równa się 10. Jeżeli większy, liczba rzędów jest całkowitą liczbą wynikającą z zaokrąglenia w górę podzielenia odległości między latarniami wyrażonej w metrach przez 3.

Z powyższej zależności wynika, że jest nie mniej niż 10 rzędów punktów obliczeniowych, a odstęp między nimi, gdy rozstaw słupów jest nie mniejszy niż 27 metrów, jest z

przedziału od 2,7 do 3 metrów. W przykładzie przedstawionym we wspomnianej wcześniej publikacji pole obliczeniowe ma wymiary 32x7 metrów i zgodnie z Normą pokryte jest siatką 11x6 punktów obliczeniowych. Schemat rozmieszczenia punktów obliczeniowych na odniesieniowym odcinku drogi przedstawiony jest na rysunku 1. Przedstawiona droga oświetlona została specjalnie do tego celu zaprojektowanymi oprawami wyposażonymi w diody elektroluminescencyjne. Z założeń realizowana jest klasa oświetleniowa ME 3c. Obliczenia wykonane zgodnie z wytycznymi Normy wykazują poprawne oświetlenie drogi i spełnienie wymagań oświetleniowych. Bardziej szczegółowa analiza rozkładów oświetlenia na drodze, bazująca na innych niż standardowe rozmieszczeniach punktów obliczeniowych pokazuje, że rzeczywisty rozkład luminancji jest zupełnie inny i nie spełnia żadnego z wymagań: ani dotyczących wartości średnich luminancji, ani wzdłużnych i całkowitych równomierności oświetlenia. Porównanie wartości obliczonych zgodnie z Normą z przewidywanymi dla tego przypadku wartościami pomiarowymi, również wykonanych zgodnie z Normą, wykazuje dużą rozbieżność między nimi.

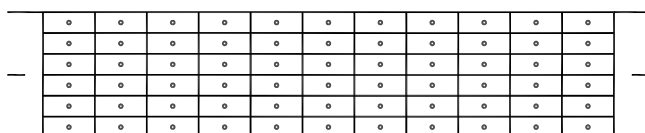


Fig.1. Normatywne rozmieszczenie punktów obliczeniowych na odniesieniowym odcinku drogi.

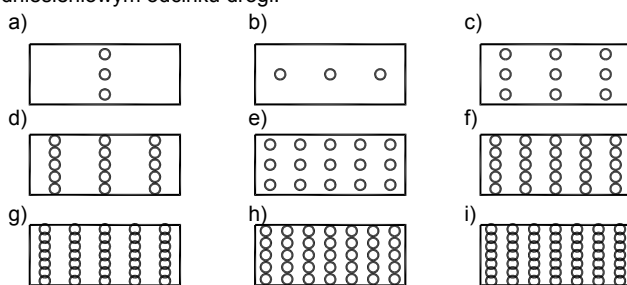


Fig.2. Rozmieszczenie subpunktów w pojedynczym polu obliczeniowym w układzie: a) (1x3), b) (3x1), c) (3x3), d) (3x5), e) (5x3), f) (5x5), g) (5x7), h) (7x5), i) (7x7).

Zmiana liczby linii punktów wzdłuż osi drogi o jeden powoduje wykazanie niewłaściwego rozkładu, jednak także nie odpowiada rzeczywistości. Zwiększenie liczby punktów obliczeniowych o 1 rząd wzdłuż drogi jest nieefektywne, ponieważ może istnieć oprawa diodowa, dla której można znaleźć rozmieszczenie wzdłuż drogi, przy którym podobny błąd będzie nadal istniał. Zwiększenie 3- lub 5-krotne liczby punktów obliczeniowych pozwala co prawda wyeliminować błąd metody i pokazać rzeczywisty rozkład luminancji ale takie rozwiązanie nie jest jednak brane pod uwagę, ponieważ zmieniliby sposób wykonywania pomiarów weryfikacyjnych i doprowadziło do konieczności wymiany całego sprzętu pomiarowego służącego do oceny stanu oświetlenia drogowego na nowocześniejszy i dużo droższy.

Postawiony został problem takiej zmiany metody obliczeniowej, by wyeliminować przepuszczenie powyżej przedstawionego błędu i nie zmieniać pozostałych ustaleń Normy, w szczególności dotyczących metodyki pomiarów weryfikacyjnych.

Metoda subpunktów

Rozwiązaniem problemu wydaje się być wprowadzenie metody subpunktów. Polega ona na zachowaniu dotychczasowej siatki punktów obliczeniowych i pomiarowych, zwanych dalej głównymi punktami obliczeniowymi i przypisaniu każdemu z nich siatki subpunktów. Każde z pól obliczeniowych reprezentowanych przez jeden główny punkt pomiarowy, będący środkiem geometrycznym tegoż pola, zostaje podzielone równomiernie na subpola. W środku geometrycznym każdego subpola umieszczony zostaje subpunkt. Wartość natężenia oświetlenia oraz luminancji zostaje obliczona we wszystkich subpunktach. Wartość natężenia oświetlenia oraz luminancji w każdym z pól obliczeniowych, służąca do oceny stanu oświetlenia, zostaje wyznaczona jako wartość średnia z wartości wyznaczonych w znajdujących się w danym polu subpunktach. Zastosowanie podziału pól obliczeniowych na nieparzystą liczbę subpól zarówno wzdłuż jak i w poprzek drogi powoduje, że dla każdego pola obliczeniowego jeden z subpunktów pokrywa się z głównym punktem obliczeniowym danego pola. Rozmieszczenie subpunktów w wybranym polu obliczeniowym zostało przedstawione na rysunkach 2a) do 2i).

Obliczenia sprawdzające przydatność nowej metody zostały przeprowadzone dla różnej gęstości rozmieszczenia subpunktów. Wyniki obliczeń dla siatek zawierających 3, 15, 25, 35 oraz 49 subpunktów w każdym polu obliczeniowym zostały porównane między sobą i z wynikami obliczeń wykonanych zgodnie z Normą. W dalszych rozważaniach poszczególne przypadki zostały oznaczone symbolami złożonymi z dwóch liczb (ixj), z których pierwsza oznacza liczbę podziału każdego pola wzdłuż osi drogi, druga liczbę podziału w poprzek drogi. Obliczenia wykonane dla standardowej siatki stanowiące odniesienie oznaczone są przez (1x1). W pierwszym przypadku o oznaczeniu (1x3) (rysunek 2a) pola nie zostały podzielone wzdłuż osi drogi, natomiast zostały podzielone na 3 subpola w poprzek drogi. W drugim (rysunek 2b), oznaczonym (3x1), nastąpił podział każdego z pól na 3 subpola wzdłuż drogi bez dzielenia pola w poprzek. Zostały jeszcze zastosowane podziały (3x3) (rysunek 2c), polegający na podzieleniu pól na 3 części wzdłuż oraz 3 części w poprzek drogi, (3x5) (rysunek 2d), w którym każde pole jest podzielone na 3 subpola wzdłuż i 5 subpól w poprzek drogi, (5x3) (rysunek 2e), w którym podział jest na 5 subpól wzdłuż drogi i 3 w poprzek, a także (5x5), (5x7), (7x5) oraz (7x7) (rysunki 2f do 2i). Analiza przypadków (1x5), (5x1), (1x7), (7x1), (3x7) oraz (7x3) wydawała się bezcelowa ze względu na zbyt dużą dysproporcję podziałów wzdłuż i w poprzek drogi.

W zestawieniu wyników obliczeń przedstawionych w tabelach 1, 2 i 3, zawierających odpowiednio zestawy wartości średnich luminancji nawierzchni, równomierności wzdłużnych i równomierności całkowitych obliczonych na podstawie poszczególnych siatek subpunktów, wyraźnie widać różnicę pomiędzy przypadkami odniesieniowym (1x1) i (1x3) a resztą analizowanych podziałów na subpola. Różnica pomiędzy uzyskanymi wartościami luminancji średniej wynosi ponad 15%, pomiędzy wartościami równomierności wzdłużnej od co najmniej 19% do ponad 29%. Jedynie równomierności całkowite są porównywalne we wszystkich przypadkach. Można sądzić, że specyfika zastosowanych w przykładzie opraw oświetleniowych, powodująca powstawanie poprzecznego układu plam na jezdni powoduje, że przypadek podziału (1x3) daje wyniki bliskie odniesieniowemu (1x1), a przypadek (3x1) wyniki bliskie pozostałym podziałom na subpola. Stosując oprawy odmiennej konstrukcji, tworzące jasne i ciemne smugi równoległe do osi jezdni lub pojedyncze, odosobnione jasne

plamy można spodziewać się odwrotnej sytuacji, w której wyniki obliczeń przypadku (1x3) będą zbliżone do wyników normatywnych (1x1), a wyniki obliczeń przypadku (3x1) będą zbliżone do pozostałych lub oba dadzą wyniki zbliżone do pozostałych. Zastosowanie układu 9 subpunktów w każdym z pól obliczeniowych w układzie (3x3) wydaje się być pierwszym nie budzącym wątpliwości przypadkiem dającym wyniki zbliżone z pozostałymi podziałami na większą liczbę subpól. Stosowanie większej liczby subpunktów niż (3x3) nie wprowadza znaczących zmian w wynikach – różnice między nimi nie przekraczają 3% – i na obecnym poziomie rozwoju technologii opraw diodowych wydaje się być zbędne.

Tablica 1. Wartości w [cd·m⁻²] średniej luminancji nawierzchni obliczone przy zastosowaniu poszczególnych siatek subpunktów

Obserwator 1				
(ixj)	i=1	i=3	i=5	i=7
j=1	0,76	0,66		
j=3	0,76	0,66	0,66	
j=5		0,66	0,65	0,65
j=7			0,65	0,65
Obserwator 2				
j=1	0,70	0,60		
j=3	0,70	0,60	0,59	
j=5		0,60	0,59	0,59
j=7			0,59	0,59

Tablica 2. Wartości równomierności wzdłużnej obliczone przy zastosowaniu poszczególnych siatek subpunktów

Obserwator 1				
(ixj)	i=1	i=3	i=5	i=7
j=1	0,56	0,47		
j=3	0,56	0,46	0,46	
j=5		0,46	0,46	0,46
j=7			0,46	0,46
Obserwator 2				
j=1	0,40	0,31		
j=3	0,40	0,31	0,30	
j=5		0,30	0,30	0,30
j=7			0,30	0,30

Tablica 3. Wartości równomierności całkowitej obliczone przy zastosowaniu poszczególnych siatek subpunktów

Obserwator 1				
(ixj)	i=1	i=3	i=5	i=7
j=1	0,43	0,42		
j=3	0,43	0,42	0,41	
j=5		0,42	0,41	0,41
j=7			0,41	0,41
Obserwator 2				
j=1	0,44	0,45		
j=3	0,45	0,44	0,44	
j=5		0,44	0,44	0,44
j=7			0,44	0,44

Porównane zostały wartości sprawności oświetlenia drogi dla przypadków (1x1), (3x3), (5x5) oraz (7x7). W przypadku obliczania w siatce punktów wyznaczonej zgodnie z Normą strumień padający na jezdnię stanowi 130% strumienia emitowanego przez oprawy. Jest to ewidentnym błędem. W pozostałych przypadkach, gdy zastosowano metodę subpunktów z obliczeń wynika, że do jezdni dociera (92±1)% strumienia świetlnego opraw. Jest to wartość wiarygodna.

Nowa metoda obliczeniowa a pomiary

Pole pomiarowe, widziane przez miernik o kątach objęcia zgodnie z Normą wynoszących 0°02' w pionie i 0°20' w poziomie w znacznym stopniu wypełnia pole obliczeniowe [3]. Optyczny miernik luminancji podaje wartość średnią z rozkładu luminancji w całym polu

pomiarowym. W obliczeniach oświetlenia zrealizowanego z użyciem opraw oświetleniowych wykonanych w klasycznej technologii rozkłady luminancji i natężenia oświetlenia mają na tyle małe gradienty, że wartość luminancji obliczona w punkcie środkowym pola obliczeniowego z dobrą dokładnością odpowiada wartości średniej luminancji w całym polu. Spodziewany wynik pomiaru powinien być zgodny z wartością obliczoną. Przy stosowaniu opraw diodowych gradienty te mogą być jednak dużo większe. Jak zostało to wcześniej pokazane, może istnieć znaczna rozbieżność między wartością luminancji w punkcie środkowym danego pola pomiarowego, obliczoną metodą standardową a średnią wartością luminancji w tym polu. Należy spodziewać się, że jeśli nie została popełniona pomyłka pomiarowa, wartość zmierzona fizycznie powinna być porównywalna z wartością średnią całego pola. W efekcie zastosowanie klasycznej metody obliczania oświetlenia w stosunku do oświetlenia diodowego może prowadzić do znacznych rozbieżności pomiędzy wynikami obliczeń symulacyjnych a wynikami pomiarów.

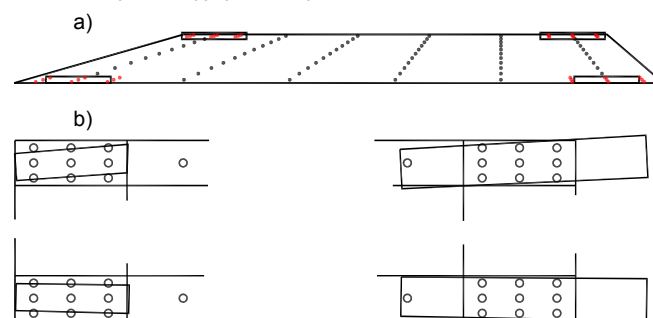


Fig.3. Rozmieszczenie w skrajnych polach subpunktów obliczeniowych w układzie (3x3) oraz pól pomiarowych a) z punktu widzenia miernika, b) w rzucie poziomym jezdni.

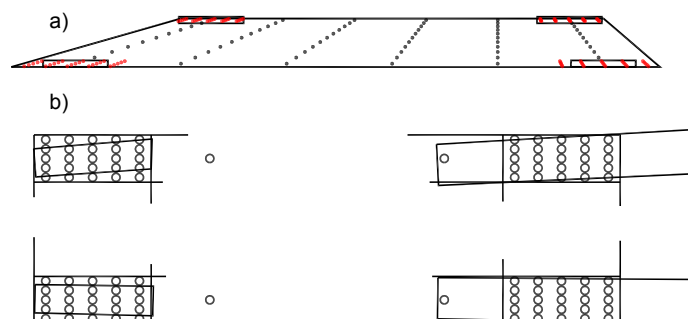


Fig.4. Rozmieszczenie w skrajnych polach subpunktów obliczeniowych w układzie (5x5) oraz pól pomiarowych a) z punktu widzenia miernika, b) w rzucie poziomym jezdni.

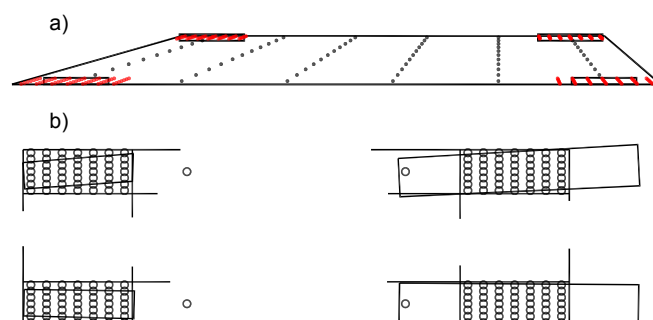


Fig.5. Rozmieszczenie subpunktów obliczeniowych w układzie (7x7) oraz pól pomiarowych na: a) perspektywnicznym widoku odniesieniowego odcinka drogi obserwowanego z punktu widzenia miernika, b) rzucie poziomym jezdni.

Rozmieszczenie subpunktów obliczeniowych w poszczególnych polach zostało porównane z wielkością znormalizowanego pola pomiarowego, co zostało przedstawione na rysunkach 3, 4 i 5. Pole pomiarowe nie pokrywa się z polem obliczeniowym i w rzucie poziomym w dużej mierze zależy od położenia. Subpunkty obliczeniowe dość dobrze wypełniają pole obliczeniowe, jednak przy podziałach większych niż na 3 części w poprzek jezdni częściowo znajdują się poza polem pomiarowym. Zatem różnica pomiędzy wartością średnią obliczonej luminancji a wartością średnią zmierzoną w polu powinna być niewielka, szczególnie przy zastosowaniu układu (3x3). Obliczanie wartości luminancji z subpunktów równomiernie rozmieszczonych w polu obliczeniowym powinno zasadniczo uchronić przed pojawieniem się rażących rozbieżności między wynikami obliczeń i pomiarów weryfikacyjnych.

Ocena przydatności metody

Opisana powyżej metoda obliczania luminancji średniej poszczególnych pól pomiarowych na podstawie wyciągania średniej z wartości obliczonych w subpunktach równomiernie rozmieszczonych w całym obszarze każdego pola obliczeniowego może przyczynić się do uchronienia przed zarówno przypadkowym jak i celowym wkładaniem się błędów w wyniki obliczeń. Jak zostało wcześniej powiedziane, możliwość zawyżania parametrów oświetleniowych uzyskanych przy zastosowaniu klasycznej metody obliczeniowej do rozwiązań oświetlenia z zastosowaniem opraw diodowych może prowokować nieuczciwych projektantów i handlowców do celowego wprowadzania błędów. Opracowana metoda chroni przed tymi sporadycznymi, jednak niesłychanie niebezpiecznymi działaniami. Obliczenia wykonywane z wykorzystaniem współczesnego sprzętu komputerowego trwają ułamki

sekund i ich kilkudziesięciokrotne wydłużenie nie zostanie nawet zauważone przez użytkownika programu obliczeniowego. W odniesieniu do obliczeń oświetlenia z zastosowaniem klasycznego sprzętu oświetleniowego wyposażonego w tradycyjne źródła światła metoda subpunktów powinna dać porównywalne wyniki z dotychczas stosowaną metodą.

Pozostawienie w niezmienionej postaci Normy jest sprzeczne z rozsądkiem. Jest równoznaczne zgodzie na uzyskiwanie wartości sprawności oświetlenia większych od jedności. Niszczy tym samym celowość prowadzenia obliczeń oświetleniowych i podważa sens normalizacji.

Normy, jako element prawny standaryzujący produkcję i mający gwarantować odpowiedni poziom bezpieczeństwa muszą podążać za praktyką, odpowiadać na pojawiające się zagrożenia. Nowelizacje Norm są wymuszane rozwojem technologicznym. Pojawienie się oświetlenia diodowego powinno zatem spowodować dostosowanie stosownych przepisów. Wprowadzenie opisanej metody obliczeniowej byłoby właśnie elementem dostosowującym regulacje w zakresie oświetlania dróg do zachodzących zmian technologicznych.

REFERENCES

- [1] Zalewski S., Application of LEDs in Road lighting, Przegląd Elektrotechniczny, 11'2009
- [2] PN-EN 13201-x:2005 Oświetlenie dróg, PKN
- [3] Czyżewski D., Pomiary oświetlenia drogowego-opis wymagań formalnych, Elektrosystemy, Nr 2(73), luty 2006

Autor: dr inż. Sławomir Zalewski, Politechnika Warszawska, Instytut Elektroenergetyki, ul. Koszykowa 75, 00-662 Warszawa, E-mail: slawomir.zalewski@jen.pw.edu.pl.

Calculation methods and programs for daylight lighting and comparison of their use

Abstract. Lighting status of an interior and effect of lighting on humans and their eyes does not depend solely on the amount of light, but also on other factors (spatial distribution of light, the dynamics of changes of lighting with time etc.). The design must maintain good lighting quality in case of sunny, cloudy and overcast sky, and also in case of direct illumination by the Solar. To maintain good lighting quality, sufficient lighting level does not suffice; it is also necessary to maintain good lighting quality. The article below presents a short analysis of evaluation of daylight lighting and related calculation programs, their possibilities and possible uses.

Keywords: Daylight, calculation programs and methods for daylight lighting.

Introduction

Lighting status of an interior and effect of lighting on humans and their eyes does not depend solely on the amount of light, but also on other factors (spatial distribution of light, the dynamics of changes of lighting with time etc.). The design must maintain good lighting quality in case of sunny, cloudy and overcast sky, and also in case of direct illumination by the Solar. To maintain good lighting quality, sufficient lighting level does not suffice; it is also necessary to maintain good lighting quality.

1. Evaluation of daylight lighting

1.1 Quantitative criterion

To evaluate illuminance from quality point of view, daylight factors D [%] is used; it expresses the ratio of interior illuminance E [lx] at the point at working plane relative to illuminance E_H [lx] outdoors from the standard unobstructed sky.

$$(1) D = \frac{E}{E_H} \cdot 100 \text{ [%]}$$

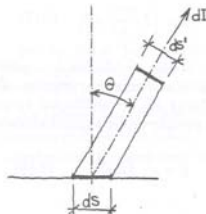
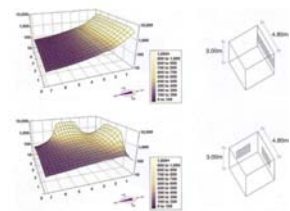


Fig.1 Illuminance defined

Resulting daylight factor composes of the sky component, the externally reflected component from exterior obstacle, and the internally reflected component from interior surfaces.

$$(2) D = D_s + D_e + D_i$$

Sizing of windows must allow sufficient lighting of the room. Windows in one perimeter wall sometimes does not suffice; use of lighting from multiple directions may improve lighting of the room; sometimes, roof lighting may be added as long as the position of room within the building allows it. It is necessary to assess the quality of lighting, e.g. in some cases, lighting from opposite windows may actually worsen



the situation.



Fig.1 Daylight factor and its spatial distribution depending on window location. [4]

1.2 Qualitative criteria

Qualitative criteria express the quality of interior lighting; they include uniformity, flux distribution, brightness distribution in one's field of vision, prevention of dazzle, and color finish of interior surfaces. Provision of sufficient light intensity does not guarantee visual comfort at all.



Fig.3 Le Corbusier – RONCHAMPS chapelle

1.2.1 Uniformity of daylight lighting

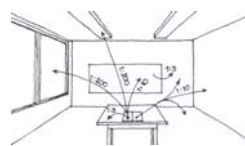
This is the ratio of minimum and maximum coefficient of daylight illuminance at level working area in interior or its functional part.

1.2.2 Dazzle

One of visual disturbances, where differences in brightness exceed the adaptability of human eye, namely its contrast sensitivity. Dazzle is the more extensive the closer to field of vision's axis it occurs, and also when it impacts the eye from below, e.g. a reflection from desk or floor surface. The source of dazzle must not be in the field of vision, i.e. no shiny objects nor windows/skylights may be installed in the field of vision, depending on user's work position/orientation. Dazzle can be prevented by suitable positioning of windows/skylight, or by suitable light intensity controls (blinds, sunbreakers, seasonal painting).

1.2.3 Brightness distribution

Relates to phototropic reflex, dazzle must be prevented at all times.



Between observed object and its background:

- Between observed object and distant dark areas
- Between observed object and distant light areas

Fig.4 Brightness distribution in an interior [1]

1.2.4 Color perception

Humans relate colors in space with certain functions of their living and work environment. Colors influence psychological condition. Emotion-oriented persons are more sensitive to colors, while the mind-oriented are less sensitive. Colors

provoke feelings and emotions commonly described as the joy of color sight. Color has three functions within spatial perception:

1. Distance perception (perception of length and depth) .
2. Temperature perception (perception of different temperatures)
3. Overall spatial impression (the effect of color on general space perception)

1.2.5 Seasonal depression syndrome

Seasonal depression syndrome (SAD - Seasonal Affective Disorder) may develop in sensitive persons who suffer from insufficient light. Insufficient lighting of working and living quarters may increase fatigue and also lead to loss of work motivation and absenteeism [2]. Approx 5% of population are affected in this way. Statistic data show that 50-80% of patients can be successfully treated with strong light.

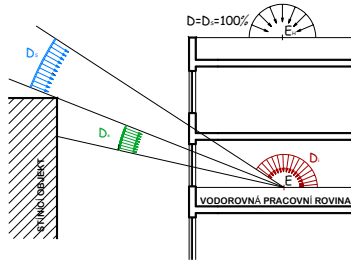


Fig.4 Seasonal depression syndrome

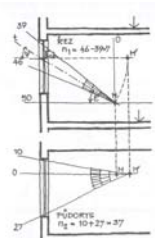
2. Calculation

2.1 Calculation methods

To calculate daylight factor, several methods may be used, which differ in suitability and complexity; some are more suitable than other for specific conditions, e.g. design and evaluation or design of various lighting systems, under different conditions of exterior shading, also depending on dimensions and shapes of the room being assessed, etc. All methods share the basic principle – determination of daylight illuminance factor as a sum of three components: Sky component, reflected component from exterior obstacle, and reflected component from interior surfaces. Calculation of sky and exterior reflected components [1]



Daniljuk method,
Sky component (SC)

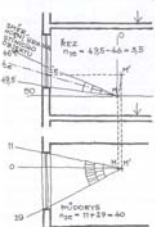


$$(3) D_s = D_{sr} \cdot q \cdot \tau_{0, \psi}$$

$$(4) D_{sr} = \frac{n_1 \cdot n_2}{100}$$

$$(5) \tau_{0, \psi} = \tau_{s, \psi} \cdot \tau_k \cdot \tau_z \cdot \tau_b$$

Externally reflected component (ERC)

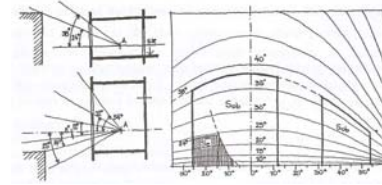


$$(6) D_e = D_{er} \cdot k \cdot \tau_{0, \text{nor}}$$

$$(7) D_{er} = \frac{n_{1e} \cdot n_{2e}}{100}$$

(8) **Waldram method**

Sky + external reflected component (ERC)



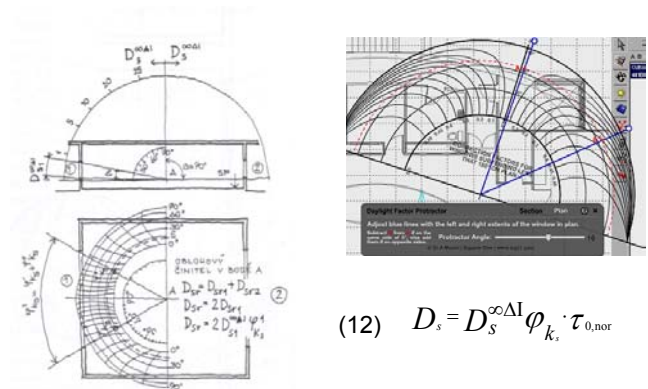
$$(9) D_s = \frac{S_s}{S_o} \cdot \tau_{0, \text{nor}}$$

$$(10) D_{er} = \frac{S_e}{S_o} \cdot k \cdot \tau_{0, \text{nor}}$$

$$(11) \tau_{0, \text{nor}} = \tau_{s, \text{nor}} \cdot \tau_k \cdot \tau_z$$

Protractors

BRS, England, 1946, and Kittler invented an improvement for various inclinations of windows. [1,4]

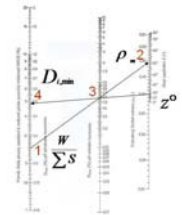
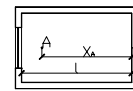


$$(12) D_s = D_s^{\infty \Delta I} \varphi_{k_s} \cdot \tau_{0, \text{nor}}$$

Internal reflected component (IRC)

BRS nomograms

$$D_i = D_{i, \text{min}} + \frac{3x^2}{l^2} (D_{iM} - D_{i, \text{min}})$$



2.2 Calculation programs

Calculation programs are used worldwide to assess the quality and quantity of daylight illumination. Simpler ones calculate the daylight illuminance coefficient only (e.g. Wall, Wdls), while the more complex ones can also evaluate brightness contract (Ecotect, Radiance), or even temperature behaviour of an interior. In simple instances, graphs can be used even today, for quick assessment and to validate the output from calculation programs.

2.2.1 WAL (M. Pelech)

User-friendly and intuitive DOS application for calculation of daylight illuminance coefficient in interiors. Evaluation of points, areas, and spaces is possible. This program, however, does not work with skylights and inclined windows. Working with coordinates may be lengthy when bigger complexes are being evaluated. This program uses Waldram method combined with BRS.

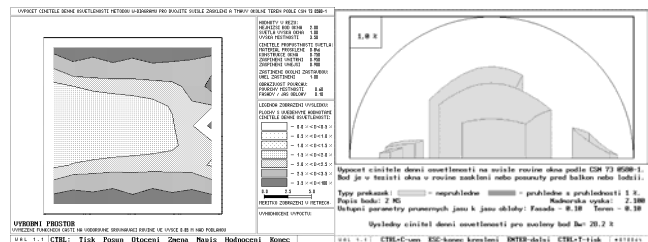


Fig. 11 WAL horizontal and vertical plain

2.2.2 Wdls (P. STANĚK)

Intuitive Windows application, CAD compatible, which speeds up data entry and also calculation speed. Evaluation of points and areas is possible. However, the room cannot be turned, which sometimes complicates data entry. Working with skylights and inclined windows is a great advantage of this program. The algorithm used for calculation has not been published.

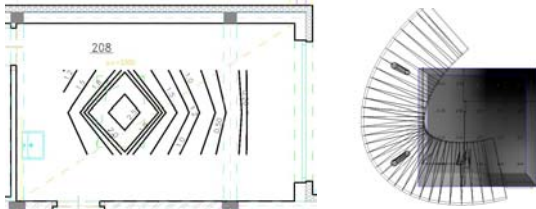


Fig. 12 Wdls, sample output

2.2.3 Eurodial

Very simple program for preliminary evaluation during design of building with relation to exterior lighting, artificial lighting, and proposal of NWSE orientation for the purpose of heating technology design. It provides first impression of thermal characteristics of a room. (E.g. the number of days when AC will have to be switched on, or blinds activated, or a ledge over a window installed because of excess Solar irradiation).

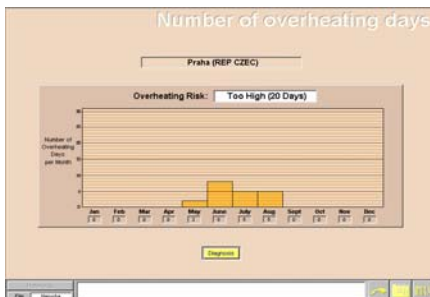
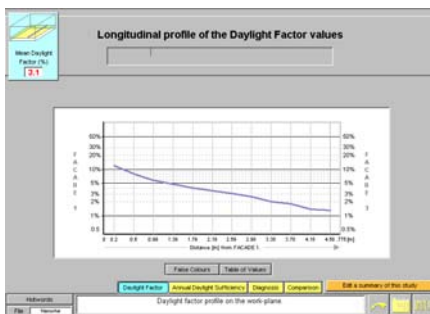
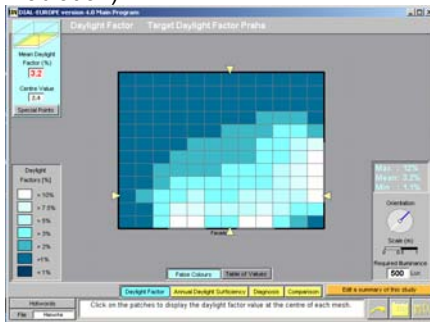


Fig. 13 Eurodial, sample output

2.2.4 Radiance (Ecotect-Dr. A. J. Marsh, IES)

A program simulating not only lighting situation, but also thermal-technical. Radiance method can be categorized as a generalized raytracing method. This method takes all areas as ideal diffusion primary or secondary light sources or a combination thereof. Advantages of his method include simple implementation of visualization and calculation algorithm, as the surface illuminance is being calculated regardless of the direction of viewing of the scene being visualized. When changing this direction, there is no need to recalculate (on the contrary to classical raytracing), which improves the performance tremendously, especially when animating walk-throughs in architectural CAD etc. This program evaluates daylight illuminance and also brightness contrast in an interior and when combined with IES, it is possible to evaluate thermal behaviour as well, and ECOTECT program allows to simulate solar irradiance and to perform acoustical calculations.

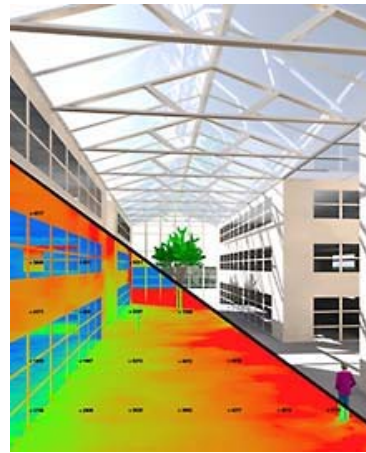


Fig. 14 IES thermal characteristic of an interior

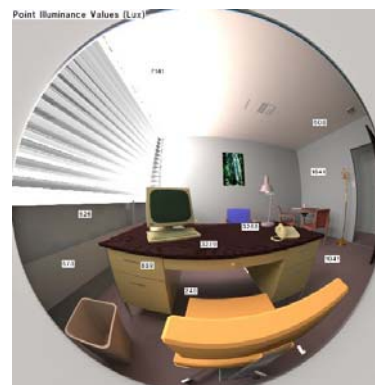


Fig. 15 Sample illuminance [lx] distribution in an interior [3]

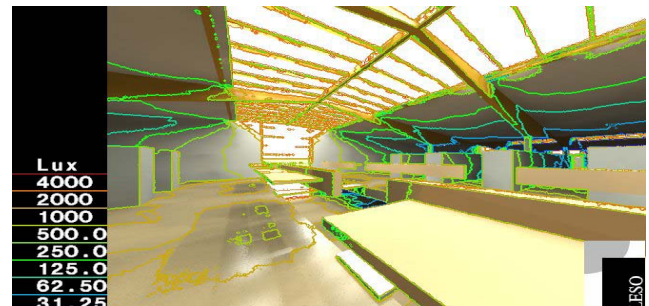
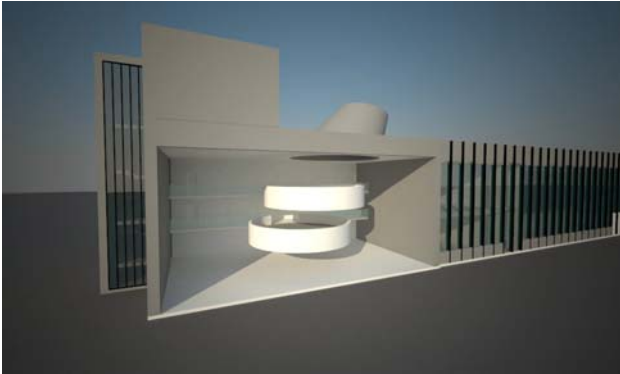


Fig. 16 Illuminance distribution in an interior [3]

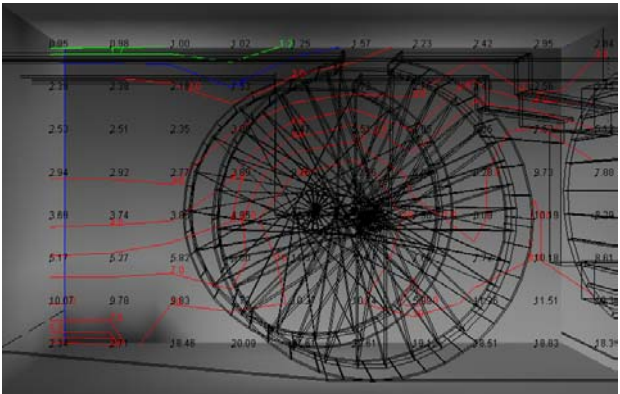
The interior depicted below has special lighting system, including glazed façade and inclined lighting tube with “pills”, which is designed and installed to allow early morning and morning sunlight, while preventing excess thermal load at the noon.



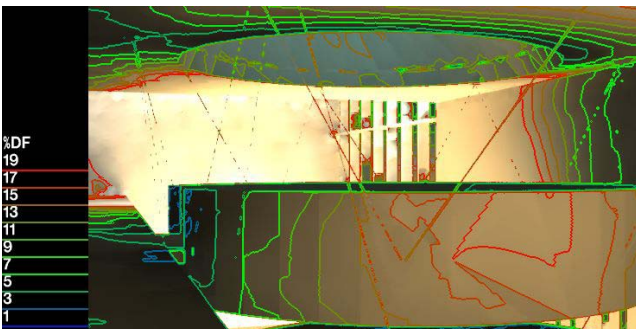
Figs. 17 Design of hall and meeting area [6]



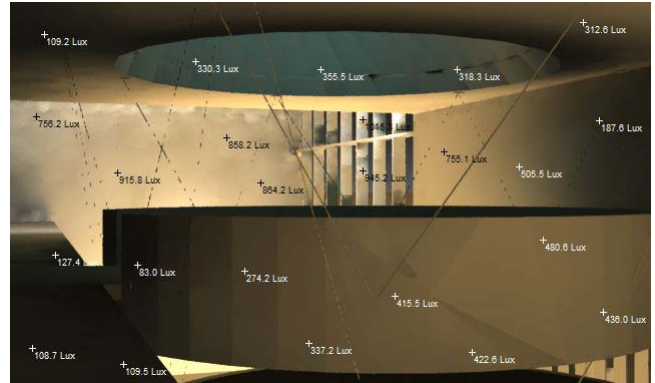
Figs. 18 Design of hall and meeting area [6]



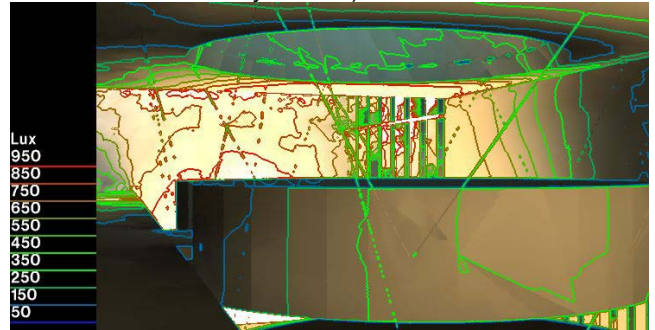
Figs. 19 sample output Daylight Factor (hall from fig 17 and 18 calculated by Wdls)



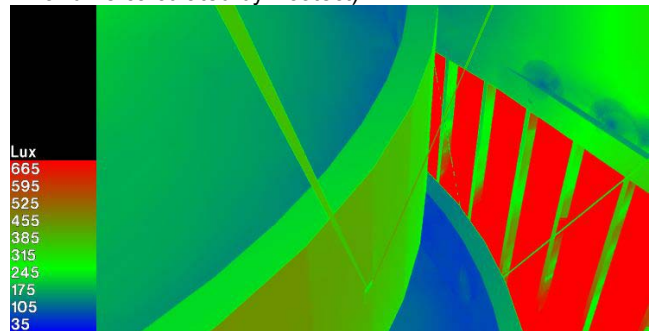
Figs. 20 sample output Daylight factor [%] (hall from fig 17 and 18 calculated by Ecotect)



Figs. 21 sample output Illuminance image [lx] (hall from fig 17 and 18 calculated by Ecotect)



Figs. 22 sample output Illuminance image[lx] (hall from fig 17 and 18 calculated by Ecotect)



Figs. 22 sample output Illuminance [lx] (hall from fig 17 and 18 calculated by Ecotect)

3.1 Conclusion

Daylight may be utilized in many different ways - architects and light technicians must ensure that resulting light effects are suitable from quality and quantity point of view. To assess this, we may use calculation programs. Different methods of light reflection or directing of sunlight should be used to solve the needs for lighting of complex interiors, even if the situation and resulting solution may seem complicated.

4.1. Literature

- [1] Weiglová J., Bedlovičová D., Kaňka J.: Construction Physics 1
- [2] Edwards L., Torcellini P.: A Literature Review of Effects of Natural Light on Building Occupants: Technical Report of National Renewable Energy Laboratory, Colorado, 2002, NREL/TP-550-30769
- [3] <http://radsite.lbl.gov/radiance/HOME.html>
- [4] <http://www.squ1.com/archive/index.php?http://www.squ1.com/archive/daylight/df-ecotect.html>
- [5] www.substance.cz
- [6] Beneš, O.: Unpublished work

Diagram of daily consumption of electricity, houses appliances, distribution them into categories by importance of electricity supply

Abstract. Today, the development of power generation from renewable sources is an effort to maximize the share of total energy consumption. Big source of energy in solar and wind power plants are mostly connected to the distribution network and supply the energy only if it produces (solar power station produced during the day and wind power station produced when is a wind acceptable). For this reason, the energy from these sources are not available for all day and must be taken from other power station (atomic power plant, coal-fired power plant). Our project is designed the source of power which is combined solar power plane, wind power plane and batteries so that electrical energy will be supplied during the all day. The article deals with the study of power consumption of electricity of family house. These houses can be in less occupied areas with their own heating systems. Next step is distribution of household appliances into several categories by the most importance electrical power supplying.

Keywords: solar power plane, wind power plane, batteries, power consumption, power supplying.

Introduction:

Supply of energy in batteries for immediate consumption is limited and it is the necessary recharge. It can be by using with renewable sources as solar panels and wind turbines. The combination of these two sources are chosen so that the production of sufficient energy to recharge throughout the year. This means that in the summer months primarily relies on solar collectors and in winter months (more windy) production with wind power.

Using batteries as a power supply recharging by solar and wind power:

On figure 1 is a block diagram of the proposed project. As a source for batteries recharging, which have a capacity 300Ah and 120 V output voltage, is wind power energy and solar panels. Wind power has 12 kW output power and solar panels has 2 kW output power. For recharging batteries is also possibility used distribution network as is on block diagram (picture 1). Batteries are able to supply the theoretical performance 36 kWh.

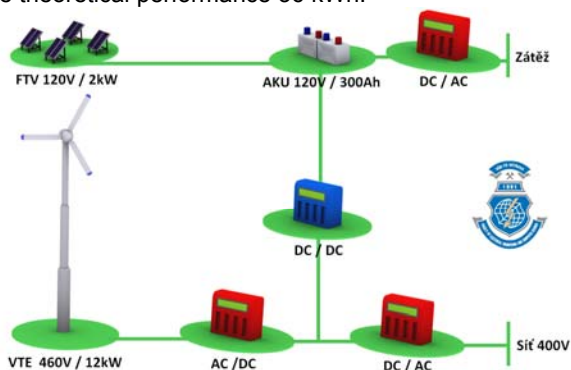


Fig. 1. Block diagram with wind power station, solar power station and batteries.

Description of the examined family house

To determine the daily diagram of consumption has been selected family house in which permanently 5 people life. Researched family house is built on the outskirts of the village. The house has a solid fuel boiler for heating and hot

water. Used home appliances in the house with their consumption are listed in Table 1.



Fig. 2 Map with point of house place

Site build house, the average wind speed at 100 meters above the ground is between 25-50 m/s (figure 3) and average total annual solar radiation is 944-972 KWh/m² (figure 4).

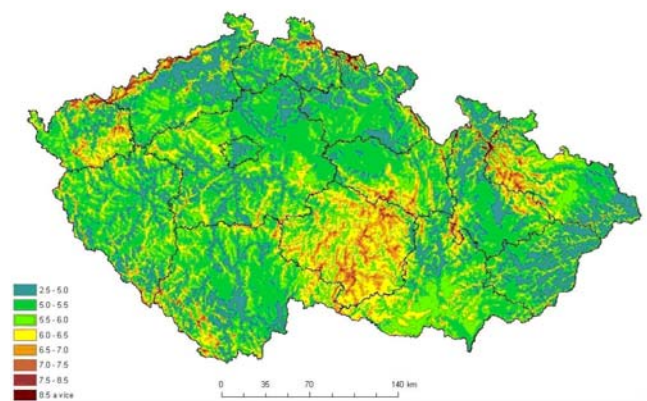


Fig. 3 Map with resulting field of average speed of wind at 100 meters above the ground

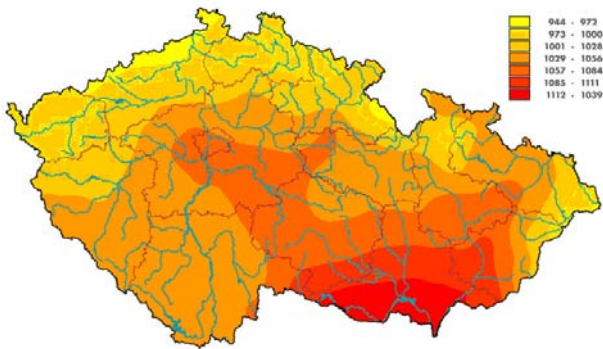


Fig. 4 Maps with average total annual solar radiation

Measurement of daily chart selected house

Family home was measured starting from April 17, 2010 11:01:00 April 25 and ending 2010 4:41:00 p.m. Measurement was carried out using apparatus MDS10 and the results were evaluated in program MDS10 and in program Excel. Measurement voltage range was set to 230 V and current range was set to 30 A. Statistical analysis of measurement and evaluation of the individual days (only all day long measurement) are shown in Figures 5 and 6.

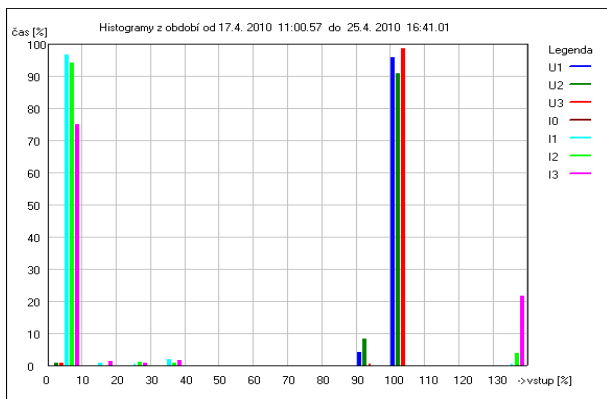


Fig. 5. Statistical processing of current and voltage. On the vertical axis shows the percentage frequency of occurrence in the horizontal axis and voltage (230 V) and current (30 A) as a percentage.

In the statistical processing can be seen that the currents move in areas over 130%. These values are due to error in measurement.

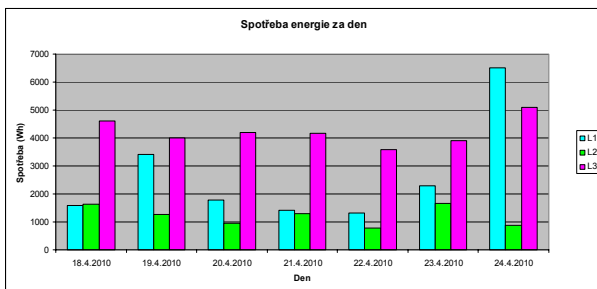


Fig. 6. The average consumption of each day for measurement and for each stage separately

The following table there are each household appliances with their average consumption. At next columns there are

power consumption per day and per year and average length of working in one day. Appliances are divided into three priorities, where the first priority involves appliances that are permanently in operation and are necessary for safety.

The lower rows of the table are given priority for individual consumption and for separately priority consumption.

Table 1: Domestic Appliances and setting priorities:

Home appliances	Priority	Working (hours per day)	Average consumption (W)	Consumption (kWh/day)	Consumption per year (kWh)
Refrigerator	1	6	250	1,5	547,5
Freezer	1	12	300	3,6	1314
TV	2	6	100	0,6	219
Kettle	3	0,15	2000	0,3	109,5
Electric oven	2	0,75	1000	0,75	273,75
Radio	2	4	50	0,2	73
Iron	3	0,2	500	0,1	36,5
Microwave oven	2	0,01	1000	0,01	3,65
Washing machine	3	0,7	2000	1,4	511
Dishwasher	3	0,3	2100	0,63	229,95
Lighting	1	4	200	0,8	292
Computer	3	4	400	1,6	584
Other	3	1	400	0,4	146
All home appliances			10300	11,89	4339,85
1. priority			750	5,9	2153,5
2. priority			2150	1,56	569,4
3. priority			7400	4,43	1616,95

All appliances are single phase and their total power is 10300 W. If we consider an ideal situation, so the voltage is 230 V to the total consumption of all appliances is about 45 Ah. With a 300 Ah battery power is possible to operate all appliances 6.7 hours. If we consider only the first priority it will be 92 hours.

Conclusion:

Podle denního diagramu se odběr proudu ve všech fázích pohybuje po většinu dne od 0 % do 10 % nastaveného proudového rozsahu (30 A), což je zhruba do 3 A. V tomto případě by spotřebiče vydržely cca 33 hodin. V zjednodušených výpočtech nejsou uvažovány ztráty v jednotlivých blocích a taky není uvažováno se současným dobíjením akumulátorových baterií solární a větrnou elektrárnou.

According to the daily chart, the current consumption in all phases of moving most of the day from 0% to 10% of the set current range (30 A), which is approximately up to 3 A. In this case, the unit lasted about 33 hours. The simplified calculations are not considered losses in individual blocks and are also considered the current charging rechargeable batteries, solar and wind power.

Acknowledgement:

This article was created under project SP/201073, "Využití hybridních obnovitelných zdrojů elektrické energie"

REFERENCES:

- [1.] Murtinger, K., Beranovský, J., Tomeš, M.: Fotovoltaika - elektřina ze Slunce 1. vydání, ERA, 2007
- [2.] Hradílek, Z. Elektroenergetika distribučních a průmyslových zařízení, VŠB-TU Ostrava, MONTANEX a.s., 2008
- [3.] Větrná mapa. ČSVE: Česká společnost pro větrnou energii [online]. 19.03.2009, [cit. 30.05.2010]. Dostupný z WWW: <<http://www.csve.cz/clanky/detail/35>>

Authors: Ing. Petr Závada,
VŠB-TU Ostrava, Department of Electrical Power Engineering -
410, 17. listopadu 15, 708 33, Ostrava - Poruba, Czech Republic
E-mail: petr.zavada@vsb.cz;
prof. Ing Karel Sokansky, CSc.
VŠB-TU Ostrava, Department of Electrical Power Engineering -
410, 17. listopadu 15, 708 33, Ostrava - Poruba, Czech Republic,
E-mail: karel.sokansky@vsb.cz.