

**ČESKÁ SPOLEČNOST PRO OSVĚTLOVÁNÍ**  
**Společnost pro rozvoj veřejného osvětlení**  
**Slovenská svetelnotechnická spoločnosť**  
**Český národní komitét CIE**  
**Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava**  
**České vysoké učení technické v Praze**

ve spolupráci s / in cooperation with



**21. 9. – 23. 9. 2011**

**19. mezinárodní konference**

**19<sup>th</sup> International Conference**

**SVĚTLO 2011**  
**LIGHT 2011**

**EKOLOGIE - EKONOMIKA - EFEKTIVITA**  
**ECOLOGY - ECONOMY - EFFICIENCY**  
**Hotel OLYMPIK - PRAHA**

**[www.svetlo2011.cz](http://www.svetlo2011.cz)**



**ČESKÁ SPOLEČNOST PRO OSVĚTLOVÁNÍ**  
**Společnost pro rozvoj veřejného osvětlení**  
**Slovenská svetelnotechnická spoločnosť**  
**Český národní komitét CIE**  
**Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava**  
**České vysoké učení technické v Praze**

ve spolupráci s / in cooperation with Eltodo

# **SVĚTLO 2011**

# **LIGHT 2011**

**EKOLOGIE - EKONOMIKA - EFEKTIVITA**  
**ECOLOGY - ECONOMY - EFFICIENCY**

**21. 9. – 23. 9. 2011**

**19. mezinárodní konference**

**19<sup>th</sup> International Conference**

**Hotel OLYMPIK - PRAHA**

**ISBN 978-80-248-2480-2**

## OBSAH / TABLE OF CONTENTS

<b>Julian B. Aizenberg</b>	<b>1</b>
Integral Approach to Design Building engineering systems: (lighting, heating, air conditioning) – as a effective way to Energy Saving	
<b>Peter Janiga, Dionýz Gašparovský</b>	<b>4</b>
Voltage Regulation in Public Lighting Networks	
<b>Jan Škoda, Petr Baxant</b>	<b>7</b>
Fotometrie světelných zdrojů s LED	
<b>Anton Rusnák, František Krasňan, Alfonz Smola</b>	<b>12</b>
Daylight spectrum in interiors	
<b>Zlatko Balaš</b>	<b>16</b>
Stmievanie verejného osvetlenia v súvislosti s kategorizáciou miestnych komunikácií	
<b>Miroslav Badida, Ružena Králiková, Darina Badidová, Katarína Kevická</b>	<b>19</b>
Ekologizácia návrhu umelého osvetlenia priemyselných objektov	
<b>Ladislav Kómar</b>	<b>23</b>
Contribution to modelling of light transmission through the cupola of light guides	
<b>Petr Klvač</b>	<b>26</b>
Odborné posuzování vlivu stínění stavbami	
<b>Jiří Novotný</b>	<b>29</b>
Revize evropských norem pro osvětlování a terminologii	
<b>Aleš Kaňa</b>	<b>31</b>
Inteligentní řešení Střední školy a gastronomie	
<b>Tomáš Maixner</b>	<b>34</b>
Kompenzace rušivého světla	
<b>Tomáš Maixner</b>	<b>36</b>
Indukční výbojové zdroje ve veřejném osvětlení	
<b>Tomáš Maixner</b>	<b>40</b>
Ekologie osvětlovacích soustav	
<b>Josef Kunc</b>	<b>44</b>
Úspory energie ve vazbě na EN 15232:2007	
<b>Petr Baxant, Stanislav Sumec, Tomáš Pavelka</b>	<b>48</b>
Using digital photos for quality assessment of variable traffic signs	
<b>Grega Bizjak, Matej B. Kobav</b>	<b>51</b>
LED Spectra and Melatonin Suppression Action Function	

<b>Grega Bizjak, Matej B. Kobav</b> How Energy Efficient is Road Lighting Practice in Slovenia	<b>56</b>
<b>Marko Kos, Grega Bizjak</b> Calculation of electrical energy use for lighting according to EN 15193	<b>60</b>
<b>Martin Marek, Regina Holčáková, Petr Stoklas, Petr Staš</b> Electrical gas discharges in the light sources application - Design and implementation of experimental laboratory for teaching of subject Plasma Physics	<b>64</b>
<b>Martin Marek, Petr Stoklas, Peter Staš, Regina Holčáková</b> Volt-Ampere characteristics of the electric arc – Design and implementation of Experimental laboratory workplace for teaching of the subject Plasma physics	<b>68</b>
<b>Zdeněk Bláha, Karel Sokanský, Tomáš Novák</b> Vyhodnocování osvětlení přechodů pro chodce pomocí jasové analýzy	<b>72</b>
<b>Jiří Habel, Petr Žák</b> Současnost a budoucnost světelné techniky	<b>74</b>
<b>František Krasňan, Matej Janík</b> Metodika merania núdzového osvetlenia	<b>79</b>
<b>Jiří Skála</b> LED svítidla pro veřejné osvětlení	<b>82</b>
<b>Alena Muchová, Radim Gřes</b> Racionalizace ve veřejném osvětlení v Ostravě	<b>86</b>
<b>Iveta Skotnicová</b> Optimalizace světelné a tepelné pohody interiéru budov	<b>88</b>
<b>Petr Žák, Jiří Habel</b> Porovnání klasických a polovodičových světelných zdrojů v praxi	<b>91</b>
<b>Marián Flimel</b> Selected problems of workplaces lighting in situ conditions	<b>94</b>
<b>Michal Staša</b> Energy Audit of Street Lighting	<b>98</b>
<b>Matej Janík</b> Assessment of disability glare in traffic	<b>99</b>
<b>Pål Larsen, Tor Mjøs</b> Outdoor Lighting – Correct lighting at all times	<b>103</b>
<b>Pentti Hautala</b> Planning and design process of road lighting	<b>107</b>
<b>Marek Bálský, Rudolf Bayer</b> Use of direct and indirect components of solar radiation in photovoltaics	<b>110</b>

<b>Michal Vik, Martina Viková</b>	<b>113</b>
The influence of measured spectral band-pass width on calculation of colorimetric parameters of color objects	
<b>Jan Zálešák, Jiří Habel, Karel Sokanský</b>	<b>116</b>
Summary of present knowledge about mesopic vision	
<b>Jan Kaňka</b>	<b>118</b>
The modern way to use Daniljuk method	
<b>František Krasňan, Ľudovít Varga, Anton Rusnák, Zlatko Balaš</b>	<b>121</b>
Závislosť svetelného toku zdrojov od teploty	
<b>Karel Kuchta</b>	<b>125</b>
Blackout – reálná hrozba nebo mýtus?	
<b>Richard Kittler</b>	<b>128</b>
Hľadajú sa nové kritériá osvetlenia interiérov	
<b>Tor Mjøs, Pål Larsen</b>	<b>132</b>
Indoor lighting – Energy Friendly Installations	
<b>Stanislav Darula</b>	<b>136</b>
Parameterisation of daylight exterior conditions	
<b>Daniel Hlubeň, Ľubomír Beňa</b>	<b>140</b>
Meranie svetelnotechnických a elektrických parametrov lineárnej žiarivky pri použití rôznych typov predradníkov	
<b>Péter Schwarcz</b>	<b>143</b>
Applications of CIE recommended mesopic model for road lighting	
<b>Jan Látal, Petr Koudelka, Jan Vitásek, Petr Šiška, Vladimír Vašínek, Karel Sokanský</b>	<b>146</b>
Measurement and optimization of LED driver features for automotive applications	
<b>Petr Závada, Tomáš Novák, Karel Sokanský</b>	<b>155</b>
Environmental zones in the ČR and their classification by luminance analysis	
<b>Peter Dehoff</b>	<b>158</b>
Lighting Quality And Energy Efficiency Is Not A Contradiction	
<b>Dionýz Gašparovský, Peter Janiga</b>	<b>163</b>
Measurements of Energy and Efficiency Related Parameters in Public Lighting Networks	
<b>Dionýz Gašparovský, Marek Macha</b>	<b>168</b>
Lumen Losses and LIDC Distortion due to Deposition of Dust and Dirt Particles on High-reflectance Parts of Luminaires	
<b>Jiří Pích</b>	<b>173</b>
Metodika hodnocení a posuzování osvětlení silničních přechodů	
<b>Petr Koudelka, Jan Látal, Petr Šiška, Jan Vitásek, Vladimír Vašínek, Karel Sokanský,</b>	<b>178</b>
Research of power LEDs properties for free-space communications	

<b>Ivo Penn, Adéla Kadulová</b> Light and Human Health	<b>182</b>
<b>Zbyněk Carbol, Jan Šumpich</b> Možnosti ve vývoji LED svítidel	<b>186</b>
<b>Daniel Diviš, Karel Sokanský, Tomáš Novák</b> Měření a vyhodnocování spektrálních vlastností odraženého záření od noční oblohy	<b>189</b>
<b>Pavel Stupka</b> Denní osvětlení uvnitř rekonstruovaných budov	<b>191</b>
<b>Tomáš Novák, Karel Sokanský, Jaroslav Šnobl</b> Vývojové trendy LED svítidel pro veřejné osvětlení	<b>196</b>
<b>Zuzana Mathauserová, Jana Lepší</b> Byty z hlediska předpisů a pohledu	<b>199</b>
<b>Tomáš Novák, Jan Šumpich, Zbyněk Carbol, Karel Sokanský</b> Stanovení denní osvětlenosti pod rovnoměrně zataženou oblohou za účelem snížení energetické náročnosti v budovách	<b>207</b>
<b>Roman Hrbáč, Tomáš Novák, Karel Sokanský</b> Mikroprocesorově řízený luxmetr s automatickým provozem a digitálním záznamem dat pro dlouhodobá měření (nejen) nízkých osvětleností	<b>210</b>
<b>Michal Krbal, Petr Baxant</b> Influence of Temperature to Change Operational Parameters of Small Light Sources	<b>214</b>
<b>Michal Novák</b> LED – Nová dimenze světla v architektuře	<b>217</b>
<b>Karel Dvořáček</b> Osvětlení a energetické posuzování budov	<b>221</b>
<b>František Krasňan, Pavol Kiss, Alfonz Smola</b> Návrh iluminácie kalvárie v Banskej Štiavnici	<b>224</b>
<b>František Krasňan, Anton Rusnák</b> Veľkoplošné LED obrazovky a bezpečnosť na cestách	<b>227</b>
<b>Stanislav Mišák, Lukáš Prokop</b> Analysis of Effectiveness of Hybrid System for Power of Public Lighting	<b>231</b>
<b>Jiří Voráček</b> Energetické a provozní úspory při zavádění LED svítidel do soustav veřejného osvětlení	<b>235</b>
<b>František Krasňan</b> Výpočet indexu oslnenia UGR pri LED svietidlách	<b>237</b>
<b>Libor Kozubík</b> Concept of Smart Grids and Smart homes in relation to lighting management	<b>240</b>
<b>Jaroslav ŠPANKO</b> Tvorba svietidiel pre pamiatkové prostredie	<b>241</b>



# Integral Approach to Design Building engineering systems: (lighting, heating, air conditioning) – as a effective way to Energy Saving

**Abstract.** A substantial decrease in energy consumption in buildings can only be achieved if all engineering systems (natural and artificial lighting, ventilation, air conditioning and heating) are designed in comprehensive way, integral. It can be shown by four case studies of lighting installation with different types of Hollow Light Guides (HLG) - main line, with heliostate and with short suntube (HLG skylights).

**Keywords:** Illumination, Hollow Light Guide, Natural and electrical illumination, skylights, maintenance cost, energy consumption, heliostate

## Introduction

Integration of natural and electrical illumination is an important problem of modern lighting engineering. Good solution of the problem gives benefits not only in the high single-story buildings, but also in the deep buildings glazed along the perimeter; with windows located far from the central zones, and in the building without daylight at all (underground trade centers, car parks, etc). The important next step - integral approach to design building engineering systems - as a effective way to energy saving.

## Case study

1. A 20000 sq.m. termo-constant cooper plate production area was illuminated by mirror slit HLG. The construction of building (Fig 1) was designed with special electrical engineering corridors. In this corridors outside the working premises in maintenance bridges were installed the injectors with HID mirror like lamps 3\*700 W each. That alone (thanks to the fact that heat from high wattage lamps was generated outside working area) allowed to decrease the wattage of the air-conditioning systems by 600 kW. The resulting energy saving in 24/7 production cycle amounted to 5,160 MW hours per year. The other results:

- number of luminaires (in comparison with first design) were decreased in 30 time;
  - extension of electro net was reduced many time;
  - the maintenance costs were greatly decreased.
- The second case study

2. Integration of natural and electrical illumination is an important problem of modern lighting engineering. Good solution of the problem gives benefits not only in the high single-story buildings, but also in the deep buildings glazed along the perimeter, with windows located far from the central zones, and in the buildings having no daylight at all (Fig 2).

Cardinal solutions of how to lead sunlight into a room lacking daylight were achieved using heliostats and long HLG.

The "Heliobus" lighting installation in the 4-storied school in St. Gallen (Switzerland) was the next significant step in the development of the integrated lighting systems. For the first time the systems for transporting and distributing solar light and electric light were combined in a single long vertical hollow light guide (Fig 3).

Similar solution was realized in the lighting installation of the 2-storied school in Schiers (Switzerland) (Fig. 4).

We suggest three types of integral systems: for high one-story buildings, for underground rooms, and for wide

buildings with perimeter glazing. Making the proposition we understand the need to do the following:

- to use the simplest sealed heliostats (i.e. without open optical systems) in the buildings located in industrial sites;
- to use unified units for transportation and distribution of solar or electric light;
- to take electric circuits and units that require maintenance out of the illuminated room;
- to eliminate dissipation of heat (radiated by the Sun or electric lamps) in the room in order to reduce the power of air-conditioning systems;
- to reduce the dimensions of the openings, through which the light is being introduced in the room.

Figure 5 show the schemes of the suggested systems that meet the requirements stated above.

3. Case study: The third group are the short HLG skylights. The Simplest - HLG skylights systems provide the solar light and prevent the premises heating that can occur in summer months and limit the heat loss that occurs in winter months. Skylights HLG in cottedg shown at Fig. 6a (companies name - Solarspot or SunPipe).

This effect is perhaps one of the most significant advantages of HLG, particularly in southern European countries and the Middle East. With temperatures externally often being 40°C, the prevention of solar gain to the inner space is vitally important.

In winter months the situation is reversed but again, the HLG tube of a relatively small diameter/results in minimal heat loss. A simple area calculation shows that these figures are equivalent to 1.59-1.72 W/m<sup>2</sup>/K. The UK Building Regulations states a value of 1.9W/m<sup>2</sup>/K for argon filled triple glazing with 16 mm spacing, which demonstrates the performance of the excellent HLG skylight.

HLG scylights give the possibility:

- reduced energy consumption (lighting energy cost for office space could be reduced by as much as 60%);
- daylighting measures cost less than 1% of the construction budget and achieved a payback in less than 2-3 years.

4. Case study: Input daylight in basement premises.

One of new options of using natural light for low level and basement premises is a new systems also called «Heliobus2» which is implemented in Switzerland, by Signer Company (Fig. 7 a, b).

Their device is a sealed rainproof box maintained on to the low level window. The inner surfaces of the box covered with mirror reflected material of Alanod Co type «Miro».

The top of the box covered by flat clear hard silicat glass. This provide input box natural light: direct sunlight and

global light from outside and plus artificial light from Fluorescent lamp.

In conclusion, we have to point out (along with high economic and technical advantages) one very important feature of suggested integral lighting systems with the light guides. Unlike other known electrical lighting systems that provide steady-state lighting conditions, the new integral system operating with solar light provides dynamic, permanently changing illumination. It reflects everything that takes place in the sky: either rainbow or changes of sky brightness, e.g. shadows run along the light guide as clouds move in the sky. All these make integral systems look lively and optimistic.

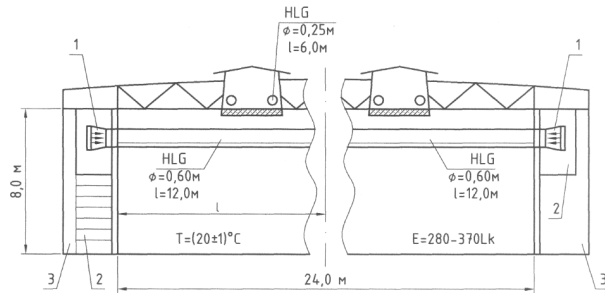


Figure 1. The construction of thermo-constant building with main HLG line:  
 1 – Ingektor 3x700W HID Mirrorlike + 1 IL500W; 2 – Maintenance Bridges; 3 – Electrical engineering corridor

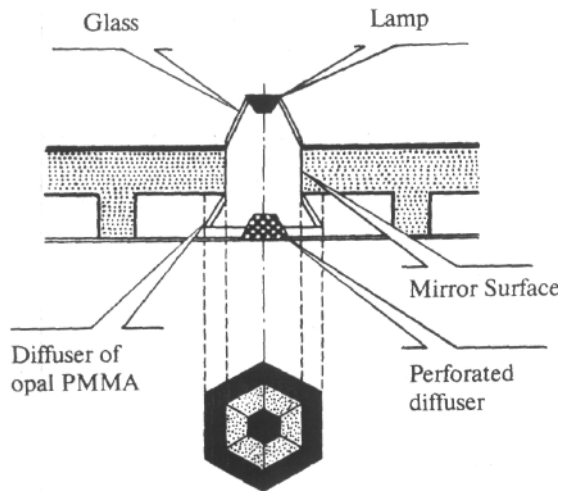


Figure 2. A suggestion concerning integration of lighting systems on the base of HLG skylights

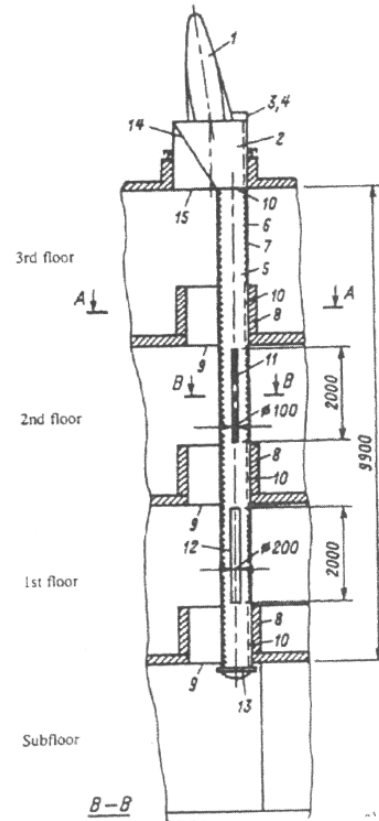


Figure 3. Integrated lighting system "Heliobus" Left: Vertical section of system showing:  
 1 – collector (heliostat); 5 – HLG with SOLF internal prismatic film;  
 10 – specularly reflecting film; 11, 12 – internal extractors;  
 13 – diffuser Right: light collector (heliostat) at root level and HLG view

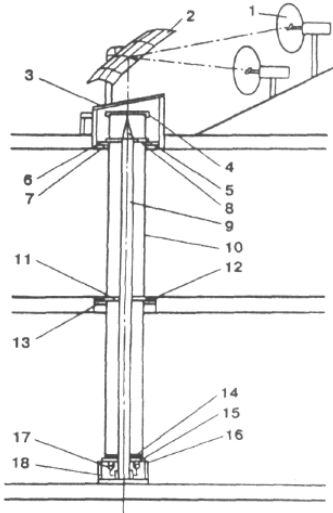


Figure 4. Integral lighting system in Schiers:  
 1 – heliostat mirrors; 2 – sunlight input secondary optical system; 3 – plane transparent silicate glass;  
 4, 5, 12 – connection group of the light guide system;  
 6, 7, 11, 13, 15 – construction assembly of fastenings;  
 8 – cone mirror's reflector; 9 – circular extractor; 10 – light guide system; 14 – filter for thermo protection;  
 16, 18 – basement with electronic power supply system;  
 17 – four mirror's halide lamps

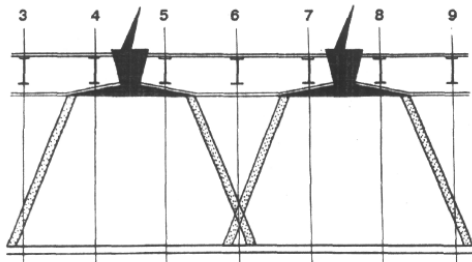


Figure 6. Skylights in Cottedg and Store

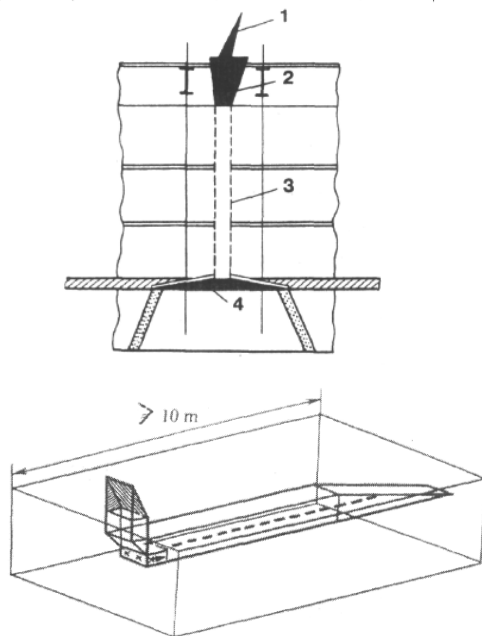


Figure 5. The integral lighting system suggested for high one-story buildings, for underground rooms, for deep rooms

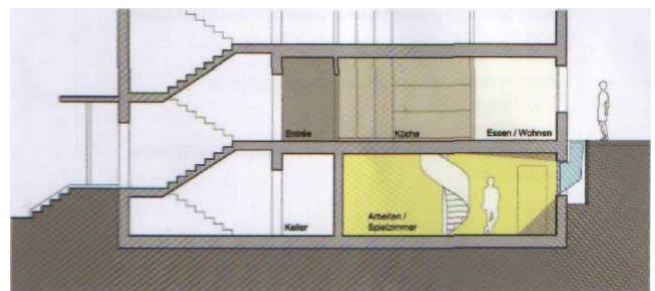
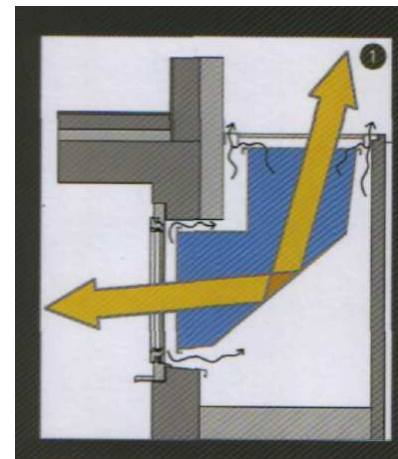


Figure 7. Input of daylight in basement premises

# Voltage Regulation in Public Lighting Networks

**Abstract.** Voltage regulators are installed close or in the cabinet in quest to reduce consumption and rationalization of operations. More frequent use of regulators is a consequence of the use of switching sources, financing from European funds and affordability. When deploying the controller in the network of public lighting there are some problems. For example, the problem with the voltage setting out stable operation, a problem with a stable start discharge lamps or overvoltage when use regulator with transformer. These problems are the result of poor assessment of the electrical network parameters.

**Keywords:** public lighting networks, voltage regulation, power quality,

## Introduction

Public lighting networks in the last decade, significantly reconstructed. It is the result of efforts to make the appearance of towns and villages but also the result of efforts to reduce operating costs. Reconstructions in Slovakia have been solved at different scales. In some cases, the lamps were exchanged just a piece of a piece without any peer review. Reconstruction solves many operational aspects. The main objective is to fulfill normative requirements. The current phase of reconstruction is to exchange new lamps, lamps with LED light sources, and identify further potential savings.

The savings potential is the voltage regulation, thereby reducing power lamps. This regulation may be solved individually in the lamp or the central switchboard of the public lighting. Paper focuses on the central regulation solution. These applications are used with autotransformers regulators, transformers with tap or regulators with a switching power supply.

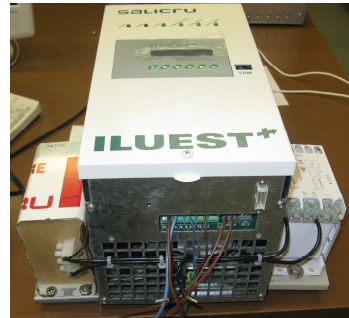


Fig.1. Regulator with transformer (top) and regulator with a switching power supply (bottom)

In Figure 2 is behavior current by sinusoidal voltage of ideal power supply and behavior current by regulator with switching source. Figure and subsequent measurements is seen that the voltage is quite precisely regulated process but voltage is slightly deformed. It is evident from the distortion of current supplied by the regulator.

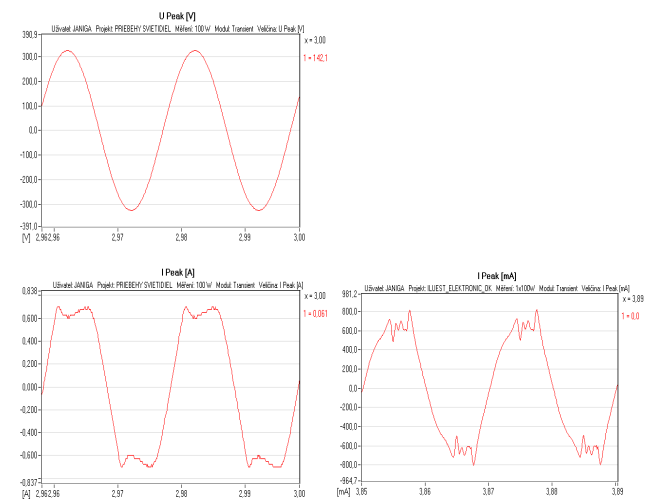
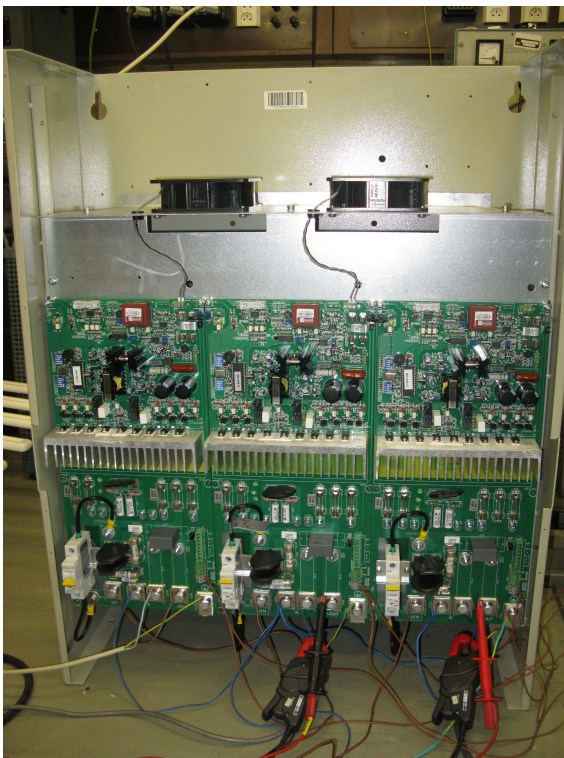


Fig.2. Ideal source voltage behavior and lamp current and lamp current by regulator with switching power supply

## Measuring the minimum ignition voltage for stable operation of the most commonly used lamps

Before proposing control the regulator is necessary to analyze the environment in which they will be applied. In terms of stable operation is mainly to assess the minimum ignition voltage and minimum voltage at which discharge is still stable. In Tab. 1 are the minimum voltage measured in laboratory conditions. Measured values serve basis for assessing the suitability of voltage regulation.

In discharge lamps the value of the minimum voltage depends on length of the arc and the ballast elements. The measurements and practical experience, we are the riskiest lamps with compact fluorescent lamps. The first is due to the longest arc and also the largest thermal dependence. Measurements and practical experience shows that the most risky are lamps with compact fluorescent lamps. The first is due to the longest arc and also the biggest thermal dependence.

Table 1. Minimal lamps voltage

Light source	Minimum lamp voltage when discharge was still stable	Minimum lamp voltage when discharge started
High pressure sodium lamp 70 W	61 V	185 V
High pressure sodium lamp 100 W	98 V	187 V
Compact fluorescent lamp 36 W	143 V	173 V
Metal halide lamp 150 W	135 V	195 V
Metal halide lamp 400 W	135 V	180 V

Using the regulator in the public lighting network should be complex considered. When installed compact fluorescent lamps with long distances from the cabinet, causing voltage decreases approaching the maximum permissible values and the voltage regulation is beginning to branch at the limit of stable operation of the lamp. These factors significantly jeopardize the stable operation of the lamp and reduce lifetime of lamp parts.

#### Proposal optimal regulator setting reflecting differing used lamps requirements

Design of optimal regulator settings requires the expertise of several effects. Maximum savings are achieved when exploiting the potential of all potential savings. This is the main measure of voltage regulation due to lower utilization of communication and therefore the possibility to re-class communication. voltage due to lower utilization of communication and therefore the possibility to re-class communication.

It is also possible to achieve a reduction in voltage regulation due to overdimension-network using the lamp from the power board the manufacturer. It is the result of the lamps are manufactured with precise user input but the most power board 50, 70, 100, 150, 200, 250 W. The potential savings is a reduction in lamp power to over-compensation as a result of using the maintenance factor. Optimal settings described in this paper is the following graph.



Fig.3. Zmena príkonu v závislosti od napätia

These optimal regulator settings can not be realized in any regulator. Therefore, the potential savings of some regulators is limited.

New regulators work by switching sources in comparison with older. This makes the voltage in the public lighting network stabilized. Another advantage is the ability to better control operations the regulator, a communications control center or other regulators. In terms of the principle activities include electronic controllers elements that would be risk at generation of switching currents. Therefore, the regulator in the first second by-pass and power supply voltage is identical with the network.

In next steps regulator generates voltage according to set requirements. Controllers with complex control are set on several levels, depending on the desired output lamps. The transition between different levels can be either a jump in fixed steps or smooth, with a smooth transition less strain on the individual elements of the public lighting network.

#### Measurement of saving in the lamp operation with reduced voltage

In the section devoted to the measurement of savings is considered most types of lights are installed in public lighting networks in Slovakia. The tables and charts, describes the changes in lamp power depending on voltage changes. Measurement result is seen that lamps with discharge lamps have no direct correlation between voltage drop and lumen maintenance. In the decrease of lamps light flux is greater than the voltage. This difference is not so pronounced at the lamps with LED lamps. When measurements were compared nominal voltage, lower operating voltage and low voltage energy saving.

Table 2. Power depending on voltage

	Light source	Voltage [V]		
		230	220	190
Power [%]	100 W HPS	100	91,1	61,7
	70 W HPS	100	90,0	65,5

Table 2. Luminous flux depending on voltage

	Light source	Voltage [V]		
		230	220	190
Luminous flux [%]	100 W HPS	100	86,19632	50,76687
	70 W HPS	100	84,77851	48,68049

The decrease at reducing power voltage of 10 V is about 10% measured at both types of lamps. In power saving mode (representing a 190 V voltage) is saved at 100 W lamp 38.3% and at 70 W lamp 34.5%.

## Conclusion

Voltage regulators are set correctly at significant potential savings. Use the regulator requires to consider a specific network of public lighting, which will be installed. In terms of stable operation is necessary to control the voltage drop and the scope of regulation to set the voltage at any point of the network was less than the minimum voltage when the discharge is stable. Ideally, if the network starts up the nominal voltage and regulation occurs only after stabilization.

When designing the application the regulator in the network of public lighting should be done with passive consumption and flat consumption the regulator. This coverage varies depending on the equipment the regulator and its power. Controllers with communication card (GSM, Wi-Fi) to consumption by about 10 W and increased the consumption is nonstop. Consumption at operating the regulator is of the order of tens of watts (power control elements, servo motors, cooling).

### Acknowledgement

Authors are grateful to the Slovak Research and Development Agency for support of the Slovak VEGA project 1/0687/09.

### REFERENCES

[1] Sankaran, C. (2002): Power Quality, CRC Press.

- [2] Sokanský, K. (1997): Vzájemné vlivy osvětlovacích soustav a elektrizační soustavy, VŠB-TU, Ostrava.
- [3] Sokanský, K., Orság, F. (2001): Vzájemné ovlivňování kompaktních záživek a napájecí sítě, Zborník medzinárodnej vedeckej konferencie Svetlo, Bratislava.
- [4] STN EN 50160: Charakteristiky napätia elektrickej energie dodávanej z verejnej distribučnej siete.
- [5] Szathmáry, P. (2003): Kvalita elektrickej energie, ABB Elektro, s.r.o., Bratislava.
- [6] Šimič, J., Gros, S., Lasič, M. (2006): Third Harmonic in Low Voltage Networks, Zborník medzinárodnej vedeckej konferencie Electrical installations, Vedograf, Záhreb.

---

**Authors:** Ing. Peter Janiga, Slovak University of Technology in Bratislava, Faculty of Electrical Engineering and Information Technology, Ilkovičova 3, Bratislava, Slovakia, e-mail: [peter.janiga@stuba.sk](mailto:peter.janiga@stuba.sk)

Doc. Ing. Dionýz Gašparovský, Slovak University of Technology in Bratislava, Faculty of Electrical Engineering and Information Technology, Ilkovičova 3, Bratislava, Slovakia, e-mail: [dionyz.gasparovsky@stuba.sk](mailto:dionyz.gasparovsky@stuba.sk)

## Fotometrie Světelných Zdrojů s LED

**Abstrakt.** Článek vzájemně porovnává čáry svítivosti zdrojů s luminiscenčními diodami, změřených v různých fotometrických vzdálenostech. Rovněž porovnává měrný výkon, jas a osvětlenost vytvořenou zdroji s LED oproti zdrojům zářivkovým. Rovněž porovnává energetickou náročnost typů zdrojů k dosažení ekvivalentního osvětlení.

**Klíčová slova:** LED zdroje, fotometrie, osvětlenost.

### Úvod

V souvislosti s nařízením č. 244/2009 ze dne 18. března 2009 evropské komise založené na směrnici Evropského parlamentu a Rady 2005/32/ES upravující požadavky na ekodesign všesměrových světelných zdrojů pro domácnosti [2] je na území EU od 1. září 2009 postupně zakazován dovoz a výroba klasických žárovek podle jejich příkonu, až do jejich úplného zakázání 1. září 2016. Tímto krokem chce evropská komise za předpokladu přechodu ze žárovek na kompaktní zářivky ročně ušetřit 40 TWh elektrické energie (což odpovídá průměrné roční spotřebě elektřiny 11 milionů evropských domácností v roce 2008). [5]

Učinnost přeměny elektrické energie první zakázané avšak neúčinnější 100W žárovky je při světelném toku  $\Phi=1350\text{lm}$ , přibližně 2% (plynoucí z maximální teoretické účinnosti  $683\text{lm}\cdot\text{W}^{-1}$ ). Proto jsou postupně nahrazovány klasické žárovky účinnějšími zdroji světla, ať už na bázi nízkotlakých rtuťových výbojek v podobě kompaktních zářivek, nebo indukčních výbojek či v současné době velmi moderních světelných zdrojů s LED. Díky použití velkého množství malých bodových polovodičových zdrojů v jednom celku, mají poslední zmiňované zdroje oproti ostatním specifickou distribuci světelného toku. Proto je třeba k fotometrii LED zdrojů přistupovat zvláště pečlivě, aby při výpočtech osvětlovacích soustav osazených těmito zdroji nedocházelo ke zbytečným chybám.

### Typy LED zdrojů

LED zdroje určené jako náhrady klasických žárovek s patičkou E27 jsou vyráběny v pouzdrech připomínající tvar žárovky. Rozměr náhrad je oproti klasické žárovce, která má rozměry  $56\times 97\text{mm}$ , díky nutnosti užití elektroniky pro činnost LED o něco větší, typicky  $56\times 126\text{mm}$  [10]. Důležitou skutečností je fakt, že díky své konstrukci viz Obr. 1



Obr. 1. Náhrada klasické žárovky od firmy TESLUX [8]

vede při použití takovýchto náhrad ve svítidlech k odlišnému tvaru výsledné čáry svítivosti svítidla. Na trhu se kromě těchto náhrad objevují i zdroje v provedení kdy jsou LED ukryty pod matným materiálem viz Obr. 2.



Obr. 2. Náhrada matné žárovky od firmy TESLUX [9]

Užití náhrad tohoto typu do jisté míry vyřazuje funkci reflektoru svítidla, neboť je světelný zdroj typu down-light a odrazné plochy svítidla jsou podstatě zbytečné. Tato skutečnost může v budoucnu vést k výraznému zlevnění svítidel určených výhradně pro zdroje s LED, neboť již nebudou potřeba pro tento typ zdroje ve svítidle kvalitní odrazné plochy a svítidlo bude pouze sloužit spíše k zabránění oslnění, propojení zdroje se sítí a rovněž k funkci estetické.

Nejvýznamnějším parametrem, který by měl být klíčovým při volbě náhrady klasické žárovky je světelný tok  $\Phi$  udávaný v jednotce Lumen ( $\text{lm}$ ) nikoliv příkon  $P$  udávaný ve Watech ( $W$ ). Světelný tok je úzce spjat s měrným výkonem  $M_z$  udávaný v Lumenech na Watt ( $\text{lm}\cdot\text{W}^{-1}$ ), který vyjadřuje, kolik světelného toku lze získat z jednoho Wattu. Stručný přehled měrných výkonů lze nalézt v [7]. Rovněž přehledně zpracovaný článek v [4] přináší názorné porovnání náhrad za klasické žárovky s alternativními světelnými zdroji. Z něj je převzata i následující tabulka Tab. 1. přinášející přehled světelných toků klasických žárovek a jejich náhrad.

Tabulka 1. Přehled náhrad za klasickou žárovku z pohledu odpovídajícího světelného toku [4].

Světelný zdroj	Příkon (W)					
	15	25	40	60	75	100
klasická žárovka	-	18	28	42	51	70
halogenová žárovka	4-5	5-7	8-10	14-15	18	23
kompaktní zářivka	3-4	6-7	7-8	12	-	-
kompaktní LED	-	-	-	15	-	23
indukční výbojka	90	200	400	700	900	1300
<b>Světelný tok (lm)</b>						

Výrobci LED zdrojů nenabízejí jenom náhrady do patic se závitem E27. Pro závity E40 lze rovněž nalézt světelné zdroje s LED nejrůznějších tvarů viz Obr. 3 a Obr. 4



Obr. 3. LED zdroj PAR 55 s refraktory pro závit E40



Obr. 4. LED zdroj PAR 55 se sférickou baňkou pro závit E40

Je otázkou do jaké míry se jedná o náhrady či světelné LED zdroje originální konstrukce.

Mimo světelných zdrojů do patic s Edisonovými závity se na trhu vyskytují náhrady lineárních nízkotlakých rtuťových výbojek (zářivek) nejčastěji za typ T8. I zde je většina trubic s LED řešena jako down-light světelný zdroj. Náhrady zářivek lze připojit místo klasické trubice, avšak je třeba před připojením napětí ověřit, zda je nutné startér nahradit propojkou, či jej úplně vyřadit. Setkat se lze totiž minimálně se dvěma odlišnými typy LED trubic, z nichž každý vyžaduje ke své činnosti jiné připojení do obvodu.

Původní indukční předřadník se u všech typů doporučuje přemostit, aby na něm nevznikaly zbytečné ztráty.



Obr. 5. Náhled lineárních LED zdrojů LightDec výrobce ONTOPx

Každý výrobce se ve snaze získat co nejlepší a neúčinnější náhradu za klasické zářivky snaží na tělo trubice integrovat čipy různě uspořádané, opatřené matnými difuzory či jednoduchými reflektory pro výslednou úpravu čáry svítivosti.



Obr. 6. Náhled lineárního LED zdroje firmy TESLUX [11]

Každé uspořádání v sobě nese své výhody a nevýhody, a záleží na zákazníkovi, jaký druh náhrady zvolí. Měrný výkon se u běžných LED trubic pohybuje okolo 80–90 lm·W<sup>-1</sup>. Pro srovnání se měrný výkon běžné zářivky T8 rovněž pohybuje okolo 80–100 lm·W<sup>-1</sup>. Výhodou LED trubic je oproti klasické zářivce průměrně 2–3 krát delší doba života (cca 35 000 h).

#### Fotometrie LED zdrojů

Velmi důležitým parametrem pro návrh osvětlovací soustavy se světelnými zdroji s LED je přirozeně čára svítivosti. Měření čáry svítivosti probíhá pomocí goniofotometru a luxmetru umístěným ve vhodné fotometrické vzdálenosti. Svítivost se poté vypočítá podle vztahu (1)

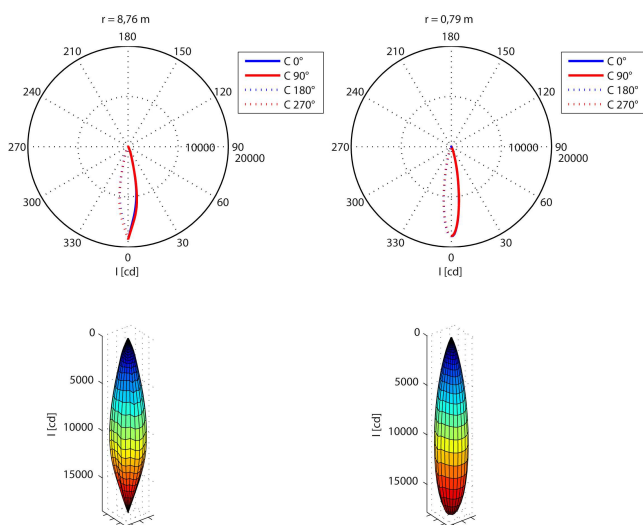
$$(1) \quad I = E \cdot r^2$$

kde  $I$  je svítivost v kandelách (cd)  
 $E$  je osvětlenost v luxech (lx)  
 $r$  je fotometrická vzdálenost v metrech (m).

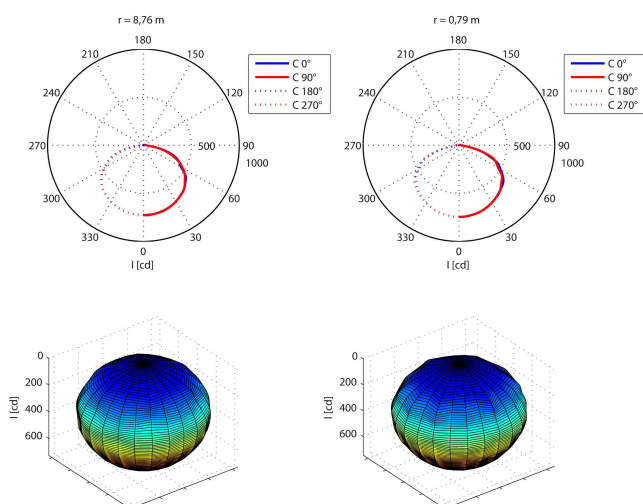
Volba vhodné fotometrické vzdálenosti při měření má následně vliv na přesnost výpočtu osvětlovací soustavy. Uvážíme-li, že žádný ze zdrojů (lineární LED trubice či náhrady za žárovky se závity E27 a E40) není čistě bodový, dopouštíme se při měření čáry svítivosti chyby, považujeme-li nebodový zdroj za bodový. Pokud užijeme



pro měření fotometrickou vzdálenost 5x delší než nejdelší rozměr aktivní světelné plochy, dopustíme se při použití vztahu (1) odchylky menší než 1 %. Bude-li tato vzdálenost např. 10 m, lze přímkový světelný zdroj o rozměru 2 m považovat za bodový. Umístíme-li jej ale při užití v osvětlovací soustavě do typické výšky 2 m od srovnávací roviny nemůžeme jej považovat za bodový a dopustíme se při výpočtu osvětlení chyby, neboť při něm použijeme čáru svítivosti změřenou ve vzdálenosti 10 m jako pro bodový zdroj. Velká či malá fotometrická vzdálenost při měření svítidla nebo zdroje s úzkou čarou svítivosti (hlubokozářič) může výsledky zkreslit a tím pádem při výpočtu osvětlení vnést zbytečnou chybu. Ověření tohoto tvrzení proběhlo na světelných zdrojích z Obr. 3 a Obr. 4 při fotometrických vzdálenostech 8,76 m a 0,79 m. Vzdálenost 0,79 m odpovídala 5x delší vzdálenosti nejdelšího rozměru aktivní světelné plochy. Vzdálenost 8,76 m je maximální fotometrická vzdálenost, kterou lze v laboratoři světelné techniky ústavu elektroenergetiky vysokého učení technického v Brně docílit.



Obr. 7. Čáry svítivosti LED zdroje PAR 55 pro fotometrické vzdálenosti 8,76 m a 0,79 m

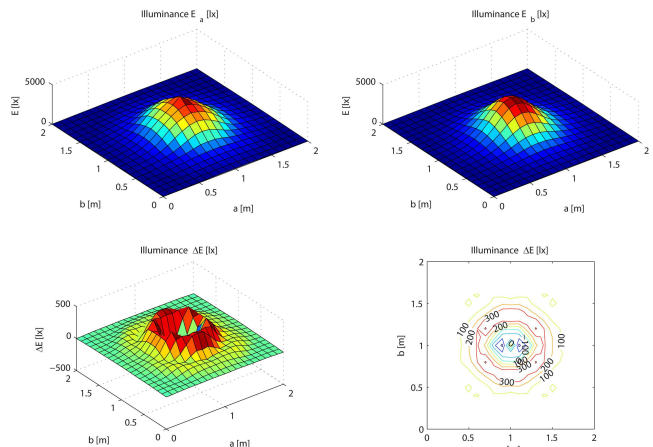


Obr. 8. Čáry svítivosti LED zdroje PAR 55 se sférickou baňkou pro fotometrické vzdálenosti 8,76 m a 0,79 m

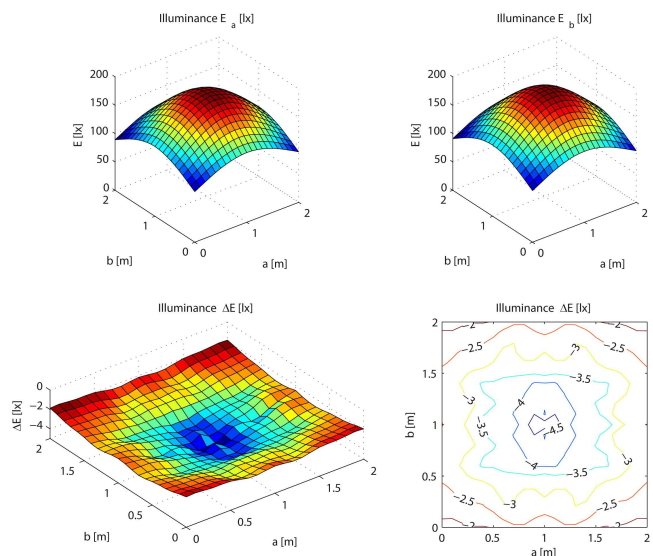
Z obrázku Obr. 7 lze bezpečně odečíst, že při stejném kroku 5° při obou měření dojdeme k odlišným tvarům čáry svítivosti. U výsledků měření vyobrazených na obrázku

Obr. 8 je odlišnost vzájemného tvaru čáry svítivosti nepatrná. To koresponduje s poznatky publikovanými již v článku [3], kde je vzájemná odchylka čáry svítivosti rovněž závislá na jejím tvaru.

Rozdíl hladiny osvětlenosti na srovnávací ploše o velikosti 2x2 m při její vzdálenosti od světelného zdroje 2 m znázorněna pro oba zdroje na následujících obrázcích Obr. 9 a Obr. 10.



Obr. 9. Osvětlenost od LED zdroje PAR 55 při použití různých čar svítivosti  $E_a$  ( $r = 8,76$  m),  $E_b$  ( $r = 0,79$  m)



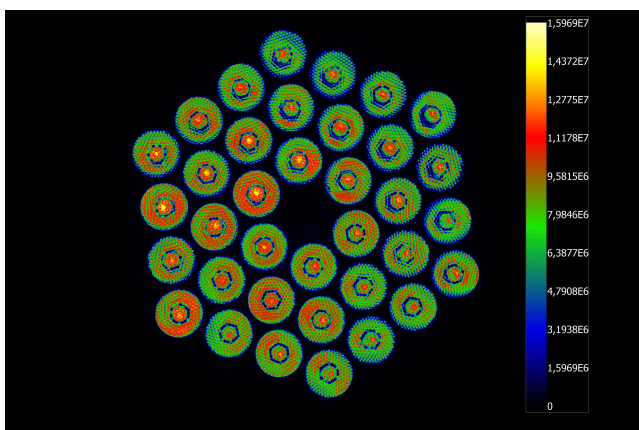
Obr. 10. Osvětlenost od LED zdroje PAR 55 se sférickou baňkou pro při použití různých čar svítivosti  $E_a$  ( $r = 8,76$  m),  $E_b$  ( $r = 0,79$  m)

Z obrázku Obr. 9 lze odečíst, že při použití čar svítivosti změřených v různých vzdálenostech, může být vzájemná odchylka hladin osvětlenosti v některých místech až 400 lx. V porovnání s maximální úrovní 4500 lx je to chyba přibližně 8 %. U obrázku Obr. 10 je vzájemná odchylka minimální (cca 2,5%), neboť i vzájemné odchylky čar svítivosti jsou zanedbatelné.

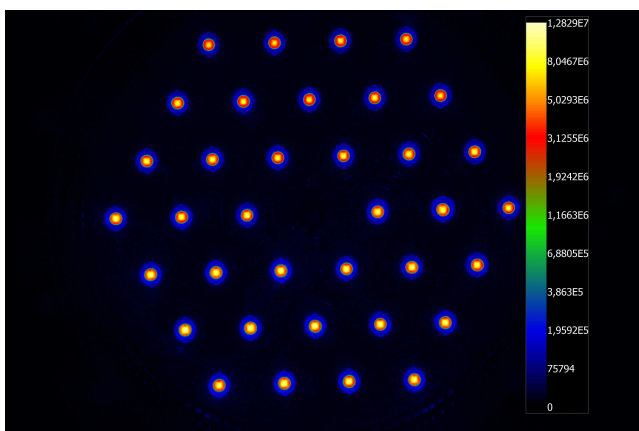
Bohužel i tyto výpočty jsou zatíženy chybou, neboť je potřeba pro správný výpočet osvětlenosti od reálných zdrojů mít k dispozici čáry svítivosti, změřenou při fotometrické vzdálenosti korespondující se vzdáleností mezi světelným zdrojem či svítidlem a osvětlovaným bodem. To je v praxi často nereálné a při návrhu osvětlovací soustavy je nutno počítat s tím, že se skutečná hodnota osvětlenosti bude oproti výpočtu lišit.

## Jasové poměry LED zdrojů

Je téměř jisté, že s hlediska oslňování bude mít LED zdroj bez difuzorů velmi špatné parametry. Je to bohužel dáno samotnou konstrukcí PN přechodu, kdy světelný tok vychází z velmi malé plošky. Snížení rizika oslňení lze na úkor poklesu světelného toku zabránit ukrytím LED pod difuzor viz. Obr. 2. Mnohem elegantnější řešení je zvýšení počtu diod na ploše tak, aby pokrývaly beze zbytku co největší plochu světelného zdroje. Tím se sníží kontrast mezi popředím a pozadím, a riziko oslňení podstatně poklesne. Bohužel, tato varianta je zatím dosti problematická, neboť jsou prázdná místa využívána k pájení a k připojení napájecího napětí a na další LED už není místo. Komplikací je zde i odvod tepla od diod. Z hlediska rozložení jasových poměrů na aktivní světelné ploše, můžou být hodnoty následující.



Obr. 11. Jasová analýza LED zdroje PAR 55 v přímém směru



Obr. 12. Jasová analýza LED zdroje PAR 55 se sférickou baňkou v přímém směru

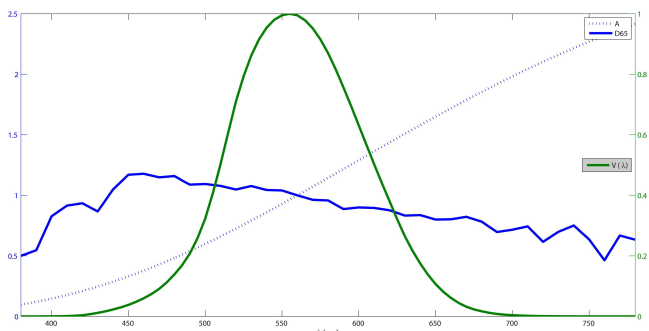
Za pomoci námi vyvíjeného jasového analyzátoru LumiDISP [6] lze říct, že jasy výše uvedených LED zdrojů dosahují řádově milionů  $\text{cd}\cdot\text{m}^{-2}$ .

## Index podání barev (CRI)

Hodnocení indexu podání barev je u LED zdrojů dosti diskutabilní. Jako porovnávacího zdroje používá současná metodika do teploty chromatičnosti 5000 K černý zářič (teplotní zdroj, žárovka) a od 5000 K některé z denních světél D [1]. V prvním případě může být správnost hodnocení velmi diskutabilní, neboť hodnotu  $R_a$  ovlivňuje spektrální distribuce (červené barvy), kterou lidské oko vnímá velmi málo viz. Obr. 13.

Proto se při subjektivním hodnocení kvality podání barev zdát barva osvětlovaného předmětu velmi přirozená

avšak podle metodiky dopadne s výrazně horším výsledkem.



Obr. 13. Spektrální distribuce normalizovaných světél A, D65, a spektrální citlivost normálního fotometrického pozorovatele  $V(\lambda)$

## Závěr

Obecně se dá říct, že při pořizování náhrady za žárovku, je třeba brát v potaz především světelný tok a směrovou distribuci světelného toku.

Měření a následný rozbor ukázal, že LED zdroje mají specifickou fotometrii ovlivňovanou zejména počtem elementárních svítící bodů (jednotlivé LED). Vzhledem jejich vysokému světelnému toku, je třeba při návrhu osvětlovací soustavy s těmito typy zdrojů počítat s odchylkou skutečné osvětlenosti plynoucí z konečné fotometrické vzdálenosti a tvaru čáry svítivosti. Lze se domnívat, že odchylka osvětlenosti při výpočtu bude tím větší, čím užší bude čára svítivosti.

## Poděkování

Tento příspěvek prezentuje výsledky výzkumu financovaného Ministerstvem školství, mládeže a tělovýchovy České republiky v rámci projektu č. MSM0021630516.

Výzkum byl proveden v Centru pro výzkum a využití obnovitelných zdrojů energie. Autoři děkují za finanční podporu z Evropského fondu pro regionální rozvoj v rámci projektu Č. CZ.1.05/2.1.00/01.0014.

## REFERENCES

- [1] HABEL, Jiří, a kol. *Světelná technika a osvětlování*. Praha : FCC Public, 1995. 448 s. ISBN 80-901985-0-3. [kniha]
- [2] NOVOTNÝ, Jiří. Nařízení komise (ES) č. 244/2009 o světelných zdrojích pro domácnost. *Světlo*. 2010, 03, s. 44-47. Dostupný také z WWW: <<http://www.odbornecasopisy.cz/res/pdf/41421.pdf>>. ISSN 1212-0812. [článek]
- [3] ŠKODA, Jan; BAXANT, Petr. Non-pointed luminaries and their photometry. *PRZEGLĄD ELEKTROTECHNICZNY*. 2008, 08, s. 1-3. ISSN 0033-2097. [článek]
- [4] ŠUMPICH, Jan; NOVÁK, Tomáš. Existují plnohodnotné náhrady žárovek?. *Světlo*. 2011, 03, s. 44-47. Dostupný také z WWW: <<http://www.odbornecasopisy.cz/res/pdf/43806.pdf>>. ISSN 1212-0812. [článek]
- [5] *European Parliament* [online]. 2009-02-17 [cit. 2011-08-18]. Incandescent light bulbs: Environment Committee backs phase-out plan. Dostupné z WWW: <<http://www.europarl.europa.eu/sides/getDoc.do?language=cs&type=IM-PRESS&reference=20090217IPR49659>>. [webová stránka]
- [6] *LumiDISP* [online]. 2011 [cit. 2011-08-19]. Luminance distribution processing software. Dostupné z WWW: <<http://www.lumidisp.eu/>>. [webová stránka]
- [7] *Stavebnictví a interiér* [online]. 2001–2011 [cit. 2011-08-18]. Světelná účinnost zdrojů světla (žárovky, kompaktní zářivky, výbojky a dalších). Dostupné z WWW: <<http://www.stavebnictvi3000.cz/clanky/zarovka-usporna-zarovka-mnozstvi-svetla/>>. [webová stránka]

- [8] *TESLUX* [online]. 2011 [cit. 2011-08-18]. LED žárovky, LED trubice. Dostupné z WWW: <[http://www.teslux.cz/easyworks/data/product/03\\_1.jpg](http://www.teslux.cz/easyworks/data/product/03_1.jpg)>. [webová stránka]
- [9] *TESLUX* [online]. 2011 [cit. 2011-08-19]. TESLUX E27 A60 - 7W teplá bílá - TESLUX. Dostupné z WWW: <<http://www.teslux.cz/easyworks/data/product/43.jpg>>. [webová stránka]
- [10] *TESLUX* [online]. 2011 [cit. 2011-08-18]. TESLUX E27 P55 90 SMD 4,5W bílá - TESLUX. Dostupné z WWW: <<http://www.teslux.cz/teslux-e27-p55-90-smd-4-5w-bila>>. [webová stránka]
- [11] *TESLUX* [online]. 2011 [cit. 2011-08-19]. TESLUX T8 - 120cm, 360SMD 27W studená bílá. Dostupné z WWW: <[http://www.teslux.cz/easyworks/data/product/zarivka\\_1.jpg](http://www.teslux.cz/easyworks/data/product/zarivka_1.jpg)>. [webová stránka]

---

**Autoři:** Ing. Jan Škoda, Vysoké učení technické v Brně, fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, ústav elektroenergetiky, Technická 10, 616 00 Brno, Česká republika, e-mail: [xskoda05@stud.feec.vutbr.cz](mailto:xskoda05@stud.feec.vutbr.cz)

Doc. Ing. Petr Bxant, Ph.D., Vysoké učení technické v Brně, fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, ústav elektroenergetiky, Technická 10, 616 00 Brno, Česká republika, e-mail: [baxant@feec.vutbr.cz](mailto:baxant@feec.vutbr.cz)

## Daylight spectrum in interiors

**Abstract.** Change in outdoor lighting conditions causes a change in indoor spaces. Outdoor conditions vary from state direct light and the skylight. Transmission characteristics of daylight in buildings and its incidence effect on the light climate, interior materials and people have a indispensable effect. Quantitative parameters of illuminance, uniformity, luminance, glare, color temperature and color rendering are considered in lighting design. Way affects daylight to interior atmosphere in terms of spectral distribution is not taken into account. The paper will be referred to the issue of the spectral distribution of daylight in the premises. Presented will be real change on the spectral characteristics of the measurements in interior.

**Keywords:** daylight, spectral characteristics, parameters of light, measurement

### Introduction

Daylight is a natural light source that is necessary to be used in full volume, so to minimize the use of artificial sources during the day. Knowledge of spectral characteristics is in the interior important. Already in the design we should have an idea of how spectrum of daylight acts in the proposed rooms. Current lighting design work on the principle rooms to which the proposed artificial lighting and daylight is assessed on the basis of daylight factor, eventually rules of size of the areas of lighting openings, etc.. This procedure is suitable for working use of premises, it is important to pay attention to the psychological side and health aspects of daylight.

### Denné svetlo

Daylight is part of sunlight, which human eye perceives in the interval of approximately 380 to 780 nm. The sun radiates most intensely at a wavelength of 501 nm, which is very close to the maximum spectral sensitivity of the human eye  $V(\lambda)$ . Spectral composition of daylight indicates that the filtering of certain constituents of solar radiation occurs in the atmosphere. In particular, action of processes light of absorption and scattering on the particles and molecules in the atmosphere. Each source has own characteristic spectral curve. Daylight is specific in that curve changes during the day. Emitted light from the Sky and the Sun varies not only in the intensity of radiation, but also changes the shape of the spectral characteristics. Daylight is represent the linear absorption spectrum, which can be described as radiant flux  $\Phi_e$  [W], defined as

$$(1) \quad \Phi_e = \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} \Phi_{e,\lambda}(\lambda_i) \Delta\lambda,$$

where  $\Phi_{e,\lambda}$  is the spectral radiant flux density [W / nm],  $\Delta\lambda$  is the length of interval wavelength [nm]. The radiant flux belong to the each wavelength, which indicates the amount of energy. CIE defines the phases of daylight, labeled D, coordinates of chromaticity and color temperature, table 1. The transitions between colors in the spectrum of daylight are continuous, so it is not possible set range of single wavelength of colors, fig.1. Daylight provides the best perceived color and space, but also creates the best visual conditions, comfort and well being. It is well known relation intensity lighting and the composition of daylight and with biological rhythms of man, in the case when is lack in part of spectrum of artificial sources that so may present health problems.

Spectrum daylight changes very quickly and it is not

possible to perfectly predict what will have the spectral characteristics shape.

Table 1. Temperature and chromaticity coordinates of standard light sources of daylight according to CIE, [1].

Standard	CIE 1931 2°		CIE 1964 10°		T [K]
	x	y	x	y	
D50	0,34567	0,35850	0,34773	0,35952	5003
D55	0,33242	0,34743	0,33411	0,34877	5503
D65	0,31271	0,32902	0,31382	0,33100	6504
D75	0,29902	0,31485	0,29968	0,31740	7504

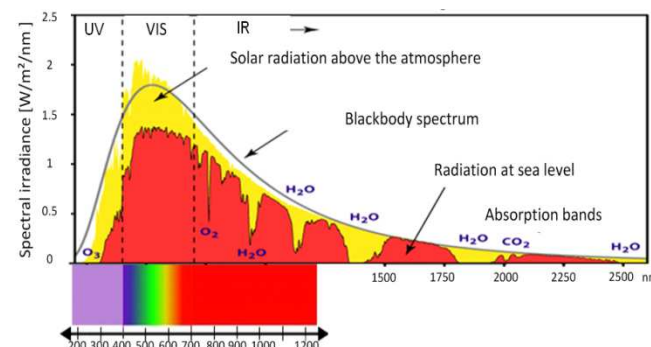


Fig. 1. Solar radiation spectrum with pertaining spectrum of daylight.[2]

Predicting the spectral characteristics allow us to partly atmospheric - physical models, but they are not tied to the needs of lighting technology. Finding the spectral characteristics of the various situations of the sky, we get an overview of the properties that we will be able to use e.g. in research overlapping spectra in the interior.

### Daylight in interior

Light indoor environment can be characterized as illumination and its uniformity, brightness and luminance distribution, glare, spectral distribution, daylight, lighting system and its management.

Field of daylight can be divided into spectrum and the amount of light coming into the interior, which are both quantitative and qualitative parameters of daylight. [3] Quantitative parameters of daylight describing the daylight factor. Methodology for evaluation of daylight in the interior is based on the measurement of illuminance in exterior and in interior components for uniformly overcast sky and on evaluation of the mean daylight factor and uniformity.

Qualitative parameters are: uniformity of lighting, luminance

contrast of objects and background light intensity and its decomposition in the space etc. Daylight can be established only in areas equipped with daylight opening. The transition of light into the interior is influenced by several factors, particularly in sky  $D_o$ , exterior  $D_e$  and interior component  $D_i$ . Sky component depends on the direct and diffuse radiation, sky, now is the factor determined by the sky luminance distribution. Component is the part that gets into the interior through the lighting opening directly from the sky. Sky component is reduced by the loss of light for the transfer of window systems. Exterior component is determined by surrounding buildings and their contributions. It does not include reflections from the ground, the importance of exterior components is only in built up areas. Interior component is determined by the reflectance of internal surfaces and equipment room, depending on the amount of light from the sky component, also contains a reflection of the earth, which is often negligible. The average component is expressed

$$(2) \quad D_{i,avg} = \frac{\tau W}{A(1-\rho)} \cdot (C\rho_{fw} + 5\rho_{cw}),$$

where  $\tau$  is the light transmission glass,  $W$  is the window area [ $m^2$ ],  $A$  is the total area of the room including the window [ $m^2$ ],  $\rho$  is the average surface reflectance of  $A$ , the average  $\rho_{fw}$  is reflective of floors and walls, except for that which is placed in the window plane below the plane at the level mid-height of the window,  $\rho_{cw}$  is the average reflectivity of the ceiling and upper part of the plane and  $C$  is a coefficient that depends on external obstacles, [4]. Average values are determined from the spectral reflection and transmission of individual areas.

Light passing into the interior passes light apertures. Details of the calculation of reflection coefficients, transmission listed in EN410. Light interior extends in all directions, this assumption depends on the material embodiment of the room. Each object on which the light hits it is absorbed, reflected light or transcend them, depending on object materials. In the interior occurs multiple reflection of light as the daylight during the day is continually emitted. Negligible part of the light comes back lighting opening to the outside. Propagation of light in the interior deals computer modeling the graphics, which tries to fairly view the environment in the illumination light as if it was perceived by the human eye.

The amount of light reflected from the object - walls, ceiling and floor, eventually furniture, the course of reflection depends on the smoothness and texture. If the structure contains a surface roughness smaller than the wavelength of incident light leads to an almost perfect reflection of light. Conventional materials have different surface structure, incident light is reflected in all directions - diffuse reflection or it may change its direction - spread reflection, the intensity in each direction just depends on the material surface. Depending on the material comes to the absorption spectrum of light.

Light apertures are designed in terms so that of daylight to be most effective, i.e. the requirements for the level and quality of daylight have been met with the minimum area of openings and windows. In doing so, however, be remembered as the possibility of placing any regulation equipment. Inside houses, in which excessive window size increased energy demands of buildings or adversely affected the welfare of the indoor environment, the windows not suggest more than is necessary to meet requirements. Lighting openings with glazed areas represent a significant share of the energy balance of the building.

## Tests and results of measurements

The test had to demonstrate the dependence of the internal standard and the impact area using standard operations with the window system, eventually when using a shielding element, but also the impact of changes in exterior lighting to change the spectral characteristics of the interior. The test room has a standard reflectance surfaces, walls 0.72, a ceiling 0.8 and floor 0.2, with side lighting equipped with double-side-window with size 1.20 m x 0.9 m. The walls and ceiling were white color. Ground plane is shown in fig. 2. Reflectance values were determined from the tables and checked by measurement.

Measurements were made in comparison plane of 0.85 m. In measurement were used the illuminance meter PRC Krochman Radiolux 111 class A and Ocean Optics USB2000 spectrophotometer with a measuring range of wavelengths of 180 nm to 875 nm. Within this range the device evaluates the 2048 wavelengths. The instruments were calibrated. Measured variables were daylight illuminance  $E [lx]$ , and the relative spectral irradiance  $E_{i,\lambda} [\mu Wm^{-2}nm^{-1}]$ .

For the vision of light transmission through the glass surface was measured on selected samples of glass and glazing standard systems. For measurements we used deuterium light source, which was running through the radiant spectrum from ultraviolet, visible to infrared spectrum.

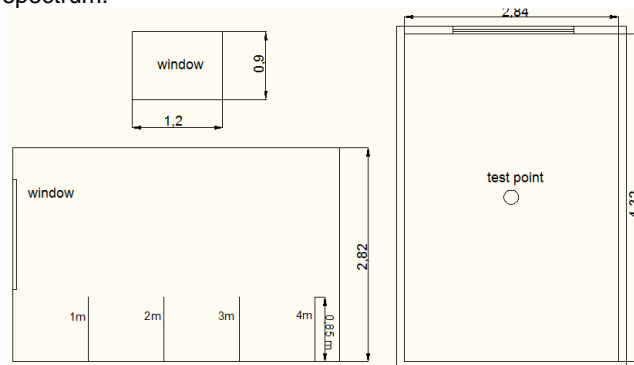


Fig.2. Representation of space and the measuring points of spectral characteristics.

The spectral transmission characteristics were uncalibrated on  $V(\lambda)$ , they are shown in fig. 3 and fig. 4.

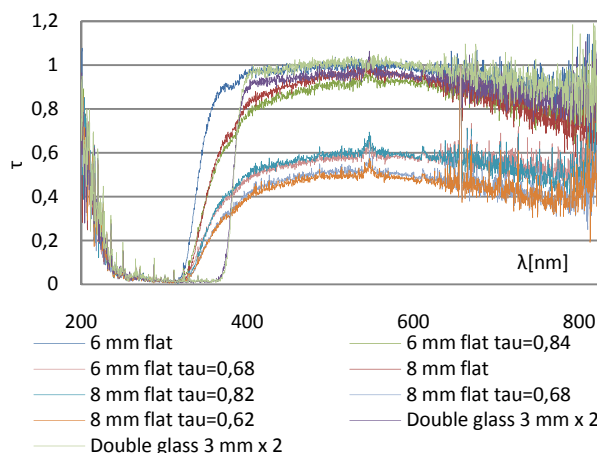


Fig. 3 Curves of spectral transmission of factor  $\tau$  through the glass.

Findings of measurement transmission coefficient are of Fig. 3, all glass don't filter the light as well, additives used in the manufacture of glass give them their final properties related to light transmission. Double glass with no air gap has been filtered near UV radiation. Penetration of daylight

through this glass is inappropriate, the amplitude of light begins to grow up in a visible area, so it is filtered available portion of UV-A and UV-B light. Glass with a thickness of 6 mm and 8 mm is not commonly used and they are impermeable to UV-B spectrum. All measured glass tend to slightly inhibited the IR-A region.

Window systems with double glazing, eventually triple glazing with air gap and aluminium strip, have transmission curve for the visible portion indicated in fig. 4. Light through the triple glazing passes in the visible area only about 60%, which can be compensated more light apertures.

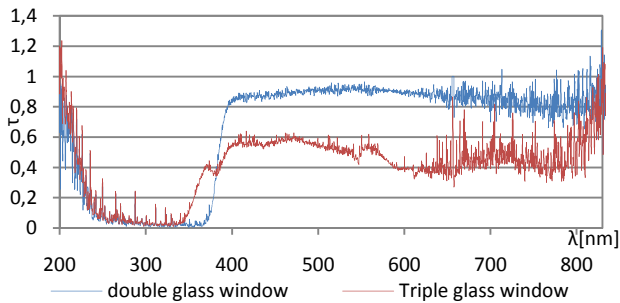


Fig. 4 Curves of spectral transmission of factor  $\tau$  through the glazing systems.

Spectral characteristics were measured in two tests so that we will capture the interior light spectrum. The first type of measurement was performed with the sensors located in the geometric center of the ground plan on the horizontal plane  $h = 0.85$ , fig. 5 - 6. The spectrum was measured for opened window, closed the window and closed the window with translucent curtains. Closed window represents the biggest setback in the transition element of light in space. To measure was chosen standard overcast sky with luminance gradations 1:3 and clear sky with less than 5% coverage clouds. In table 2 are listed the average intensity interior lighting and daylight color temperature in the interior.

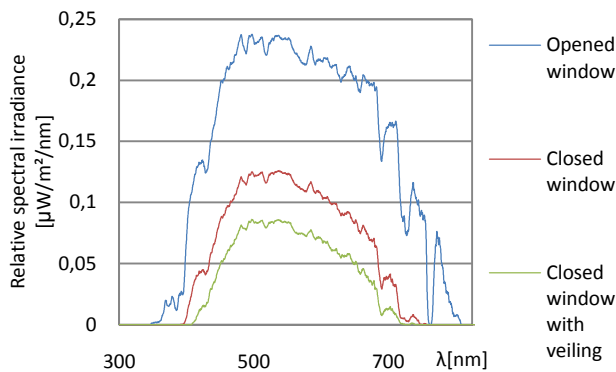


Fig. 5 Spectral characteristics in the interior of the standard winter overcast sky with the sun azimuth  $123^\circ$  and height  $20^\circ$ .

Table 2. The average illuminance values and color temperatures in the interior.

Opened window	Closed window	Closed window with veiling
Overcast sky		
190,12 lx	109,04 lx	80,28 lx
5158 K	5030 K	5043 K
Clear sky		
2637 lx	1639,3 lx	1592 lx
4117 K	4088 K	4254 K

The spectrum of the interior clearly affects the exterior component, while in winter the sky is overcast sky glow

steady.

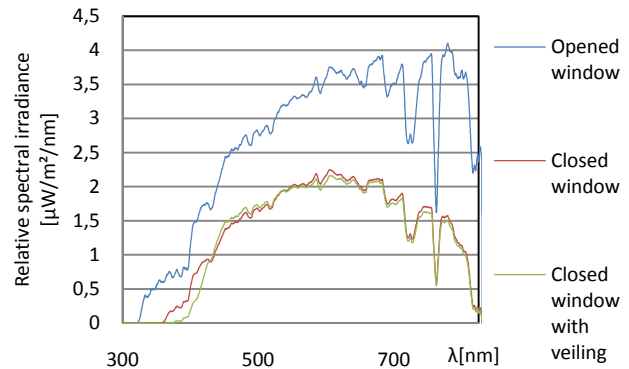


Fig.6 Spectral characteristics in the interior of the clear sky with the sun azimuth  $108^\circ$  and height  $40^\circ$ .

The following measurements were made for the dependence of daylight in an area away from the daylight aperture, fig. 2. Daylight aperture was clean with a standard double glazing, without shielding elements. Sensors were placed on the horizontal and vertical plane,  $h = 0.85$  for a standard overcast sky and clear sky, fig. 7 - 10. Intensity of light reaching the interior depends on the position of the sun, the average measured values are shown in table 3. In the overcast sky is spectrum in the range of horizontal and vertical plane are nearly identical, the amplitude changes, which logically decreases with increasing distance.

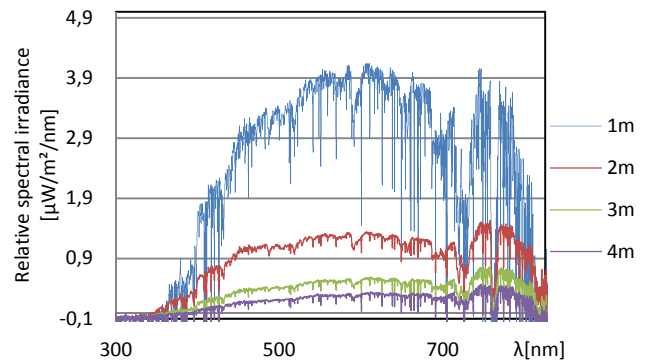


Fig. 7 Horizontal spectral characteristics of daylight in interior in the summer overcast sky with the sun azimuth  $116^\circ$  and height of  $44^\circ$ .

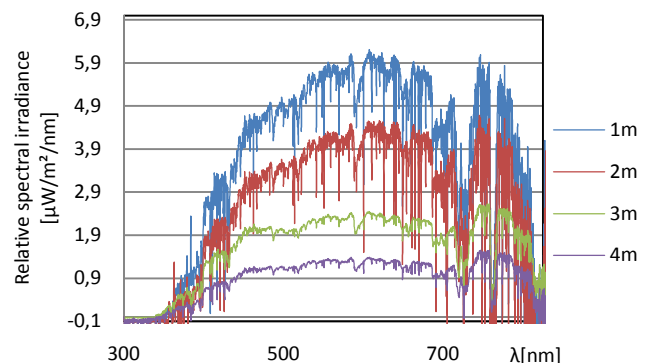


Fig. 8 Vertical spectral characteristics of daylight in interior of daylight in the summer overcast sky.

In clear sky situation has sky component a direct impact on sensor whose amplitudes are affected by light intensity.

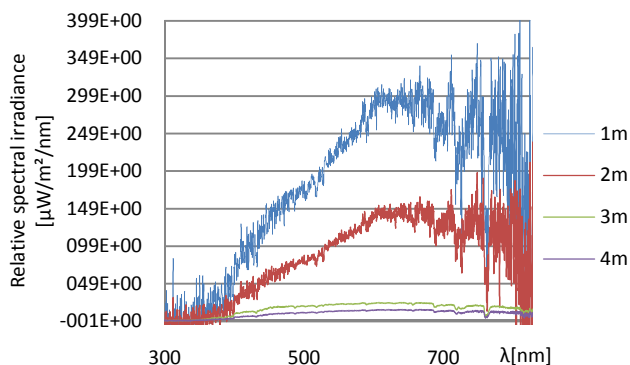


Fig. 9 Horizontal spectral characteristics in interior of daylight in clear sky with the sun azimuth 99 ° and height of 33 °.

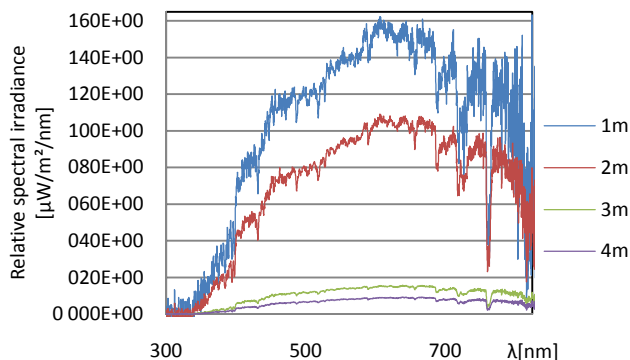


Fig. 10 Vertical spectral characteristics of daylight in interior in clear sky.

Table 3. Average values of illuminance and color temperatures in the interior.

Overcast sky			
Horizontal plane			
1 m	2 m	3 m	4 m
1578,2 lx	540,9 lx	243,4 lx	145,7 lx
4603 K	4692 K	4296 K	4032 K
Vertical plane			
1 m	2 m	3 m	4 m
1907,8 lx	1169,6 lx	615,2 lx	346,1 lx
4518 K	4462 K	4784 K	4754 K
Clear sky			
Horizontal plane			
1 m	2 m	3 m	4 m
39,784 klx	20,747 klx	1,216 klx	810,1 lx
3478 K	3483 K	4378 K	3960 K
Vertical plane			
1 m	2 m	3 m	4 m
56,486 klx	45,252 klx	5,594 klx	2,403 klx
4375 K	4263 K	4150 K	4091 K

The measurements show that the spectrum is absolutely dependent on the intensity of outdoor lighting. The difference between the spectral characteristics measured in winter and summer is significant, as confirmed by chromaticity of light in the space. Amplitude daylight covers the visible area for clear sky situation, the winter sky comes to a reduction in the UV spectra in the interior, which may affect the psychological aspects of man, and the formation of vitamin D in the human body, table 4. Values of IR-A in the case of sunny days are available in the interiors, winter overcast sky did not confirm this fact.

Chromaticity variation in the interior is dependent on the spectrum produced by a space lit by daylight. Chromaticity value in interior are ranged in part neutral white light and creates favorable conditions for work in terms of chromaticity of white light. Ratio of horizontal chromaticity of overcast cloudy and clear sky is 1.15%, and the ratio of vertical chromaticity is 1.01%.

Table 4. Percentage representation of different bands of light measured in the room.

Plane	Sky	UV-B	UV-A	VIS	IR-A
	Overcast sky				
horizontal		0,13	0,33	91,01	8,53
vertical		0,14	0,47	91,32	8,07
Clear sky					
horizontal		0,06	0,54	85,31	14,09
vertical		0,02	0,93	83,19	15,87

## Conclusion

Normative requirements describe the minimum requirements for natural light, his composition and light in the interior is considered satisfactory in terms of the spectrum. In some cases, but it comes to the fact that daylight does not include certain wavelengths, eventually the whole band in the spectrum of light. In long term cases this aspect can have a profound impact on the health of users of space.

Measurements was not considered daylight factor, but the object of interest was spectrum daylight in the interior with standard reflectance.

In closer examination of the spectral characteristics of the sky, eventually sky types, we will know in the future to determine influence the outdoor lighting spectrum on the daylight indoors and will to predetermine the best biodynamic lighting for residential and business premises.

## Acknowledgements

Work was supported by the Operational Programme "Research and Development" and the European Fund for the project ITMS 26220220150, entitled "Research Center of Light and lighting technology."

## REFERENCES

- [1] CIE - Commission Internationale de L'Eclairage, Colorimetry, 3rd edition, CIE 015:2004, ISBN: 9783901906336, 2004.
- [2] Rohde R., Global Warming Art, 2010. online: [http://www.globalwarmingart.com/wiki/File:Solar\\_Spectrum\\_png](http://www.globalwarmingart.com/wiki/File:Solar_Spectrum_png).
- [3] Halonen L., Tetri E., Bhusal P., Lighting quality, Guidebook on Energy Efficient Electric Lighting for Buildings, Aalto University, School of Science and Technology, ISBN 978-952-60-3229-0, p.41-56, 2010.
- [4] Chan L. S. A, Methods for daylight factor estimation, online: <http://personal.cityu.edu.hk/~bsapplec/methods.htm>, 2011.
- [5] EN410, Glass in building. Determination of luminous and solar characteristics of glazing, ISBN 978 0 580 71227 2, 2011.

**Authors:** Ing. Anton Rusnák, Ing. František Krasňan, PhD., Prof. Ing. Alfonz Smola, PhD., Slovak University of Technology, Faculty of Electrical Engineering and Information Technology, Ilkovičová 3, 921 06 Bratislava, Slovakia, e-mails: anton.rusnak@stuba.sk, frantisek.krasnan@stuba.sk, alfonz.smola@stuba.sk.

# Stmievanie verejného osvetlenia v súvislosti s kategorizáciou miestnych komunikácií

**Abstrakt.** V príspevku budú uvedené existujúce inteligentné systémy riadenia sústav verejného osvetlenia a ich vplyv na parametre osvetlenia určitých typov komunikácií. Budú simulované určité prípady stmievania a riadenia osvetlenia v svetelno-technickom softvéri DiaLux, vyhodnotenie reálne zmeny tried komunikácií a porovnanie s normou stanovenými hodnotami. Budú zohľadnené najmä komunikácie vyšších tried pri ktorých zníženie intenzity osvetlenia môže mať veľký vplyv na bezpečnosť.

**Kľúčové slova:** Regulácia verejného osvetlenia, systémy riadenia, triedy osvetlenia, vplyv systémov riadenia.

## Úvod

V tomto článku budú popísané možnosti riadenia a regulácie sústav verejného osvetlenia, vplyv riadenia na parametre sústavy ako aj celkový vplyv riadenia a regulácie sústavy osvetlenia na stanovené hodnoty intenzity osvetlenia, rovnomernosti a najmä bezpečnosti premávky danej triedy komunikácie.

Sústava verejného osvetlenia je elektrické zariadenie, ktoré podlieha všetkým bezpečnostným predpisom a odporúčaniam týkajúcich sa prevádzky elektrických zariadení. Taktiež každá osvetľovacia sústava musí spĺňať minimálne normou stanovené hodnoty intenzity osvetlenia, rovnomernosti osvetlenia a oslnenia podľa zatriedenia významu a charakteru komunikácií. Základným cieľom systému riadenia a regulácie sústavy verejného osvetlenia je zabezpečiť bezporuchovú činnosť celej sústavy verejného osvetlenia a zároveň dosiahnuť úspory elektrickej energie najmä prevádzkou sústavy v stmievanom režime v určitých časových úsekoch počas nočnej prevádzky. Hustota premávky vozidiel v nočných hodinách sa mení čo v určitých prípadoch môže meniť aj triedu osvetlenia komunikácie a tým pádom nám umožňuje do určitej miery zasahovať a meniť parametre osvetľovacej sústavy. Tým pádom máme možnosť šetriť na nákladoch prevádzky sústavy verejného osvetlenia znížením spotreby elektrickej energie.

V súčasnosti existuje niekoľko systémov riadenia a regulácie sústavy verejného osvetlenia ktoré sľubujú úsporu elektrickej energie do výšky 30% až 45%. Otázkou je či stmievaním sústavy do takej miery spĺňame stanovené hodnoty intenzity a rovnomernosti osvetlenia a za akých podmienok. Cieľom je zistiť za akých podmienok je možné stmievanie sústavy verejného osvetlenia a do akej miery aby sústava vyhovovala normou stanoveným hodnotám a zároveň bola čo najviac hospodárna.

## Požiadavky normy

Anglická technická Norma EN 13201-1 obsahuje návod na výber tried osvetlenia a súvisiace hľadiská. Návod je použiteľný na pevné osvetľovacie zariadenia, ktoré majú zabezpečovať používateľom verejných pozemných komunikácií dobrú viditeľnosť počas tmy, bezpečnosť cestnej premávky, intenzitu cestnej premávky a majú prispievať k pocitu bezpečnosti. Norma špecifikuje triedy osvetlenia uvedené v ďalšej časti normy EN 13201-2 a uvádza návod na ich použitie, navyše obsahuje systém na definovanie verejného dopravného priestoru čo sa týka parametrov, ktoré sú relevantné pre osvetlenie. Táto technická norma stanovuje požiadavky na osvetlenie, ktoré závisia od geometrického usporiadania relevantného úseku, od premávky a časovo vyhradených okolností. Je to v

právomoci cestných správnych orgánov pre relevantné úseky a taktó hodnotiť príslušné parametre. Ak nie je stanovené inak, platia parametre iba počas tmy. Hodnoty parametrov sa môžu meniť v rôznom čase počas noci a aj v rôznych ročných obdobiach, a preto sa môžu požiadavky počas týchto období meniť. Význačné zmeny hodnôt parametrov sa môžu použiť v rozdielnych obdobiach noci, osobitne s ohľadom na jas okolia a intenzitu cestnej premávky.

Použitie tabuliek v prílohe A normy EN 13201-1 môže preto udávať odlišné triedy osvetlenia vhodné v týchto rôznych časoch. Preto sa môže použiť potrebná podrobnejšia analýza intenzity cestnej premávky, ako tá, ktorá je zabezpečená priemernou dennou intenzitou (ADT). Teda, v rámci zmeny intenzity cestnej premávky v nočných hodinách máme možnosť upravovať parametre osvetľovacej sústavy prevádzkou v stmievanom režime a to tak, aby boli dodržané normou stanovené hodnoty intenzity a rovnomernosti osvetlenia komunikácie v príslušnej triede osvetlenia. Z toho dôvodu by bolo nevyhnutné pri návrhu riadenia a regulácie sústavy verejného osvetlenia zadefinovať okrem triedy osvetlenia za 100% prevádzke aj triedu osvetlenia ktorá bola navrhovaná za stmievaného režimu.

## Jestvujúce systémy riadenia VO

V súčasnosti nám trh ponúka niekoľko systémov riadenia a regulácie verejného osvetlenia založených prevažne na troch základných spôsoboch regulácie a to:

**1. Stmievanie prepínaním príkonu** – stmievanie je riešené jednoduchým prepínaním medzi odbočkami na výstupe transformátora kde znížením príkonu svetelného zdroja sa dostávame na hodnotu až 60% svetelného toku a úspory elektrickej energie až do 33%.

**2. Stmievanie reguláciou napätia** – stmievanie je riešené zmenou napájacieho napätia jednotlivých vetiev priamo v rozvážači verejného osvetlenia, čo nám umožňuje plynulú zmenu svetelného toku až do cca 50% svetelného toku reguláciou napätia v rozsahu 180V – 230V. Možnosť dosiahnutia úspor elektrickej energie do 20%.

Pre obidva spôsoby regulácie je možnosť relatívne vysokej úspory elektrickej energie ale či sú dodržané normou stanovené hodnoty intenzity a rovnomernosti osvetlenia je otázne. Na zistenie sme vyrobili simuláciu vybraných spôsobov riadenia vo výpočtovom programe DIALux pre všetky triedy osvetlenia komunikácie.

## Simulácia riadenia sústavy verejného osvetlenia

Pre simuláciu bola zvolená jednoduchá komunikácia šírky 7m pre všetky triedy osvetlenia. Prislúchajúce triedy osvetlenia boli volené podľa návodu v prílohe A v norme EN 13201-1. V tabuľke č.1 sú uvedené triedy osvetlenia



komunikácie pri 100% intenzity premávky vozidiel a k ním príslušne triedy osvetlenia počas noci pri zníženej intenzity premávky vozidiel.

Tabuľka č.1, Porovnanie tried osvetlenia v závislosti od hustoty premávky vozidiel

Triedy osv. pri najvyššej intenzite premávky	ME1	ME2	ME3a	ME3b	ME3c	ME4a	ME4b	ME5	ME6
Triedy osv. pri zníženej intenzite premávky	ME3b	ME3b ME4a	ME4a ME5	ME4a ME5	ME4b	ME5	ME5	ME5 ME6	ME6

Z tabuľky č.1 môžeme vidieť že pri niektorých komunikáciách sa trieda osvetlenia v závislosti od hustoty premávky vozidiel v nočných hodinách môže zmeniť aj o 3 triedy.

V týchto prípadoch počítali sme s extrémnymi zmenami hustoty premávky vozidiel avšak v rámci predpísaných hodnôt udávaných normou EN 13201-1. Treba ešte zdôrazniť že, pri zmene triedy komunikácie bolo uvažované iba so zmenou hustoty premávky kým ostatné parametre komunikácie sa uvažovalo že, sú bez zmeny.

Tabuľka č.2, Triedy osvetlenia ME podľa normy EN 13201-2

Trieda	Jas suchého povrchu vozovky jazdného pásu		Obmedzujúce oslnenie		Pomer okolitej osvetlenosti
	$L$ v cd.m <sup>-2</sup> (najnižšia udržiavaná hodnota)	$U_0$ (najnižšia hodnota)	$U$ (najnižšia hodnota)	$Tl$ v % <sup>a</sup> (najvyššia hodnota)	$SR$ <sup>b</sup> (najnižšia hodnota)
ME1	2,0	0,4	0,7	10	0,5
ME2	1,5	0,4	0,7	10	0,5
ME3a	1,0	0,4	0,7	15	0,5
ME3b	1,0	0,4	0,6	15	0,5
ME3c	1,0	0,4	0,5	15	0,5
ME4a	0,75	0,4	0,6	15	0,5
ME4b	0,75	0,4	0,5	15	0,5
ME5	0,5	0,35	0,4	15	0,5
ME6	0,3	0,35	0,4	15	bez požiadavky

<sup>a</sup> Pri použití svetelného zdroja s nízkym jasom sa prípustná hodnota  $Tl$  zvyšuje o 5 (pozri poznámku 6).

<sup>b</sup> Toto kritérium sa môže použiť iba vtedy, keď nijaký dopravný priestor s vlastnými požiadavkami nehraničí s jazdným pásom.

Na simuláciu riadenia a regulácie osvetlenia sme použili spôsob stmievania prepínaním príkonu na výstupe dvoj odbočkovej tlmivky (konvenčného predradníka).



Obr. 1. Dvoj odbočkové tlmivky použité na meranie 70W/100W/150W

Tieto predradné prístroje boli použité na meranie z dôvodu že, v súčasnosti predstavujú najlacnejšie riešenie riadenia a regulácie sústavy verejného osvetlenia a tým pádom aj najpoužívanejším riešením v súčasnosti na priestoroch Slovenskej a Českej republiky. Samozrejme, súčasný trh nám ponúka aj elektronické predradníky ktoré riadia výstupné parametre zmenou frekvencie ale v konečnom dôsledku výsledok je rovnaký a to zníženie príkonu na výstupe až do 40% [4].



Obr. 2. Vysokotlakové sodíkové výbojky použité na meranie

Ako svetelné zdroje boli použité vysokotlakové sodíkové výbojky SON-T (NAV-T) SUPER 4Y príkonov 150W, 100W a 70W na ktorých bol odmeraný pokles svetelného toku v závislosti od prepnutia odbočky na výstupe z tlmivky. Namerané hodnoty a porovnanie závislosti svetelného toku od zmeny príkonu je uvedené v tabuľke č.3.

Tabuľka č.3, Porovnanie poklesu svetelného toku v závislosti od príkonu

Vysokotlaková sodíková výbojka 150W			Úspora el. energie
Odbočka na tlmivke	150W	100W	33%
Svetelný tok [%]	100%	31,7%	-
Vysokotlaková sodíková výbojka 100W			Úspora el. energie
Odbočka na tlmivke	100W	70W	30%
Svetelný tok [%]	100%	54,7%	-
Vysokotlaková sodíková výbojka 70W			Úspora el. energie
Odbočka na tlmivke	70W	50W	28,5%
Svetelný tok [%]	100%	43,3%	-

Z tabuľky č.3 si môžeme všimnúť že pokles svetelného toku pri 150W sodíkovej výbojke zmenou odbočky zo 150W na 100W klesol až na **31,7%** z celkovej hodnoty. Znamená to že, pokiaľ používame dvoj odbočkovú tlmivku pri použití 150W sodíkovej výbojke nám zmenou odbočky na tlmivke klesne svetelný tok na 31,7% z celkovej hodnoty, tým pádom pokiaľ máme navrhnutú sústavu osvetlenia na komunikácií s triedou osvetlenia ME1 nám hodnota jasu z 2.0 cd.m<sup>-2</sup> klesne na hodnotu 0,63 cd.m<sup>-2</sup> čo zodpovedá triedy osvetlenia ME5, teda:

Tabuľka č.4, Porovnanie jasov v plnej prevádzke a v stmievanom režime

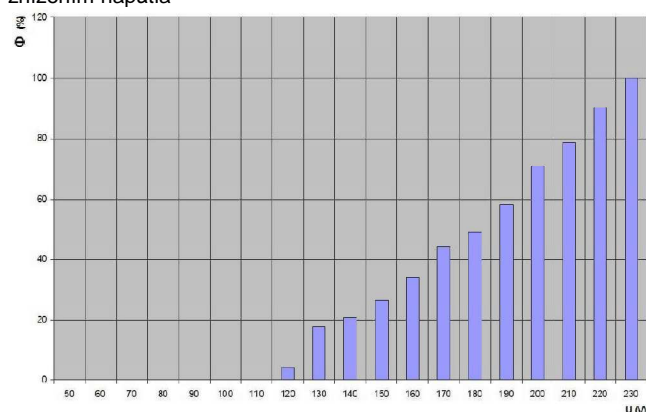
Trieda 1	$L_1$ v cd.m <sup>-2</sup> (odbočka 1)	Použitý svetelný zdroj	$\Phi$ [%]	$L_2$ v cd.m <sup>-2</sup> (odbočka 2)	Trieda 2
ME1	2,0	SON-T 150W	31,7%	0,63	ME5
ME2	1,5	SON-T 150W	31,7%	0,48	ME6
ME3a	1,0	SON-T 150W	31,7%	0,32	ME6
ME3b	1,0	SON-T 150W	31,7%	0,32	ME6
ME3c	1,0	SON-T 150W	31,7%	0,32	ME6
ME4a	0,75	SON-T 100W	54,7%	0,41	ME6
ME4b	0,75	SON-T 100W	54,7%	0,41	ME6
ME5	0,5	SON-T 70W	43,3%	0,21	-
ME6	0,3	SON-T 70W	43,3%	0,13	-

Z tabuľky č.4 môžeme usúdiť že použitím dvoj odbočkových tlmiviek ako spôsobom riadenia a regulácie sústavy verejného osvetlenia síce môžeme dosiahnuť úsporu elektrickej energie až 30% ale nemôžeme dodržať stanovené hodnoty intenzity osvetlenia podľa normy EN 13201-2. Ukázalo sa že, prepínaním príkonov na odbočkách tlmivky dochádza ku poklesu svetelného toku do výšky až 68,3%. Nakoľko sa návrh sústav verejného osvetlenia v praxi dimenzuje na najnižšie normou požadované hodnoty jasov, použitím takéhoto systému riadenia a regulácie, sústava osvetlenia v stmievanom režime nebude spĺňať normou stanovené hodnoty za žiadnych okolností. Aby sme dosiahli požadované hodnoty intenzity osvetlenia aj v stmievanom režime je nutné sústavu verejného osvetlenia naddimenzovať minimálne o 25% pri použití 100/70W tlmivky a až 60% pri použití 150/100W tlmivky. V konečnom dôsledku nám to zvýši spotrebu elektrickej energie a tým pádom sústava osvetlenia nemusí byť hospodárna resp. môže aj zvýšiť náklady na prevádzku novej sústavy osvetlenia oproti starej.

Úsporu elektrickej energie a zároveň splnenie požadovaných hodnôt je možné jedine plynulou reguláciou svetelného toku zmenou napätia alebo prúdu a to tak, aby pre každú triedu osvetlenia bola možnosť osobitnej regulácie svetelného toku. Za účelom vyčíslenia maximálnej možnej úspory elektrickej energie riadením a reguláciou verejného osvetlenia vykonali sme simulovanie vo výpočtovom programe DIALux pre všetky triedy osvetlenia. Reguláciu sme vykonali znížením napájacieho napätia vysokotlakovej sodíkovej výbojky na takú hodnotu aby v

stmievanom režime výsledným svetelným tokom boli splnené normou stanovené hodnoty príslušnej triedy osvetlenia.

Graf No.1, Stmievanie vysokotlakových sodíkových výbojok znížením napätia



Voľbu príslušných tried osvetlenia v závislosti od hustoty premávky sme vykonali z tabuľky č.1. Z daných hodnôt jasov v stmievanom režime sme určili percentuálnu hodnotu svetelného toku. Z grafu závislosti svetelného toku od napájacieho napätia určili sme napätie z ktorého sme následne vypočítali príkon  $P_2$  [W] pomocou ktorého sme vyčíslili úsporu elektrickej energie pre každú triedu osvetlenia zvlášť. Získané výsledky sú uvedené v tabuľke č. 5.

Tabuľka č.5, Porovnanie jasov v plnej prevádzke a v stmievanom režime pre jednotlivé triedy osvetlenia a vyčíslenie úspory el. energie

Trieda 1	$L_1$ v cd.m <sup>-2</sup>	$P_1$ [W]	$\Phi$ [%]	$P_2$ [W]	$L_2$ v cd.m <sup>-2</sup>	Trieda 2	Úspora el. energie
ME1	2,0	150W	50%	117W	1,0	ME3b	22%
ME2	1,5	150W	67%	129W	1,0	ME3b	14%
ME2	1,5	150W	50%	117W	0,75	ME4a	22%
ME3a	1,0	150W	75%	135W	0,75	ME4a	10%
ME3b	1,0	150W	50%	117W	0,5	ME5	22%
ME3c	1,0	150W	75%	135W	0,75	ME4b	10%
ME4a	0,75	100W	67%	86W	0,5	ME5	14%
ME4b	0,75	100W	67%	86W	0,5	ME5	14%
ME5	0,5	70W	60%	58W	0,3	ME6	17%
ME6	0,3	70W	100%	70W	0,3	ME6	0%

Z tabuľky môžeme konštatovať že najväčšie úspory môžeme získať stmievaním triedy ME1 a v špeciálnych prípadoch aj triedy ME2 a ME3 kde úspora elektrickej energie v týchto prípadoch dosahuje až 22%. Problém pri týchto triedach osvetlenia je ale v tom že, v praxe ich je málo. Komunikácie ktorým môžeme priradiť tieto triedy osvetlenia nie sú až tak zastúpené, resp. sú zastúpené v malom množstve ale aj v tých prípadoch je stmievanie na týchto komunikáciách nevhodné a v konečnom dôsledku nežiaduce. Reálne, maximálne úspory elektrickej energie je možné dosiahnuť reguláciou a riadením osvetlenia v rámci tried osvetlenia ME4, ME5 a ME6. Tieto triedy osvetlenia sú zastúpené vo viac ako 90% prípadoch verejného osvetlenia najmä v menších mestách a dedinách. Ako vidíme z tabuľky No.6. v rámci týchto tried v súčasnosti sme vo veľkej miere obmedzený hlavne pri triede ME6 kde podľa normy za podmienky dodržania stanovených hodnôt nemáme vôbec možnosť regulácie stmievaním. Táto skutočnosť je z dôvodu veľkých zadefinovaných hustôt premávky vozidiel kde najmenšia hustota premávky je zadefinovaná v počte 7000 vozidiel cez deň čo je vo väčšine prípadov príliš vysoký počet vozidiel a zvlášť v nočných hodinách kedy je hustota premávky na úrovni <100 vozidiel.

## Záver

Cieľom tohto výskumu bolo zistiť vplyv inteligentných systémov riadenia a regulácie na parametre sústavy verejného osvetlenia. Ako sme mali možnosť vidieť, že väčšina inteligentných riadiacich systémov, ktoré používajú ako spôsob regulácie redukcii výstupného príkonu alebo napätia a sľubujú až 40% úspory energie nemusia spĺňať normy a môžu mať katastrofálny vplyv na bezpečnosť cestnej premávky. Je to spôsobené obrovskou zmenou svetelného toku v závislosti od zmeny vstupných parametrov výbojky. Z týchto dôvodov by bolo vhodným riešením v rámci Nórm uviesť spodné hranice svetelného toku pre danú triedu osvetlenia komunikácie počas stmievaného režimu, teda definovať presne limity stmievania pre každú triedu osvetlenia.

Ďalším zámerom tohto výskumu bolo zistiť maximálne dosiahnuteľné úspory energie stmievaním a reguláciou sústavy verejného osvetlenia. Ako výsledok bolo zistené, že v skutočnosti v Slovenskej republike, najväčšie možné úspory energie je možné dosiahnuť v rámci triedy osvetlenia ME4, ME5 a ME6. V súčasnej dobe v rámci týchto tried osvetlenia sme výrazne limitovaní normatívnymi predpismi a v niektorých prípadoch vôbec nemáme žiadne možnosti stmievania a regulácie. Z tohto dôvodu by bolo vhodné upraviť normatívne požiadavky napríklad v hustote cestnej premávky kde by bolo vhodné zaviesť aj nižšie triedy osvetlenia pre nižší počet vozidiel.

## Podakovanie



## Literatúra

- [1] EN 13201-1:2003 Osv. pozemných kom. - Výber tried osvetlenia
- [2] EN 13201-2:2003 Osv. Pozemných kom. - Svetelnotechnické požiadavky
- [3] EN 13201-3:2003 Osv. Pozemných kom. - Svetelnotechnický výpočet
- [4] Využitie elektronických predradníkov vo svietidlách osvetľovacích sústav VO - Margita Šefčíková, Miloš Kiss, Jozef Madanský <[http://www.dnacap.sk/verejne\\_osvetlenie.html](http://www.dnacap.sk/verejne_osvetlenie.html)>.
- [5] Ekonomický regulátor výbojkového osvetlenia ERVO. Dostupné na internete: <[http://www.intraco.eu/regulacia/pdf\\_dokumenty/ervo\\_sk.pdf](http://www.intraco.eu/regulacia/pdf_dokumenty/ervo_sk.pdf)>.

**Autor:** Ing. Zlatko Balaš, Slovenská Technická univerzita v Bratislave, Fakulta elektrotechniky a informatiky, Ilkovičová 3 / 841 04 Bratislava, Slovensko, e-mail: [zlatko.balas@stuba.sk](mailto:zlatko.balas@stuba.sk)

## Ekologizácia návrhu umelého osvetlenia priemyselných objektov

**Abstrakt.** Svetelné zdroje a ich prevádzkovanie významnou mierou ovplyvňujú hospodárnosť osvetlenia, preto pri návrhu nových osvetľovacích sústav alebo pri ich rekonštrukcii a modernizácii treba venovať zvýšenú pozornosť ich výberu. Šetrenie elektrickou energiou nie je len výsledkom tlaku koncových používateľov na znižovanie svojich nákladov, ale stáva sa aj povinnosťou v súlade s politikou energetickej efektívnosti. Príspevok je venovaný systému umelého osvetlenia s použitím svetelných zdrojov novej generácie, ktoré sú energeticky úsporné a šetrné k životnému prostrediu.

**Kľúčové slová:** umelé osvetlenie, úspora elektrickej energie, regulácia osvetlenia.

### Úvod

Svetlo je jedným z faktorov na vytvorenie pohody v miestnostiach a je tiež súčasťou energeticky úsporných princípov pri správe budov. Umelé osvetlenie sa vo vyspelých krajinách stalo neoddeliteľnou súčasťou každodenného života. Z energetického hľadiska je jedným z významných spotrebiteľov elektrickej energie. Úspora elektrickej energie na osvetlenie napr. pre výrobnú halu s inteligentným regulačným systémom môže predstavovať od 40% až do 80 %. [1]

### Svetlo a projektový manažment

Splniť požiadavky zabezpečenia osvetlenia priestoru je najvýhodnejšie v štádiu návrhu – projektu, kedy náklady na zmeny sú najnižšie. Prístupy k návrhu osvetlenia sú rôznorodé, závisia od mnohých skutočností, ale cieľ majú rovnaký – zabezpečiť optimálne riešenia osvetlenia a maximálnej miere využitie denného osvetlenia v interiéroch budov.

Reaktívny prístup je reakciou na požiadavky verejno-právnych zložiek – stavebný úrad, hygienika, alebo požiadavky účastníkov výstavby v zmysle platných noriem, vyhlášok a nariadení.

Proaktívny prístup spočíva v návrhu osvetlenia už v štádiu urbanistického konceptu, ktorý zahŕňa návrh veľkosti a počtu osvetľovacích otvorov, ich rozmiestnenie a materiálové riešenia.

Prívod denného svetla do vnútorných priestorov stavieb je spravidla zabezpečovaný transparentnými konštrukciami a rôznymi nadväzujúcimi technickými systémami:

- pasívnymi systémami denného osvetlenia budov – oknami, svetlíkmi, strešnými oknami, vikiermi, presvetlenými átriami či zimnými záhradami, svetlovodmi, doskami s reflexným povrchom a pod.
- aktívnymi osvetľovacími systémami: slnečnými heliostatmi, systémami využívajúcimi optické vlákna či rôzne hybridné systémy. [2]

### Osvetlenie v priemysle

Stav osvetlenia v priemyselných prevádzkach je v súčasnej dobe na úrovni, ktorá v mnohých prípadoch nevyhovuje požiadavkám stanovených v legislatíve a normách. Z hľadiska bezpečnosti práce je osvetlenie v pracovnom prostredí jedným z najdôležitejších faktorov. Veľa firiem preto stojí pred problémom, ako zrekonštruovať súčasné osvetlenie, tak aby vyhovovalo všetkým požiadavkám pre vytvorenie optimálnych svetelných podmienok a tým sa dosiahol bezpečný pracovný výkon.

Slovensko má historicky vysoko energeticky náročnú štruktúru priemyslu a v jeho odvetvovej štruktúre prevláda

strojársky priemysel. Podiel elektrickej energie pripadajúci na umelé osvetlenie je značný a nie zanedbateľný. Inštalovanie a prevádzkovanie energeticky efektívnych osvetľovacích sústav vo väčšine prípadov doposiaľ nie je považované za hlavnú prioritu, pretože dostupný kapitál sa predovšetkým používa na prevádzku, modernizáciu výrobného procesu a iné súvisiace činnosti, ktoré priamo súvisia s výrobou a existenciou priemyselných podnikov a inštitúcií.

Svetelné zdroje a ich prevádzkovanie významnou mierou ovplyvňujú hospodárnosť osvetlenia, preto pri návrhu nových osvetľovacích sústav alebo pri ich rekonštrukcii a modernizácii treba venovať zvýšenú pozornosť ich výberu. Šetrenie elektrickou energiou nie je len výsledkom tlaku koncových používateľov na znižovanie svojich nákladov, ale stáva sa aj povinnosťou v súlade s politikou energetickej efektívnosti definovanej v existujúcej, ako aj novopripravovanej legislatíve EÚ [3].

Hlavné ciele súčasného výskumu a vývoja v danej oblasti sú orientované predovšetkým na problematiku:

- úspory elektrickej energie používaním moderných energeticky úsporných svietidiel,
- predĺženie životnosti svietidiel,
- na šetrnosť k životnému prostrediu,
- nehlučná prevádzka,
- menšie teplotné zaťaženie svietidiel – zlepšenie požiarnej bezpečnosti,
- vysoká prevádzková spoľahlivosť – automatické odpojenie chybných svetelných zdrojov,
- menší pokles svietivosti v dôsledku starnutia,
- rýchla ekonomická návratnosť,
- zlepšenie hygieny práce – podstatné zníženie zrakovej únavy,
- nákladovo efektívna obnova starých systémov osvetlenia a pod.

### Optimalizácia prevádzkovania osvetľovacích sústav

Správne osvetlenie má vytvoriť priaznivé podmienky videnia. Týmto požiadavkám sa vyhovie najmä primeranou intenzitou osvetlenia, vhodnými jasnými, kontrastmi jasov a farieb a správnym smerom dopadu svetla a pod. Kombináciou umelého a prirodzeného svetla je možné dosiahnuť najlepšie výsledky. Svietenie počas celého dňa vedie k vysokým nákladom. Kombináciou denného a umelého osvetlenia je možné dosiahnuť veľké úspory. Senzory pohybu a riadenie osvetlenia ovplyvnené prítomnosťou resp. neprítomnosťou osôb aktivujú osvetlenie v prípade, že sa v miestnosti niekto nachádza. Tento systému ovládania osvetlenia vychádza :

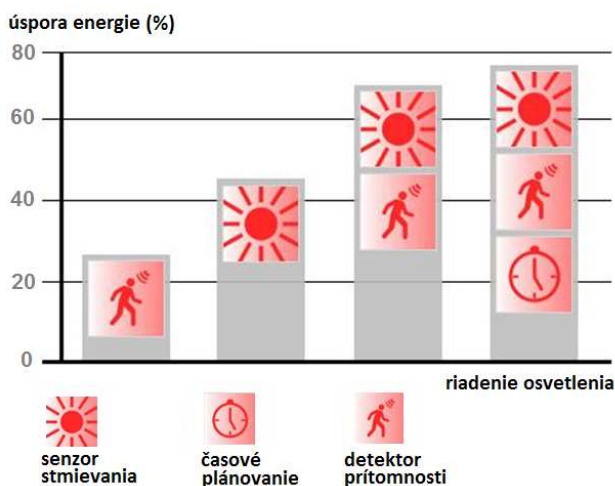
- sledovania prítomnosti,
- časového plánovania,

- ovládania stmievania v závislosti od intenzity denného osvetlenia,
- riadenia konštantnej úrovne osvetlenia a i.

Stmievanie svetelného zdroja je najznámejšou a najzákladnejšou formou riadenia osvetlenia. Možností ako kreatívne riadiť osvetlenie je čím ďalej, tým viac, ako aj možnosti, ako ovplyvňovať charakter svetla s cieľom vytvoriť ideálnu atmosféru pre akúkoľvek činnosť, napr. zmenou teploty chromatickosti, miešaním farieb svetla až po dynamické kopírovanie denného svetla.

Pri návrhoch optimalizácie a ekologizácie osvetľovacích systémov priemyselných objektov je potrebné zdôrazniť také faktory, ako sú špecifické vlastnosti konkrétnych výrobných hál a budov, v ktorých pracovné činnosti môžu byť vykonávané počas viacerých zmien, s rôznou dĺžkou pobytu osôb na jednotlivých pracovných miestach a s rôznymi požiadavkami na zrakovú náročnosť podľa charakteru vykonávanej práce a typu pracoviska. [4]

Implementáciou počítačovej inteligencie, environmentálnych a ekonomických aspektov je možné optimalizovať parametre osvetľovacích systémov a dosiahnuť úsporu elektrickej energie až o 80% prispôbovaním intenzity osvetlenia vo vnútornom pracovnom prostredí je možné odvíjať riešenia v závislosti od premenlivosti denného svetla, pohybu osôb v priestore a časového plánovania (obr. 1).



Obr.1. Úspora energie použitím prvkov regulácie osvetlenia

Progresívne osvetľovacie systémy využívajú svetelné zdroje novej generácie, ktoré sú energeticky úsporné, šetrné k životnému prostrediu, spoľahlivé a majú dlhú životnosť. Voľba svetelného zdroja vyplýva už zo základných požiadaviek na osvetľovanie priemyselných prevádzok (strojárenských hál). Ďalším hľadiskom je ekonomika prevádzky a údržby.

Kritéria pre výber svetelného zdroja na osvetlenie strojárenských prevádzok sú nasledovné:

- hľadisko úspory el. energie pri inštalácii nových zdrojov (max. merný výkon, optimálne využitie svet. toku v svietidle, rýchlosť poklesu svetelného toku a i.),
- ekonomické hľadisko pri údržbe osvetlenia (život, priebeh úmrtnostní krivky v čase = počet kusových výmen pri údržbe, plošné výmeny ...),
- estetické hľadisko (farba svetla),
- obstarávacie náklady vzhľadom k úžitkovým vlastnostiam.

V Tabuľke č. 1 je uvedený prehľad svetelných zdrojov, ktoré sú v najväčšej miere používané v sústavách na osvetľovanie. Uvedené sú porovnávacie hodnoty životnosti zdrojov, merných výkonov a svetelných tokov, a pre ďalšiu voľbu z hľadiska použiteľnosti aj hodnoty indexu farebného podania a teploty chromatickosti.

Tab 1. Porovnanie parametrov jednotlivých druhov svetelných zdrojov

Druh svetelného zdroja	Obrázok svetelného zdroja	Typ	Prikon [W]	Merný výkon [lm/W]	Životnosť [h]	Korelovaná teplota chromatickosti [K]	Index podania farieb R <sub>s</sub>
Žiarovka		klasická	15 - 200	6 - 16	1000	2750	100
Halogénová žiarovka		na sieťové napätie	60 - 2000	12 - 25	> 2000	2850	100
		na nízke napätie (12 V)	5 - 75	11 - 19	3000 - 4000	2800 - 3050	90 - 100
Žiarivka		kompaktná	5 - 55	50 - 87	6000 - 16000	2700 - 6000	> 80
		lineárna $\Phi$ 16 mm	14 - 35	96 - 106	8000 - 12000	2700 - 6000	> 80
		lineárna $\Phi$ 26 mm	10 - 58	33 - 83	8000 - 12000	2700 - 6000	> 80
		lineárna $\Phi$ 38 mm	20 - 65	57 - 68	8000 - 12000	2700 - 6000	> 80
Výbojka		Xenónová s krátkym obl.	25 - 8000	15 - 50	1200	6000	> 94
		Halogenidová	35 - 2000	52 - 110	5000 - 10000	3000 - 6000	65 - 96
		Vysokotlaková sodíková	35 - 1000	70 - 150	28000	2000	20 - 40
		Nízkotlaková sodíková	17,5 - 180	100 - 203	10000 - 18000	1800	0
		Indukčná	40 - 200	65 - 80	60000	3500 - 6000	80
LED		Dióda	cca 0,04	20 - 150*	20000 - 100000	2800 - 3200	> 90

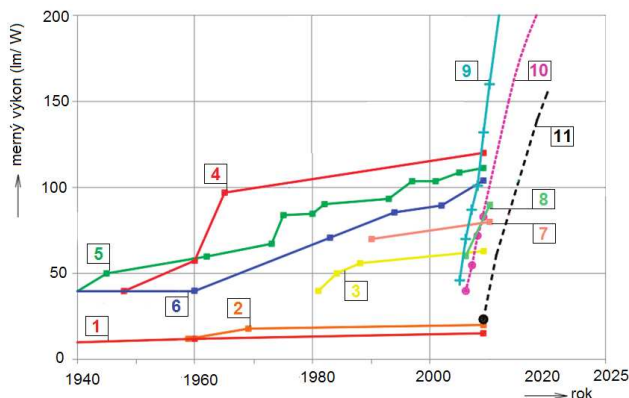
\* Záleží na vlnovej dĺžke diódy (najnižší je pri infračervených a najväčší pri ultrafialových).

\*\* Teoreticky vypočítané, maximum je 220 lm/ W.

Dôležitým údajom, súvisiacim s ekonomikou prevádzky svetelných zdrojov je životnosť svetelného zdroja (hod). Výrobcom svetelných zdrojov spravidla uvádzajú hodnoty životnosti, keď ešte svieti 50 % skúmaného súboru za stanovených podmienok. Taktiež je potrebné uvažovať s tým, že svetelný tok každého zdroja sa v čase života mení. Tieto zmeny zachytávajú krivky poklesu svetelného toku. Určujú, aký je percentuálny pokles počiatočnej hodnoty svetelného toku po 100 hod života v závislosti na počte odsvietených hodín. Tento údaj je dôležitý pre návrh a výpočty osvetľovacích sústav. Počiatočné hodnoty výpočtu treba nadhodnotiť o toľko, aby na konci intervalu výmeny zdroja hodnota svetelného toku, resp. osvetlenosti ešte vyhovovala požiadavkám technických noriem.

Vzhľadom k tomu, že medzi aspekty, ktoré významne ovplyvňujú rozvoj svetelných zdrojov patrí požiadavka na energetickú účinnosť ich využitia, bolo v posledných rokoch v Európskej únii, v Spojených štátoch, v Austrálii a v ďalších krajinách prijatých niekoľko legislatívnych opatrení súvisiacich s minimálnymi požiadavkami na účinnosť svetelných zdrojov.

V rámci Európskej únie bol prijatý súbor nariadení, podľa ktorých budú svetelné zdroje s nízkym merným výkonom postupne sťahované z trhu. V dôsledku uvedených nariadení budú do roku 2012 z obchodnej siete úplne sťahované žiarovky pre všeobecné osvetlenie. Ak sa v reálne krátkej dobe nepodarí výrazne zvýšiť merný výkon halogenidových žiaroviek a vysokotlakových ortuťových výbojok, budú i tieto svetelné zdroje stiahnuté z predaja. Vývoj merného výkonu bežne používaných svetelných zdrojov pre všeobecné osvetlenie ja na obrázku 2. [5]



- |  |  |
|--|--|
| 1 - žiarovky                               | 7 - indukčné výbojky                     |
| 2 - halogénové žiarovky                    | 8 - bezelektrodové vysokotlakové výbojky |
| 3 - kompaktné žiarovky (E27)               | 9 - LED chladne biela                    |
| 4 - lineárne žiarivky                      | 10 - kompaktné LED (E27)                 |
| 5 - vysokotlakové výbojky (nízke príkony)  | 11 - panel OLED                          |
| 6 - vysokotlakové výbojky (vysoké príkony) |  |

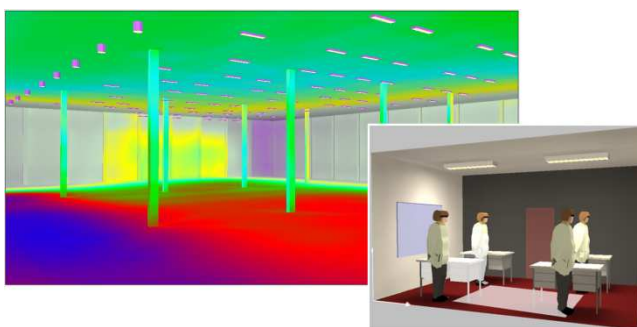
Obr.2. Vývoj merného výkonu svetelných zdrojov [5]

V posledných rokoch sa čoraz výraznejšie v rôznych svetelnotechnických aplikáciách presadzujú LED diódy. Diódy spoľahlivo vytlačujú miniatúrne žiarovky a nachádzajú aj úplne nové použitie, napríklad v dopravnej signalizácii, pri osvetlení exponátov citlivých na UV žiarenie, začínajú sa využívať aj vo verejnom osvetlení a objavujú sa aj v architektonickom osvetlení.

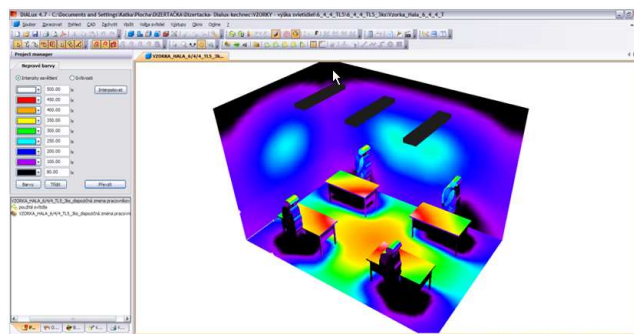
Trendy vývoja u LED sú zo všetkých typov zdrojov najrýchlejšie. Podľa údajov výrobcov sa každým rokom zhruba zdvojnásobí dosiahnutá hodnota svetelného toku, rozširuje sa sortiment pre najrôznejšie aplikácie (zväzky (klastre), fokusované v najrôznejších uhloch, farebné spektrum a pod).

### Monitorovanie a vyhodnocovanie osvetlenia

Na podporu monitorovania a vyhodnocovania osvetlenia sú nápomocné simulačné metódy a vizualizačné techniky na tvorbu dynamických svetelných máp a ďalších grafických výstupov. Súčasný prudký rozvoj informačných technológií vytvára predpoklady pre riešenie úloh aj v danej oblasti. Výpočet osvetľovacích sústav a charakteristík osvetlenia je možné realizovať využitím moderných počítačových programov, ktoré okrem svetelnotechnických výsledkov ponúkajú aj 2D a 3D vizualizáciu osvetľovaných priestorov a umožňujú tak spracovať kompletnú výkresovú dokumentáciu k svetelnotechnickému projektu. Na nasledujúcich obrázkoch (obr. 3 až obr. 6) sú zobrazené výstupy z programu Dialux, ktorý patrí medzi výpočtové počítačové programy slúžiace pri návrhu osvetlenia.



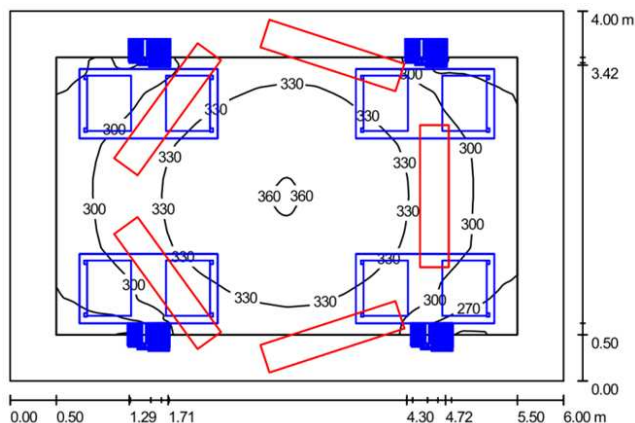
Obr.3. 3D vizualizácia vnútornej scény



Obr.4. Renderovanie nepravými farbami /osvetlenosť/



Obr.5. Izofotická mapa s vyznačenými izolínami a krivkami svetivosti



Obr.6. Izolínie hodnôt osvetlenosti na porovnávacej rovine

### Záver

Požiadavka znižovania energetickej náročnosti aj na osvetlenie v priemysle z dôvodu rastu cien energií a narastajúcej závislosti na dovoze energií sa stáva stále aktuálnejšou. Vhodné osvetlenie prispieva k zvyšovaniu produktivity, kvality práce, bezpečnosti a ekologizácii pracovného prostredia. Moderné osvetľovacie systémy novej generácie sú energeticky úsporné, spoľahlivé a šetrnejšie k životnému prostrediu. Správne navrhnuté a udržiavané osvetlenie zabezpečí dodržanie kvalitatívnych a kvantitatívnych parametrov požadovaných normami počas

celej prevádzky. Hospodárnosť osvetlenia pomáha dosahovať aj samotný návrh osvetľovacích sústav. Vhodne navrhnuté osvetlenie nielenže zabezpečuje požadované podmienky na vykonávanie zrkovných úloh, ale umožňuje minimalizovať investičné aj prevádzkové náklady, čím zvyšuje efektívnosť osvetlenia.[6]

*Tento príspevok bol vypracovaný v rámci projektu KEGA 3/7422/09..*

#### POUŽITÁ LITERATÚRA

- [1] HOŘÍNEK, D.: Osvetlenie priemyselných hál a priestorov svetidlami so žiarivkami T5, In: Světlo, 3/2008, FCC Public s. r. o., Praha
- [2] FLIMEL M.: Prístupy k návrhu denného osvetlenia v interiéri. In: Světlo, roč. 9, č. 4, 2006, s. 40 – 42.
- [3] DLUGOPOLSKÝ, J.: Energetická efektívnosť- Ovládanie osvetlenia Schneider Electric, AT&P journal 3/2008, Bratislava, ISSN 1336-5010, s-24-25
- [4] Dlugopolský, J.: Energetická efektívnosť- Ovládanie osvetlenia Schneider Electric, AT&P journal 3/2008, Bratislava, ISSN 1336-5010, s-24-25
- [5] ŽÁK, P.: Trendy ve světelných diodách a svítidlech se světelnými diodami, In: Světlo, ročník 2010, číslo. 6, FCC Public s. r. o., Praha.

- [6] BADIDA, M.- KRÁLIKOVÁ, R.- KRUPA, M. (2005): Svetelno – technická štúdia interiérov a exteriérov kompresorovej stanice Jablonov nad Turňov, 246 s.
- [7] SMOLA, A., Osvetlenie priemyselných hál, AT&P Journal, 3/2003, Bratislava, ISSN 1336-5010, s-34-36
- [8] SMOLA, A., BLUBLA, J.: Racionalizácia spotreby elektrickej energie využitím žiarivkového programu TL5. In: Konferencie osvetľovacej techniky XIV. Ostrava: 1997, s. 98 - 103.

#### **Autori:**

*Dr.h.c. prof. Ing. Miroslav BADIDA, PhD., Technická univerzita v Košiciach, Strojnícka fakulta, Park Komenského 5, 042 00, Košice, Slovak Republic, e-mail: [miroslav.badida@tuke.sk](mailto:miroslav.badida@tuke.sk)*

*doc. Ing. Ružena KRÁLIKOVÁ, PhD., Technická univerzita v Košiciach, Strojnícka fakulta, Park Komenského 5, 042 00, Košice, Slovak Republic, e-mail: [ruzena.kralikova@tuke.sk](mailto:ruzena.kralikova@tuke.sk)*

*MVDr. Darina BADIDOVÁ, Technická univerzita v Košiciach, Strojnícka fakulta, Park Komenského 5, 042 00, Košice, Slovak Republic, e-mail: [darina.badidova@tuke.sk](mailto:darina.badidova@tuke.sk)*

*Ing. Katarína KEVICKÁ, Technická univerzita v Košiciach, Strojnícka fakulta, Park Komenského 5, 042 00, Košice, Slovak Republic, e-mail: [katarina.kevicka@tuke.sk](mailto:katarina.kevicka@tuke.sk)*

# Contribution to modelling of light transmission through the cupola of light guides

**Abstract.** One of the new technology for transport of daylight into the building interior are tubular light guides. It consists of cupola, tube and diffuser. Existing models for description of light transmission through cupola generally consider classical optical rules. Papers published up to now give information about light transmittance through the cupola, but absorbance and reflectance is not well known described. It seems that Fresnel's equations offer better approach for solutions of light transmission through transparent dome. This contribution discuss problem of more physically based transmission through the hemispherical cupola.

**Keywords:** hemispherical cupola, Fresnel's equations, illuminance, luminous flux.

## 1. Introduction

A tubular light guide is a commonly accepted equipment for delivering daylight into the interiors especially to the windowless parts of building cores and halls. This optical system consists of cupola, tube and diffuser. Before the light is guided via multiple specular reflection through the cylindrical tube it interacts with dome installed at the upper interface of the light guide system. The dome is made of clear polycarbonate material to minimize the energetic losses and to be resistant to mechanical impacts. The cupola is often characterized by a quantity called transparency.

The errors in determination of transparency due to the directionality of light beams have non-negligible influence on predicted performances of the light guides. Detailed numerical simulations with classical optical rules can quantify the errors caused by the optical properties of the dome at the top of the light guide.

The amount of light propagated through the cupola strongly depends on the sky conditions, e.g. sky luminance distribution and solar altitude. Under overcast conditions, the direct sunbeams are almost absent, so only diffuse light is to be detected at the ground. In other cases, the sun and sky contribute concurrently to the illumination of the ground. The knowledge on penetration losses of the sunlight on the surface on the cupola can be used for more accurate predictions of luminous efficiencies of the light guides. This contribution presents the influence of the hemispherical cupola on the sunlight passing through the light guide systems considering Fresnel equations and directional absorbance of the dome's material.

## 2. Optical properties of a cupola

Electromagnetic waves passing through the interface of a hemispherical dome on the top of the light guide are transmitted, absorbed or reflected depending on the glass optical properties and sky conditions. The optical properties depend on the angle of incidence of each light beam with respect to the normal of the glassy interface. The cosine of the angle of incidence in the local coordinate system was derived as the angle between the vector of the light beam and the normal vector of the hemispherical dome:

$$(1) \quad \cos \alpha = \frac{|R - r_0 \cos(\phi_0 - \phi_1) \sin \vartheta|}{\sqrt{R^2 + r_0^2 - 2Rr_0 \cos(\phi_0 - \phi_1) \sin \vartheta}},$$

where  $\phi_1$  and  $\vartheta$  are the azimuth and zenith angle of a sky element, respectively. Variables  $r_0$  and  $\phi_0$  represent the polar coordinates of the intersection point at the base of the cupola with radius  $R$ .

Using Eq. (1), Fresnel equations and Snell's law, for the reflection coefficient of the dome we can write:

$$(2) \quad \rho(r_0, \phi_0, \phi_1, \vartheta) = \frac{1}{2} \left[ \frac{2Y^2 - 2Y\sqrt{Y^2 + n_2^2 - 1} + n_2^2 - 1}{2Y^2 + 2Y\sqrt{Y^2 + n_2^2 - 1} + n_2^2 - 1} + \frac{Y^2(n_2^4 + 1) - 2Yn_2^2\sqrt{Y^2 + n_2^2 - 1} + n_2^2 - 1}{Y^2(n_2^4 + 1) + 2Yn_2^2\sqrt{Y^2 + n_2^2 - 1} + n_2^2 - 1} \right]$$

where

$$(3) \quad Y = \frac{R - r_0 \cos(\phi_0 - \phi_1) \sin \vartheta}{\sqrt{R^2 + r_0^2 - 2Rr_0 \cos(\phi_0 - \phi_1) \sin \vartheta}}.$$

For the absorbing materials, the transmission coefficient is given by the formula (see [1])

$$(4) \quad \tau(r_0, \phi_0, \phi_1, \vartheta) = \frac{(1 - \rho(r_0, \phi_0, \phi_1, \vartheta))^2 e^{-\nu}}{1 - \rho^2(r_0, \phi_0, \phi_1, \vartheta) e^{-2\nu}},$$

where  $\nu$  is the directional absorbance depending on the beam's angle of incidence  $\alpha$ , thickness of the absorbing material  $h$  and its absorption coefficient  $\nu_{il}$ :

$$(5) \quad \nu = \frac{\nu_{il} h n_2}{\sqrt{\cos^2 \alpha + n_2^2 - 1}}.$$

where  $\nu_{il}$  is the absorption coefficient,  $n_2$  is its refractive index and  $h$  is a thickness of the dome's material.

### 3. Illuminance and luminous flux under the cupola

#### 3.1 Luminance of the sunlight

Horizontal illuminance from the parallel sun beams can be calculated as follows

$$(6) \quad P_v = E_{v0} e^{-a_v m T_v} \sin \gamma_s,$$

where  $\gamma_s$  is the altitude of the sun,  $E_{v0} = 133\,334 \text{ lm}\cdot\text{m}^{-2}$  is the extraterrestrial horizontal illuminance measured by the satellites and  $a_v$  is the extinction coefficient given by the Clear's formula [2]

$$(7) \quad a_v = \frac{1}{9.9 + 0.043 m}.$$

Relative optical airmass  $m$  is frequently calculated by using Kasten-Young formula [3]

$$(8) \quad m = \frac{1}{\sin \gamma_s + 0.50272 (\gamma_s + 6.07995^\circ)^{-1.6364}},$$

where  $\gamma_s$  is the altitude of the sun in degrees. Expression  $T_v$  in the Eq. (6) represents the luminous turbidity of the atmosphere [4].

#### 3.2 Illuminance and luminous flux

If we consider only parallel sun beams, the illuminance of the infinitesimally small area under the transparent hemispherical cupola is given by:

$$(9) \quad E(r_0, \phi_0) = P_v \tau(r_0, \phi_0, \phi_1, \vartheta),$$

where horizontal illuminance from sun beams  $P_v$  is given by the Eq. (6) and the transmission coefficient of a dome  $\tau(r_0, \phi_0, \phi_1, \vartheta)$  is known from the Eq. (4). Many studies of the light propagation through the transparent materials frequently ignore the Fresnel's equations and also directional absorption of the light beam by the material. Thus, in current approaches the simpler formula is commonly used:

$$(10) \quad E_{app}(r_0, \phi_0) = P_v e^{-\nu},$$

where  $\nu$  is given by the Eq. (5) considering  $\cos \alpha = 1$ . Relative illuminance  $E_{rel}(r_0, \phi_0)$  as the correction factor to the approximated formula is calculated as the ratio of accurate illuminance  $E(r_0, \phi_0)$  and the model illuminance  $E_{app}(r_0, \phi_0)$ :

$$(11) \quad E_{rel}(r_0, \phi_0) = \frac{E(r_0, \phi_0)}{E_{app}(r_0, \phi_0)}.$$

Luminous flux passing through the base area of the cupola is given as the integral of the illuminance  $E(r_0, \phi_0)$  over the surface under the dome. Reference luminous flux considers only the absorption of perpendicular light beams and it is calculated as the integral of the approximated illuminance  $E_{app}(r_0, \phi_0)$  over the surface under the cupola. In the similar way as it is in the case of relative illuminance  $E_{rel}(r_0, \phi_0)$ , the relative luminous flux can be expressed as follows

$$(12) \quad \Phi_{rel} = \frac{\Phi}{\Phi_{app}}.$$

### 4. Numerical results

Relative illuminance distributions and luminous fluxes are modelled for CIE Standard Clear Sky (type 12). The sun is located on the south ( $\phi_s = 180^\circ$ ) in each case. For numerical simulations, the transparent hemispherical top dome is used with radius  $R = 0.16 \text{ m}$ , thickness of the glass  $h = 0.004 \text{ m}$ , refractive index  $n_2 = 1.5$  and absorption coefficient  $\nu_{ii} = 30 \text{ m}^{-1}$ .

Relative illuminance distribution below the cupola in according to the Eq. (11) is shown on Fig. 1. Calculated isolines show the symmetry along the south-northern axis of the cupola with higher concentration of isolines and noticeable decrease of the illuminance on the south edge of the dome. Significant deformations in the illuminance distribution appear for low solar elevations and disappear with increasing sun's altitude.

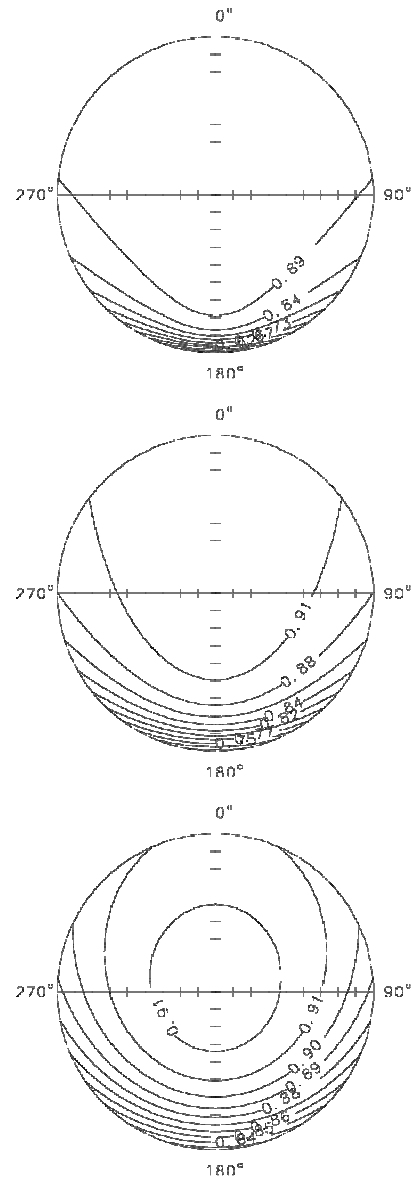


Fig 1: Relative illuminance under the cupola for CIE Standard Clear Sky and various sun's altitudes: 18.5°, 42° and 65.5°.



Table 1 presents the accurate, approximate and relative luminous fluxes for the instance of direct sunlight. The values of the relative fluxes are almost identical for all sky types if only sunlight is considered without diffuse sky light. A very small difference is caused by the value of the turbidity factor  $T_v$  in the Eq. (6). Relative luminous flux as a correction factor slightly rises with the solar elevation. It is evident, that direct sunlight has a non-negligible influence on the final efficiency of a light guide.

Sun's altitude	$\phi$ [lm]	$\phi_{app}$ [lm]	$\phi_{rel}$
18.5°	15 122	16 683	0.9064
42°	49 840	54 847	0.9087
65.5°	74 507	81 748	0.9114

Table 1: Accurate, approximate and relative luminous fluxes for sunlight passing through the flat base of the transparent hemispherical cupola with radius  $R = 0.16$  m and absorption coefficient  $v_{il} = 30$  m<sup>-1</sup>. CIE Clear Sky (type 12) are simulated for three sun elevations.

The error in luminous fluxes shown on Fig. 2 was calculated as  $[1 - \phi_{app} / \phi] \times 100$ . As it is in the instance of luminous fluxes, also the errors are identical for all sky types.

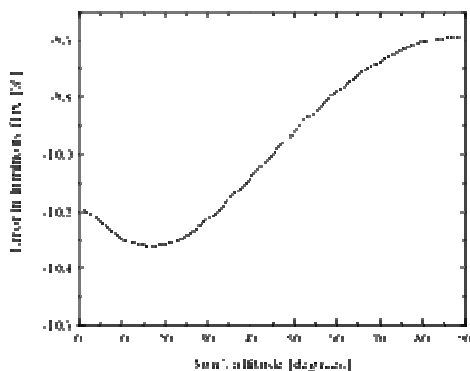


Fig. 2: Errors in luminous fluxes for all solar altitudes. Only direct sunlight is taken into account.

## 5. Conclusions

The tubular light guide is the equipment that can save energies in the building interiors. The effectiveness of light guide systems depends on each of its components. For the hemispherical top dome, the transmission coefficients is the main parameter. Physical background was used for calculation of the illuminance under the hemispherical cupola and luminous flux passing through the area under the dome. In this contribution, only direct sunlight was considered without diffuse sky light. The commonly used approximated luminous flux and physically correct approach presented in this paper are compared. It is shown that simplification considering only normal incidence of the light beams leads to an average error of 10 % in case of luminous fluxes. Considering total daylight, errors have higher values during the sunrise and sunset due to the greater contribution of the sky light to the total luminous flux [5]. The errors may be higher if the cupola becomes dirty during extensive use. This can be simulated by increased attenuation coefficient.

## Acknowledgements

This paper was supported by the Slovak Research and Development Agency under the contract No: APVV SK-CZ-0015-09.

## REFERENCES

- [1] Bohren, C. F., Huffman D. R., 1998. Absorption and Scattering of Light by Small Particles. John Wiley and Sons, Inc.
- [2] Clear, R., 1982. Calculation of turbidity and direct sun illuminance. Memo to Daylight Group, LBL Berkeley, Cal.
- [3] Kasten, F., Young, A., T., 1989. Revised optical airmass tables and approximation formula. *Appl. Optics*, 28, 22, p. 4735-4738.
- [4] Kittler, R., Darula, S., Perez, R., 1998. A set of standard skies. Polygrafia SAV, Bratislava, p.52.
- [5] Kómar, L., Kocifaj, M., 2011. Optics of hemispherical top dome and its effect on tubular light-guide efficiency: diffuse light case. (under review).

**Authors:** RNDr. Ladislav Kómar, PhD., Institute of Construction and Architecture, Slovak Academy of Sciences, Dúbravská cesta 9, Bratislava, e-mail: ladislav.komar@savba.sk

# Odborné posuzování vlivu stínění stavbami

**Keywords:** proslunění, oslunění, denní osvětlení

## 1. Úvodem

**Proslunění a denní osvětlení** staveb, případně **oslunění** rekreačních ploch v okolí obytných budov, patří k všeobecným požadavkům kladeným na stavby z důvodu ochrany zdraví, zdravých životních podmínek a životního prostředí [1-§10, bod(1), odst. j)].

**Působení přímého slunečního záření ve stavbách se označuje jako proslunění, na venkovních rekreačních plochách jako oslunění [2]**, dále budu používat tendenční označení **oslunění**.

Slunce je zdrojem elektromagnetického záření z jehož spektra pronikne atmosférou k povrchu zemskému optické záření jehož významnými složkami jsou:

- UV záření (100-390nm), které svým baktericidním účinkem má schopnosti dezinfekce lidských obydlí, na druhé straně může vyvolat nežádoucí fyzikální i chemické změny materiálů a předmětů uložených v tomto prostoru.
- Viditelné světlo (380-780nm) v plném spektru vlnových délek umožňující vidění, které má přímý vliv na psychiku lidí a zásadně ovlivňuje biologické rytmy lidí. Na druhé straně svojí vysokou intenzitou (jasem) může rušit zrakovou pohodu v tomto prostoru.
- IR záření (770-1200nm) má zejména tepelné účinky, které mají příznivý vliv na lidská obydlí v zimě, naopak v létě nebývá příliš žádoucí.

**Hodnocení oslunění znamená vyhodnocení přímého vlivu slunce do stanoveného (kritického) bodu hodnocení**, tedy geometrickou úlohu je-li slunce na své zdánlivé dráze pozorované z bodu hodnocení umístěném v okně stavby, nebo na hodnocené ploše, stíněno vnějšími překážkami či nikoliv **a po jakou dobu se toto děje**.

**Denní osvětlení je viditelné světlo uvnitř hodnoceného prostoru způsobené nejen přímým slunečním zářením ale též odraženým světlem z oblohy a vnějších odrazných ploch**, které vniká osvětlovacím otvorem do předmětného prostoru **a současně odraženým světlem od vnitřních ploch** předmětného prostoru. Při **hodnocení denního osvětlení není podstatné je-li osvětlovací otvor orientován na slunečnou nebo neslunečnou světovou stranu**. Vzhledem k dynamickému chování denního světla způsobeného zejména přímým slunečním zářením je nutno z pozice hodnocení používat jisté modely oblohy za kterých se denní světlo počítá a měří. Dále je nutno používat **poměrnou jednotku pro tuto veličinu aby byla eliminována časová proměnlivost této veličiny**.

**Metody hodnocení oslunění a denního osvětlení jsou tedy výrazně odlišné**. Rozdílné jsou i jednotky veličin, oslunění se vyjadřuje časovou jednotkou (min, hod), denní osvětlení poměrnou jednotkou (%). Dalším markantní rozdílem obou veličin je, že oslunění nelze měřit. Zdánlivá

poloha slunce je pouhým modelem fyzikální reality s mnohými aberacemi. Nezanedbatelná je i skutečnost, že v danou chvíli může být zamračeno a nelze nic změnit.

**Proto nelze posuzovat oslunění stejnými metodami jako denní osvětlení. Oba fenomény se považují za vlastnosti stavby a to i budoucí a musí se prokazovat.**

## 2. Oslunění

### 2.1 Popis

**Všechny byty (nebo obytné celky) musí být osluněny. Byt je osluněn je-li součet podlahových ploch jeho osluněných obytných místností roven nejméně 1/3 součtu podlahových ploch všech jeho obytných místností.** V samostatně stojících RD, dvojdomech a koncových RD má být tento poměr nejméně 1/2.

Poznámka: v moderní architektuře se objevují hluboké jednostranně osluněné místnosti. Zde je nutno připomenout omezení, že plochy místností, které leží za hranicí hloubky rovné 2,3 násobku její světlé výšky se nezapočítávají do plochy prosluněné obytné místnosti ani do celkového součtu obytných místností.

**Obytná místnost se považuje za prosluněnou jsou-li splněny normou [2,3] stanovené podmínky** z nichž zdůrazňuji:

- Púdorysný úhel slunečních paprsků s rovinou okna musí být nejméně 25°  
Poznámka: v případě balkónových oken, použitím dělicích příček a jiných překážek je nutno vzít v úvahu skutečný púdorysný úhel stínění, je-li větší než 25°.
- Okenní otvor musí být zakryt průhledným a barvu nezkrslujícím materiálem. Celková plocha oken určená ze skladebných rozměrů musí být větší než 1/10 podlahové plochy hodnocené místnosti. Nejmenší skladebný rozměr okna je 900mm, u střešního okna je to 700mm.
- Výpočtový (kritický) bod kde se stanovuje doba oslunění se definuje ve výšce 300mm nad středem parapetu, nejméně 1,2m nad úrovní podlahy posuzované místnosti v rovině vnitřního zasklení.
- Výška slunce nad horizontem nejméně 5°.
- Je nutno přihlídnout k meridiánové konvergenci dle [3].

**Při zanedbání oblačnosti musí být dne 1. března doba oslunění nejméně 90 minut.**

Tuto hodnotu lze nahradit bilancí, kdy ve dnech 10. února až 21. března bez přestupných let (=40dnů) je tato doba 3600minut.

Venkovní zařízení a prostory v okolí obytné budovy sloužící k rekreaci jejich obyvatel musí mít alespoň 1/2 plochy osluněnu 3h dne 1.března.

**Oslunění pobytových místností** je rozumné vyžadovat u prostorů s dlouhodobým pobytem lidí jako jsou pokoje a ložnice ubytovacích objektů, rekreačních objektů, nemocniční lůžkové pokoje ap. Kritéria hodnocení jsou stejná jako u obytných místností.

## 2.2 Metody stanovení oslunění

Používají se metody grafické i numerické. Výsledky grafických metod jsou snadněji kontrolovatelné. Podstatné je, aby všechny metody vycházely z jednotného stanovení polohy slunce a jeho zdánlivé dráhy na obloze podle [3], kde jsou doporučeny tři grafické metody pro stanovení oslunění.

### 1. Diagram zastínění (příloha "A" ČSN 730581:09/2009)

Tato metoda poskytuje uspokojivé výsledky v případě, kdy se jedná o relativně vzdálené překážky a situace objektů je přehledná. Diagram se tvoří pomocí přílohy normy (starší vydání se významně liší). V diagramu musí být zřetelné převýšení překážek a vyznačeny body stínění. Je optimální grafické vyznačení času oslunění a stínění včetně okrajových podmínek.

### 2. Pravoúhlý sluneční diagram (příloha "B" ČSN 730581:09/2009)

Tato metoda poskytuje přehledné výsledky v případech, kdy se jedná o relativně blízké překážky a zejména výškově hodně členité. Pravoúhlý průmět překážek do výpočtového bodu se překryje pravoúhlým slunečním diagramem v příloze normy. Z průmětu se odečte doba proslunění.

### 3. Stereografický sluneční digram (viz příloha "C" ČSN 730581:09/2009)

Rozdíl oproti digramu ad 2 je v tom, že promítání překážek i zdánlivé polohy slunce se provádí do stereografického (polárního) diagramu.

**Odborný posudek oslunění zpracovaný oprávněnou osobou musí specifikovat požadavky na oslunění tříděné podle jednotlivých prostorů budovy, musí obsahovat alespoň výsledky výpočtů a musí jednoznačně stanovit vyhovující nebo nevyhovující stav s odkazem na možná řešení.**

## 3. Denní osvětlení

### 3.1 Popis

Z hlediska denního osvětlení je dobré rozlišit zda se jedná o denní osvětlení **uvnitř posuzované novostavby** nebo se jedná o **stínění denního osvětlení okolními** (původními i novými) stavbami. Úroveň denního osvětlení se stanovuje pomocí **činitele denní osvětlenosti** jehož matematické vyjádření je:

$$D = E_{\text{int}} / E_{\text{hext}} * 100 \quad (\% ; I_x, I_x, -)$$

Kde jsou:

$E_{\text{int}}$  hodnota osvětlenosti v konkrétním (výpočtovém bodě)

$E_{\text{hext}}$  hodnota osvětlenosti venkovní nezacloněné horizontální roviny, obvykle v úrovni terénu

### 3.2.1 Denní osvětlení uvnitř staveb

Navrhované budovy musí mít **vyřešeno** v souladu s normovými hodnotami **denní případně sdružené osvětlení** [1,4,6].

Technická norma [1-ČSN 730580-1] taxativně stanovuje prostory, kde **musí být vždy vyhovující denní osvětlení**, jsou to:

- **obytné místnosti bytů**
- **ložnice a pokoje zařízení pro dlouhodobé ubytování lidí (domovy mládeže, důchodců, koleje, ap.)**
- **denní místnosti zařízení pro předškolní výchovu (jesle, MŠ) [11]**
- **učebny škol mimo speciální [4-ČSN 730580-3]**
- **vyšetřovny a lůžkové místnosti zdravotnických zařízení**
- **místnosti pro oddech a jídelny určené pro uživatele prostorů bez denního světla**

V ostatních prostorech je nutno zvážit vhodnost použití sdruženého osvětlení [6], prostory bez denního osvětlení lze navrhovat zcela výjimečně a to pouze v odůvodněných případech. Přitom je třeba rozlišovat funkční využití a délku pobytu lidí předmětného prostoru.

Technickou normou případně jiným předpisem [4,10] stanovené hodnoty činitele denní osvětlenosti  $D$  obvykle v závislosti na funkčním využití předmětného prostoru jsou považovány za nejnižší. Tyto hodnoty mohou být navýšeny pouze za určitých okolností vyjmenovaných v technické normě.

U nově navrhovaných budov je nutno při výpočtu denního osvětlení respektovat současné okolní stínící překážky. Je nutno zvážit možnost změn okolních překážek, nebo též budoucí výstavbu na okolních parcelách, která může zvýšit zastínění z dnešního až do nejvýše povoleného stavu. Do výpočtu se zavede úhel stínění, který je pro uvažované lokality jako nejvýše možný.

Požadavky na denní osvětlení uvedené v technických normách není nutno bezdůvodně navyšovat. Uvedené hodnoty jsou stanoveny tak, že je lze považovat za **hygienicky minimální a energeticky optimální** s ohledem na energetickou bilanci budovy.

### 3.2.2 Stínění denního osvětlení okolních staveb

Zastínění denního osvětlení stávajících prostorů novými stavbami nebo jejich částmi se posuzuje podle **činitele denní osvětlenosti ve stanoveném bodě roviny vnějšího zasklení oken předmětných prostor  $D_w(\%)$** . Tímto kritériem se nehodnotí úroveň denního osvětlení ve vnitřním prostoru, ale **míra zavinění případného nevyhovujícího stavu denního osvětlení venkovním stíněním**.

Nejnižší hodnoty činitele  $D_w(\%)$  jsou stanoveny technickou normou [4] podle kategorie vyjádřené lokalitou zástavby. Hodnotám činitele  $D_w(\%)$  odpovídají úhly stínění  $\epsilon(^\circ)$ , který lze použít mimo jiné jako parametr výpočtu vnitřního denního osvětlení dle bodu 3.2.1 toto textu

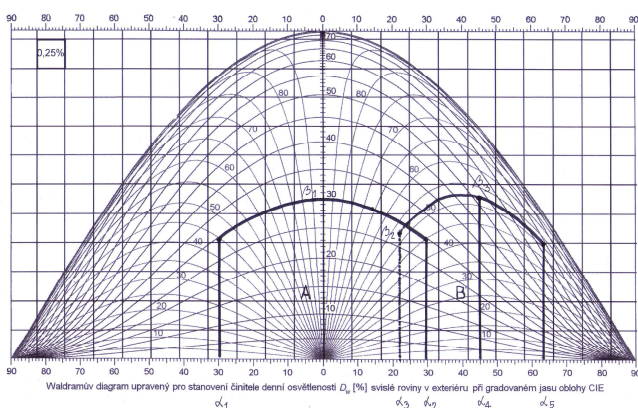
## 3.3 Metody stanovení denního osvětlení nebo vlivu stínění

Metody se používají grafické nebo numerické. Podstatné, stejně jako u oslunění je, aby vycházely z jednotných požadavků na výpočet stanovených technickou normou [4-ČSN 730580-1], kde jsou definovány výpočtové modely oblohy, ztráty světla při průchodu osvětlovacím otvorem a odražené složky

denního světla od venkovních i vnitřních ploch. Z grafických metod se používají diagramy označované Daniljukovy, Waldramovy, Kitlerovy nebo BRS protractory. U počítačových programů, kterými lze stanovit činitele  $D$  (%) nebo  $D_w$  (%) je problematická jejich průhlednost algoritmu výpočtu a též použití okrajových podmínek (vstupních dat).

Z důvodu časové náročnosti se výpočty činitelů  $D$  (%) uvnitř budov dnes provádí téměř výlučně ověřenými počítačovým programy (např. WDLS).

Výpočet vliv stínění činitelem  $D_w$  (%) je možno realizovat grafickou metodou, autorem textu vhodně upraveným Waldramovým diagramem viz obr.1 nebo programem WDLS.



Obr. 1 příklad použití upraveného Waldramova diagramu stanovení  $D_w$  (%).

**Odborný posudek denního osvětlení staveb nebo stínění denního osvětlení okolních staveb zpracovaný oprávněnou osobou musí specifikovat požadavky na osvětlení tříděné podle jednotlivých prostorů budovy, musí obsahovat alespoň výsledky výpočtů a musí jednoznačně stanovit vyhovující nebo nevyhovující stav s odkazem na možná řešení.**

#### REFERENCE

- [1] Vyhláška MMR č.268/2009Sb O technických požadavcích na stavby.
- [2] ČSN 73 4301:2004 Obytné budovy + Z1:2005
- [3] ČSN 73 0581:2009 Oslunění budov a venkovních prostor.
- [4] ČSN 730580-1:2007 Denní osvětlení budov - základní požadavky, - 2-obytné budovy:2007, -3-školy:1994 + Z1:1996 + Z2:1996, -4-průmyslové budovy::1994 + Z1:1996 +Z2:1999
- [5] ČSN EN 12464-1:2004 Světlo a osvětlení, vnitřní pracovní prostory + Z1:2005
- [6] ČSN 36 0020:2007 Sdružené osvětlení.
- [7] ČSN EN 12193:2008 Světlo a osvětlení, osvětlení sportovišť.
- [8] ČSN EN 1838:2005 Světlo a osvětlení, nouzové osvětlení, ČSN EN 50172:2005 Systémy nouzového únikového osvětlení.
- [9] ČSN EN 12665:2003 Světlo a osvětlení, základní termíny a kritéria pro stanovení požadavků ...
- [10] NV č.361/2007Sb, kterým se stanoví podmínky ochrany zdraví při práci.
- [11] V MZ č.410/2005Sb a č.343/2009Sb, o hygienických požadavcích na prostory a provoz ... pro výchovu a vzdělávání dětí a mladistvých.

**Author:** ing. Petr Klvač, Czech Republic, [www.klvac-lighting.eu](http://www.klvac-lighting.eu),  
e-mail: [klvac.lighting@iol.cz](mailto:klvac.lighting@iol.cz)

## Revize evropských norem pro osvětlování a terminologii

**Abstract.** Příspěvek poskytuje základní informace o poslední revizi evropských norem EN 12665:2011 Světlo a osvětlení – Základní termíny a kritéria pro stanovení požadavků na osvětlení a EN 12464:2011 Světlo a osvětlení – osvětlení pracovních prostorů – Část 1: Vnitřní pracovní prostory

*This contribution gives the main information about the last revision of two European norms: EN 12665:2011 Light and lighting - Basic terms and criteria for specifying lighting requirements and EN 12464-1:2011 Light and Lighting – Lighting of work places – Part 1: Indoor work places*

**Keywords:** lighting terminology, european standard for lighting

**Klíčová slova:** terminologie v osvětlování, evropské normy pro osvětlení

### Úvod

Česká republika je od roku 1998 členem Evropského výboru pro normalizaci (CEN) a Evropského výboru pro normalizaci v elektrotechnice (CENELEC). Spoluprací s oběma těmito částmi evropské normalizace je v současné době pověřen Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví (ÚNMZ), který při této činnosti využívá doporučení technických normalizačních komisí (TNK), složených z dobrovolných odborníků v jednotlivých oborech techniky. Od vstupu České republiky do Evropského výboru pro normalizaci CEN bylo do soustavy českých technických norem ČSN převzato již mnoho evropských norem (EN), a to jak překladem, tak k přímému používání v původním anglickém jazyku.

Oblastí osvětlování se zabývá komise CEN/TC 169 Světlo a osvětlení. Činnost této evropské komise sleduje v ČR TNK 76 Osvětlení, která připravuje pro ÚNMZ stanoviska k připravovaným evropským normám, navrhuje způsob jejich přejímání a připomínkuje jejich překlady.

V tomto příspěvku bude věnována pozornost revidovanému vydání dvou důležitých norem pro osvětlování: EN 12665:2011 Light and lighting – Basic terms and criteria for specifying lighting requirements (Světlo a osvětlení – Základní termíny a kritéria pro stanovení požadavků na osvětlení) a EN 12464-1:2011 Light and Lighting – Lighting of work places – Part 1: Indoor work places (Světlo a osvětlení – Osvětlení pracovních prostorů – Část 1: Vnitřní pracovní prostory). Obě tyto revidované EN byly schváleny ve druhém čtvrtletí t. r. Jejich české ekvivalenty mají být připraveny do konce t. r.

### EN 12665 (2011)

Již první vydání této EN v r. 2002 (a příslušné ČSN EN v ČR v r. 2003) bylo pro domácí osvětlovací techniku přínosem, neboť byla využívána mnoha techniky, kteří do tohoto oboru vstoupili z jiných profesí. Česká verze EN je zatím ve stadiu pracovního překladu k dispozici členům TNK 76 a dalším účastníkům připomínkového řízení.

Revidované vydání má mnohem ambicióznější cíl, o čemž svědčí deklarované technické změny oproti prvnímu vydání:

- EN 12665 (2011) byla vypracována na základě mandátu uděleného CEN/CENELEC/ETSI Evropskou komisí a Evropským sdružením volného obchodu a podporuje splnění základních požadavků EU směrnice 2008/57/EC. Vztah k základním požadavkům uvedené směrnice je obsažen v informativní příloze ZA, která je její nedílnou částí.
- Zařazení chybějících termínů shromážděných z EN 1837, EN 1838, EN 12193, EN 12464-1, EN 12464-2, EN 13032-1, EN 13032-2 a EN 15193.
- Významná změna mezi EN 12665:2002 a EN 12665:2011 je v předmětu dokumentu. EN 12665:2002 definovala základní termíny k jejich užití v osvětlování a

speciální termíny s omezeným použitím byly definovány v jednotlivých standardech. V praxi to vedlo k použití stejné terminologie při definování různých pojmů a naopak odlišné termíny se používaly k popisu stejných pojmů. EN 12665:2011 tudíž definuje základní termíny a uvádí definice pro všechna užití v osvětlování. Kromě toho byly aktualizovány některé reference.

Všechny výše uvedené evropské normy byly převzaty do soustavy ČSN překladem, to znamená, že jsou k dispozici české ekvivalenty označené jako ČSN EN. Zmíněný záměr obsažený v předmluvě revidované EN 12665 se projevil ve významných změnách této normy: počet termínů se zvětšil z původních asi 110 na současných více než 220.

Největší rozšíření názvosloví z 20 na téměř 100 se projevilo v kapitole Osvětlovací soustavy v důsledku zavedení mnoha termínů z EN 15193 Energetická náročnost budov – Energetické požadavky na osvětlení. V této kapitole se objevily také další termíny z osvětlování pozemních komunikací a tunelů, např. příjezdové pásmo (access zone), vstupní pásmo (entrance zone), vozovka (carriageway), projektová rychlost (design speed) a mnohé další.

Obdobně byla rozšířena kapitola Světlo a barva např. o jasový součinitel osvětlení (contrast revealing coefficient), který je definován jako poměr jasu povrchu vozovky (L) a svislé osvětlenosti ( $E_v$ ) v tomto bodu, jas čelního skla vozidla (windscreen luminance) apod.

V kapitole Osvětlovací zařízení jde např. o tyto nové termíny: měrný výkon světelného zdroje s předřadníkem (circuit luminous efficacy of a source), chladný bod (cold spot), kód světelného zdroje (svítidla) (lamp (luminaire) code), měrný výkon svítidla (luminaire luminous efficacy), jmenovitý příkon (světelného) zdroje (nominal lamp wattage) apod. Při zpracovávání této kapitoly je nutná spolupráce s TNK 67, aby pro stejné předměty a charakteristiky v normách pro světelné zdroje, svítidla a jejich příslušenství byly použity ekvivalentní termíny a definice.

V kapitole Denní osvětlení je třeba si povšimnout např. termínů světelné clony (žaluzie) (daylight screens (daylight louvres)), sluneční clony (sun-tight screens), které se týkají úpravy denního světla ve vjezdových úsecích do tunelu.

Mnoho termínů v normě je převzato z Mezinárodního světelnotechnického slovníku CIE 17.4:1987, který byl v ČR publikován jako ČSN IEC 50(845) v r. 1996. V tomto případě jsou termíny i definice ekvivalentní.

Uspořádání hesel odpovídá spíše tradici, tj. nemá jasné věcné třídění, takže vyhledávání usnadňuje uspořádání do kapitol, desetinné číslování a podrobný abecední rejstřík v Příloze B. Norma také obsahuje bibliografii s přehledem souvisejících evropských a mezinárodních norem a publikací Mezinárodní komise pro osvětlování CIE.

Je třeba konstatovat, že schválená EN 12665 (2011) je pro účely osvětlování podstatně kompletnější a obsahuje vedle teoretických hesel také mnoho termínů z osvětlovací praxe a reaguje tak na vývoj osvětlovací techniky a názorů na osvětlování v hlavních oblastech lidské činnosti. Její důležitost vyžaduje pečlivé zpracování českého ekvivalentu. Zejména je třeba ve spolupráci se zpracovateli zmíněných navazujících českých technických norem zajistit dodržení již zavedených termínů a vhodně navrhnout české ekvivalenty nových termínů vyskytujících se v revidované EN 12665.

### EN 12464-1 (2011)

První vydání této evropské normy pro osvětlování vnitřních prostorů z r. 2002 bylo do soustavy ČSN převzato v překladu v r. 2004 jako ČSN EN 12464-1. Při této příležitosti bylo nutné zrušit několik ČSN, především ČSN 36 0450 a ČSN 36 0451 z r. 1986 a některé normy ještě starší, v nichž byla problematika osvětlení vnitřních prostorů rozptýlena. Tyto údaje dobře charakterizují situaci těsně před skončením socialismu a krátce po nástupu nového politického systému. Čeští a později i slovenští pracovníci v technických oborech museli přes výhrady k evropskému přístupu řešení normalizace uznat, že nadnárodní přístup ke zpracování technických norem má nesporné přednosti.

Domácí výzkumné a normalizační kapacity v technických oborech byly při zběsilé privatizaci téměř zrušeny. Zůstali v podstatě jen odborníci, kteří si často museli hledat nové zaměstnání, a někteří z nich zůstali v technických normalizačních komisích. Ti se prostřednictvím Českého normalizačního institutu (ČNI) a po jeho zrušení v r. 2008 prostřednictvím ÚNMZ mohou podílet na tvorbě evropských norem jejich připomínkami a zaváděním do ČSN. Díky tomu je v ČR k dispozici poměrně ucelený soubor norem a revidované zdokonalené znění EN 12464-1 pro osvětlování vnitřních prostorů.

Hlavní věcné změny revidovaného znění normy podle předmluvy ke schválenému vydání:

- je uvažována důležitost denního osvětlení; požadavky na osvětlení jsou všeobecně použitelné nezávisle na tom, je-li poskytováno umělým nebo denním osvětlením nebo jejich kombinací,
- jsou specifikovány požadavky na minimální osvětlenost stropů a stěn,
- je specifikována válcová osvětlenost a detailní informace o podání tvaru (modelaci),
- rovnoměrnost osvětlení je přiřazena zrakovým úkolům a činnostem,
- je definováno pozadí a specifikováno jeho osvětlení,
- je definována síť kontrolních bodů podle EN 12464-2,
- jsou uvedeny nové limity jasů svítidel používaných u zobrazovacích zařízení (Display Screen Equipment – DSE) podle ISO 9214-307.

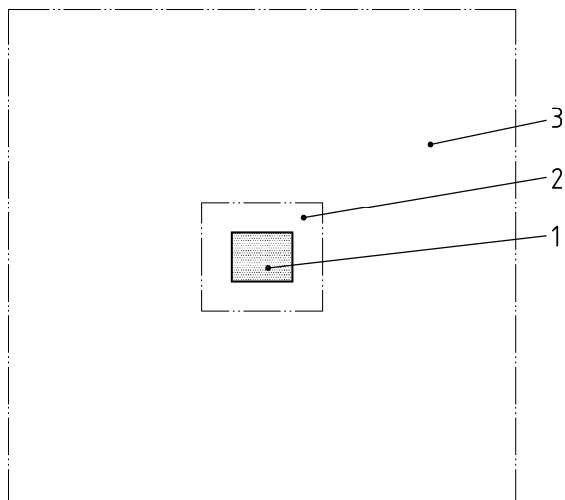
Všechna tato technická zdokonalení normy jistě čeští světelní technici přivítají. Právě jejich absence přivedla skupinu odborníků k vypracování a doplnění ČSN EN 12464-1 z r. 2004 Národní přílohou NA v r. 2005. Zdá se, že po převzetí revidované EN bude moci být tato národní příloha zavedená Změnou Z1 zrušena.

Počet taxativně vyjmenovaných činností a prostorů v tabulkách v kapitole 5 (dříve asi 270) byl zvětšen jen asi o 20. Zatímco jejich číslování a uspořádání je logičtější. Čísla 5.1 až 5.53 vyznačují, že jde o 53 skupin prostorů a činností.

V záhlaví tabulek, jak již bylo dříve uvedeno, přibyl jeden sloupec s rovnoměrností osvětlení  $U_0$  rovnou poměru minimální osvětlenosti na dané ploše k její průměrné hodnotě.

Samozřejmě byl s ohledem na vývoj evropské normalizace doplněn a upraven seznam normativních odkazů.

S ohledem na rozšíření terminologické normy EN 12665 a s upřesněním struktury zorného pole v okolí zrakového úkolu (viz obr. 1) byla upravena kapitola Termíny a definice.



Obr. 1. Minimální rozměry bezprostředního okolí a pozadí úkolu ve vztahu k místu zrakového úkolu, 1 – místo zrakového úkolu, 2 – bezprostřední okolí zrakového úkolu (pás aspoň 0,5 m kolem místa zrakového úkolu uvnitř zorného pole), 3 – pozadí zrakového úkolu (aspoň 3 m široká přilehlá plocha k bezprostřednímu úkolu v mezích prostoru)

Rovněž je třeba upozornit na zmíněnou úpravu limitů jasů svítidel v místnostech s různými typy obrazovek. Stínítka obrazovek se podle této úpravy rozdělují na *Třída A* s pozitivním zobrazením a *Třída B* s negativním zobrazením; v obou případech se rozlišují stínítka s jasem větším než  $200 \text{ cd}\cdot\text{m}^{-2}$  a menším než  $200 \text{ cd}\cdot\text{m}^{-2}$  s odvoláním na EN ISO 9241-302. Limity jasů svítidel jsou od 1 000 do 3 000  $\text{cd}\cdot\text{m}^{-2}$ , což zřejmě s ohledem na zlepšování zobrazení značně převyšuje limity 200 a 1 000  $\text{cd}\cdot\text{m}^{-2}$  uvedené v předchozím vydání EN 12464-1:2002.

### Závěr

Krátká charakteristika dvou důležitých evropských norem ukazuje, že komise CEN/TC 169 a její pracovní skupiny jsou aktivní a poskytují členům Evropského výboru pro normalizaci průběžnou aktualizaci norem pro osvětlení. O významu těchto norem svědčí zvětšování počtu členů této organizace i o účastníky mimo EU.

Obě normy jsou důležité pro projektanty, provozovatele, investory i kontrolní orgány v oboru osvětlení. Bez ohledu na to, že nejsou obecně právně závazné, kromě případů, kdy jejich závaznost je vymezena právními předpisy, jejich význam roste a jejich použití se rozšiřuje.

Sjednocují odborné názory a umožňují účast projektantů a dodavatelů v mezinárodních soutěžích, v nichž mohou posloužit jako jedno z kritérií hodnocení předložených projektů a dodávek. Obecně mohou být použity jako součást požadavků při uzavírání dodavatelských smluv.

### Autor

Ing. Jiří Novotný, redakce časopisu SVĚTLO  
 FCC Public s. r. o.  
 Pod Vodárenskou věží 4  
 182 08 Praha 8  
 tel.: +420 286 583 011, -12  
 mobil: 603 809 056  
 e-mail: svetlo@fccgroup.cz  
 http://www.svetlo.info

## Inteligentní řešení Střední školy a gastronomie

**Abstrakt:** Zadáním investora, v tomto případě školy, bylo úsporné, jednoduché, efektivní a moderní řešení rekonstrukce školy. Byl použit inteligentní systém ovládání osvětlení – kombinace senzoru denního osvětlení a senzoru pohybu osob

**Klíčová slova:** Senzor pohybu, senzor denního osvětlení, řídicí jednotka SenzaModular

### Úvod

V dnešní době potřeb snižování nákladů a energií je při projektování na tyto aspekty kladen vysoký důraz. I proto investoři, popř. zákazníci je potřeba ukázat investice z dlouhodobého hlediska. Tímto článkem bych rád představil realizaci inteligentního řešení řízení osvětlení na střední škole.

### Zadání

Problematika osvětlování škol je popsána v normě ČSN EN 12464-1, nicméně kromě vyhovění normě je potřeba vyhovět také konformitě ovládání.

Proto byla volena kombinace multisenzoru a senzoru pro denní světlo.

Multisenzor obecně je možno užít jako pohybový senzor, senzor hlídání hladiny osvětlenosti nebo slouží k ovládání pomocí RF/IR dálkového ovládače. Funkce denního senzoru je zjednodušená taková, že vysílá signál do řídicí jednotky a upravuje osvětlenost na základě denního světla.

Celý osvětlovací systém v učebnách takto zabraňuje zbytečnému svícení bez přítomnosti osob, zabraňuje zbytečnému přisvětlování při dostatečném denním osvětlení a v kombinaci s vysoceúčinnými svítidly tak maximálně šetří elektrickou energii, opotřebení svítidel a tedy je i neekologičtější.

### Jednoduchá regulace osvětlení SensaModular

SensaModular je portfoliem produktů k ovládání osvětlení pro aplikace v samostatných místnostech. Modulární koncepce umožňuje zákazníkovi vytvořit řadu komponentů



Obr. 1: Čidlo přítomnosti denního světla  
Light 2011, Prague, Czech Republic

přesně uzpůsobených jeho potřebám:

- Uživatelé si mohou volit moduly pro vytváření scén osvětlení umožňující napojení na denní světlo s integrací detekce přítomnosti osob, přepínání nastavení scén a ovládání pomocí ručního infračerveného dálkového ovládače
- Až ke třem skupinám stmívatelných svítidel se přes řídicí jednotku zapojí pouze potřebné komponenty

Pro spojení s denním světlem se instaluje jedno čidlo s fotobuňkou na strop a nasměruje se k oknu, aby registrovalo přichozí denní světlo. V případě světlíků – popř. v konkrétním případě montáže na lištový systém, se denní čidlo nasměrovalo kolmo na světlík.

Přednosti:

- Vizuální a fyzické narušení stropu je minimální, k registru toku denního světla je potřeba pouze jedno čidlo až pro řízení 3 skupin svítidel
- Jelikož se registrují pouze údaje o denním světle, měření jasu jsou přesná, což maximalizuje možnost zvýšení úspor
- Ideální aplikace s řadami svítidel, kde výška stropu přesahuje 3m nebo tam, kde není potřeba zónové zapojení s přítomností osob, např. v učebnách a průmyslových nebo sportovních halách

### Multisenzor

Multi-senzor pro spojení s detekcí přítomnosti osob a denním světlem a integrace ručních infračervených dálkových ovládačů.

Funkce detekce přítomnosti osob přes pasivní infračervené čidlo, kruhová detekce má ve výšce stropu 2,5 (3)m průměr 6 (7) m pro sedící osoby a průměr 7 (9) m pro osoby v pohybu. Spojení s denním světlem se provádí pomocí čidla směřujícího dolů na pracoviště, které měří denní světlo i umělé světlo odražené od pracoviště. Je připojeno a napájeno centrální řídicí jednotkou s využitím dvou vodičů (nezáleží na polaritě) a standardních instalačních materiálů odpovídajících požadavkům napájecí sítě.

Buď polozapuštěné do jedné stropní instalační Euro krabice, průměr 60mm, přisazené na strop, nebo plně vestavěné do zavěšeného podhledového stropu (průměr výřezu 92mm) s dodanými doplňkovými kroužky, montážní výška max 3m.

Zapojení se provádí bezšroubovými zástrčnými svorkami. Zelená stavová dioda LED za čočkami pro indikační účely.

Těleso vyrobeno z polykarbonátu se sníženou hořlavostí v bílé barvě (RAL 9003), čočky vyrobeny z polyethylenu s vysokou hustotou, žádný z prvků neobsahuje halogeny. Krytí IP40, teplota okolí 0 až 50°C. Hmotnost 50g.



Obr. 2: Multisenzor

### Možné úspory energie

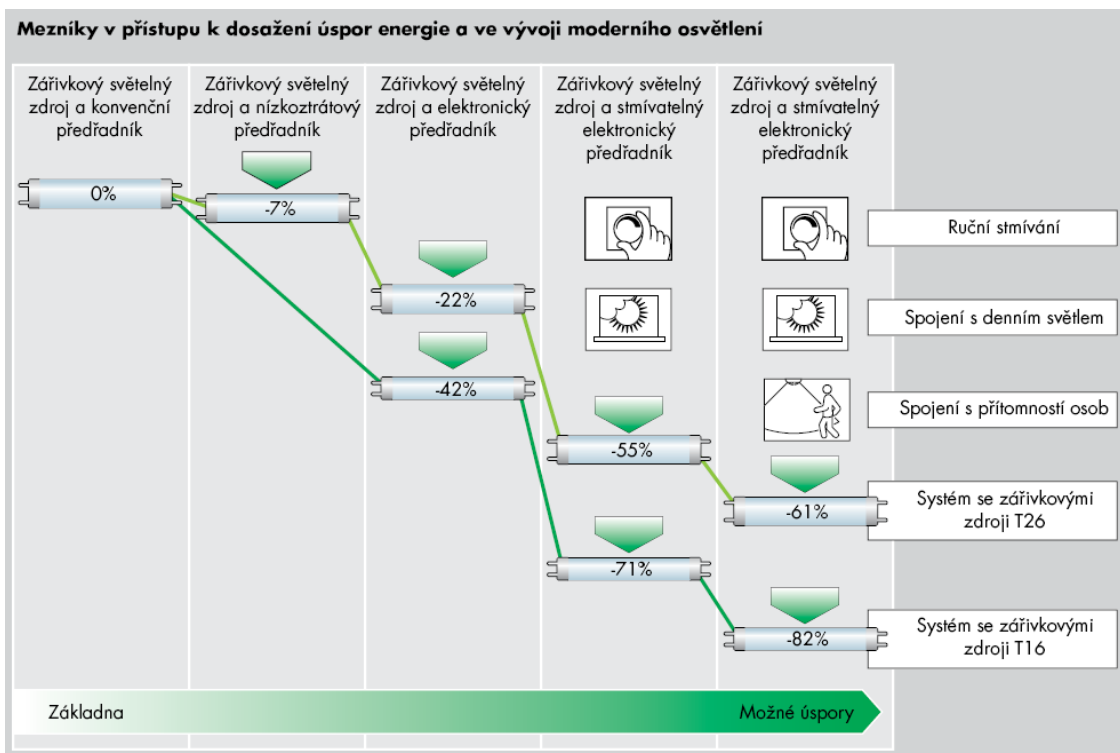
Úsporou energie poskytujeme větší protihodnotu a současně šetříme globální zdroje. Níže uvedené schéma zdůrazňuje úspory energií při použití elektronických a stmívatelných předřadníků.

### Konkrétní zapojení v učebně

Die výše popsané teorie byla čidla rozmístěna do každé učebny. Konkrétní zapojení je přehledně na obr. 4.

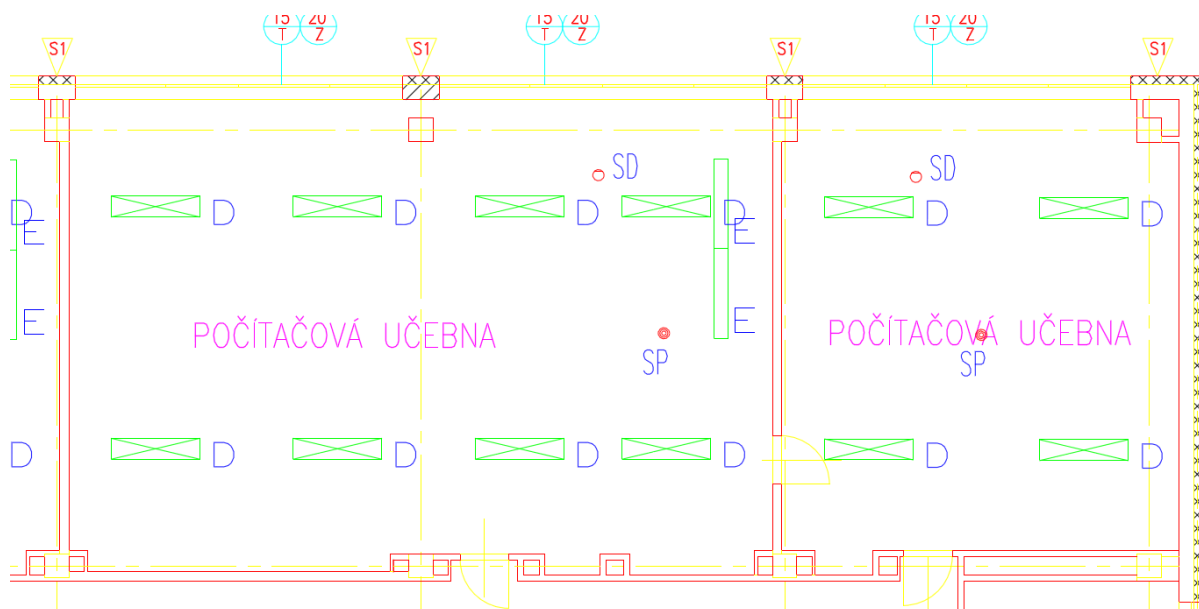
Senzor denního světla je nasměrován do okna a multisenzor je směřován ke školní katedře.

Je počítáno s tím, že celý systém bude stále v automatickém režimu. V případě manuální potřeby změny intenzity bude umístěno tlačítko, kterým bude možno kdykoli měnit intenzitu jednotlivých řad popř. Osvětlení vypnout a zpětně zapnout.



Obr. 3: Tabulka úspor energie





Obr. 4: Zapojení v učebnách: SP pohyový senzor, SD denní senzor

## Návratnost

Po kalkulacích pořizovacích nákladů a provozních nákladů konvenčního použití osvětlování v porovnání s moderním inteligentním výše uvedeným ovládním a dále s přihlédnutím na úspory, variabilitu a výměny zdrojů, životnosti, se návratnost pohybuje do tří let užívání ve škole. Další používání již šetří energie, náklady na údržbu, ekologii a celkově peníze.

**Autor:** Ing. Aleš Kaňa, Thornlighting, spol. s r.o., Záměstní 1240/41  
710 00 Ostrava, e-mail: [ales.kana@thornlighting.cz](mailto:ales.kana@thornlighting.cz)



## Kompensace rušivého světla

**Abstrakt:** V případě, že je v nějaké lokalitě nezbytně nutné realizovat osvětlovací soustavu, která zvýší (významněji) míru nežádoucích účinků světla, pak je možné na jiných místech snížit světelnou zátěž úpravou jiné osvětlovací soustavy. Ve výsledku tak lze dokonce snížit celkovou zátěž v dané lokalitě. V přednášce bude uveden i konkrétní případ večerního osvětlení sjezdovky v blízkosti astronomické observatoře.

**Klíčová slova:** rušivé světlo, kompenzace,

Existují případy, kdy je žádoucí použít osvětlovací soustavu, která není právě nejšetrnější k nočnímu prostředí. Například v historických centrech měst je požadavek na osvětlení průčelí významných staveb. Použijí se svítidla, která vyzařují část světelného toku do horního poloprostoru. Případně světlomety, které mohou do horního poloprostoru vyzařovat značný světelný tok. Ač to zní absurdně, takové situace je možné využít ke snížení ekologické zátěže.

Je totiž možné kompenzovat nepříznivé působení nějaké soustavy tím, že se jinde zátěž nočního prostředí sníží. Ve výsledku bude množství světla vyzářeného k obloze menší než před zřízením oné „neekologické“ osvětlovací soustavy. Nebo nanejvýš stejné.

Kompenzovat lze výměnou svítidel, snížením sv. toku zdroje (pokud to připouští konstrukce svítidla a normy – snížení osvětlenosti nebo jasu komunikace). Možné je i zavedení regulace osvětlovací soustavy.

Pokud bude v nějaké oblasti vyzářen směrem k obloze světelný tok o velikosti  $\Phi_O$  (přímo i odrazem od okolního terénu, staveb, stromoví apod.) a „škodlivá“ osvětlovací soustava světelný tok  $\Phi_S$ , pak se nabízí řešit tuto situaci odebráním (přínejmenším) stejného množství nežádoucího světla jinde. Pokud bude kompenzační světelný tok  $\Phi_K$  dokonce vyšší než „škodlivý“, pak se zátěž nočního prostředí sníží oproti původnímu stavu. To lze vyjádřit poměrným číslem popisujícím změnu stavu. Je možné je nazvat poměrnou světelnou zátěží nočního prostředí  $f_E$ :

$$(1) \quad f_E = \frac{\Phi_O + \Phi_S - \Phi_K}{\Phi_O}$$

Bude-li  $f_E$  menší než jedna, pak je noční prostředí zatíženo méně, než bylo před realizací „škodlivé“ a kompenzační soustavy.

Stanovit velikost původní zátěže nočního prostředí je velmi obtížné, spíše nemožné. Snad by to bylo možné ve velmi řídké obydlených (skrovně osvětlených) oblastech. Nabízí se tedy porovnání „škodlivého“ a kompenzačního světelného toku. Dovolil jsem si toto porovnání vyjádřit následujícím vztahem, kde jsem zavedl *činitel kompenzace*  $f_{SK}$

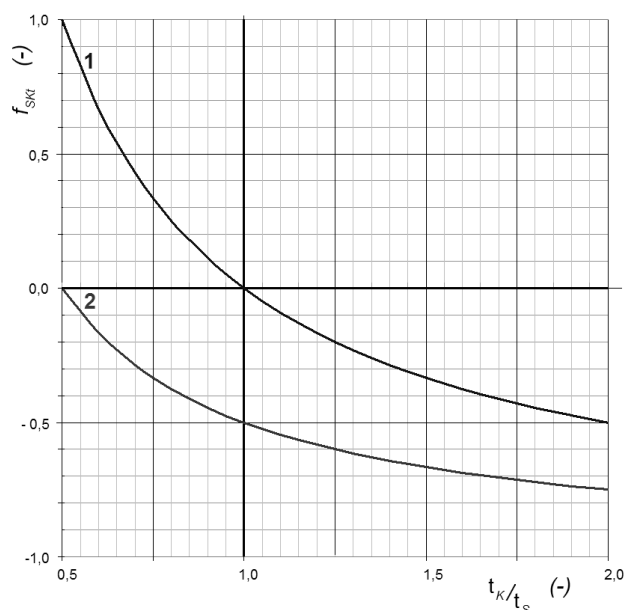
$$(2) \quad f_{SK} = \frac{\Phi_S}{\Phi_K} - 1$$

Bude-li  $f_{SK}$  záporné, pak je noční prostředí zatíženo méně, než bylo před realizací „škodlivé“ a kompenzační soustavy. Není vyloučeno, že každá z uvedených soustav bude působit po různou dobu. „Škodlivá“ může být v provozu ve večerních hodinách (osvětlení hradu nebo lyžařské sjezdovky) po dobu  $t_S$ , kompenzační celou noc, nebo v pozdních hodinách (noční regulace méně frekventované komunikace na nižší stupeň), případně i v jinou roční dobu

– celkem po dobu  $t_K$ . Vztah pro *časový činitel kompenzace* (s respektováním času) lze zapsat takto:

$$(3) \quad f_{SKt} = \frac{\Phi_S \cdot t_S}{\Phi_K \cdot t_K} - 1$$

Na obrázku 1 je uveden průběh činitele pro dva případy poměru kompenzačního a světelného toku. Je zřejmé, že v případě shodné velikosti obou toků dojde k vyrovnání účinků, a tedy kompenzaci, tehdy, když budou obě soustavy provozovány shodně dlouhou dobu. Pokud bude kompenzační tok dvojnásobný, tak se vyrovnání dosáhne za poloviční dobu jeho provozu. Bude-li ve druhém případě provoz obou soustav shodný, tak bude velikost časového činitele kompenzace  $-0,5$ , dojde ke snížení zátěže nočního prostředí.



Obr. 1. časový činitel kompenzace; 1 – kompenzační je shodný se „škodlivým“ světelným tokem; 2 – kompenzační světelný tok je dvojnásobek „škodlivého“

Z grafu i ze vztahu (3) je zřejmé, že ke kompenzaci dojde, pokud bude součin světelného toku a provozu jednotlivých soustav shodný. Pak bude hodnota časového činitele kompenzace rovna nule.

Lehce lze ze vztahu (3) určit minimální přípustnou velikost kompenzačního světelného toku  $\Phi_{Kmin}$ :

$$(4) \quad \Phi_{Kmin} = \frac{\Phi_S}{f_{SK} + 1} \cdot \frac{t_S}{t_K}$$

Je tedy možné určit velikost kompenzačního světelného toku podle požadované ochrany. Pro pouhou eliminaci nežádoucích účinků bude  $f_{SKt} = 0$ . Pokud je požadavek na kompenzaci zátěže na polovinu, pak bude  $f_{SKt} = -0,5$ . A vztah (4) lze přepsat:

$$(4a) \quad \Phi_{K \min} = 2 \cdot \Phi_S \cdot \frac{t_S}{t_K}$$

Zanechejme teorie; v dalších řádcích se věnuji praktickému příkladu.

V horské oblasti může vzniknout požadavek na večerní provoz lyžařské sjezdovky v blízkosti nějaké chráněné oblasti. Dejme tomu – hvězdárny. Je velice pravděpodobné, že dojde se střetu zájmů. Sotva lze najít rozporuplnější požadavky než obce lyžařů versus astronomů. Přesto, jak se ukáže, by měli hvězdáři jásat. To za předpokladu, že se obě strany budou chtít dohodnout.

Je možné se dohodnout na tom, že večerní osvětlení sjezdovky bude provozováno pouze v určité dny a samozřejmě i hodiny. Dejme tomu, že to bude čtyři dny v týdnu do deváté večerní. A samozřejmě v období, kdy je dostatek sněhu. Ani tak není vymezena doba „škodlivosti“ osvětlení. Je třeba ji ještě redukovat na období, kdy je možné pozorovat hvězdné nebe. Na dny s jasnou (nezataženou) oblohou. A to ještě v době kdy je Slunko dostatečně hluboko pod obzorem.

Není bez zajímavosti, že existují tři druhy soumraků, což je doba před východem a také po západu Slunce, kdy je povrch Země v místě pozorování osvětlován slunečním světlem rozptýleným ve vyšších vrstvách atmosféry. Je-li střed Slunce šest stupňů pod ideálním obzorem, tak končí (nastává) občanský soumrak. Při něm lze ještě vykonávat jednoduché práce bez nutnosti svítit. Nautický soumrak znamená, že jsou pozorovatelné jasnější hvězdy (je-li jasno), ztrácí se obzor a jsou vidět jen obrysy velkých předmětů. Střed Slunce je dvanáct stupňů pod ideálním obzorem. Nautickým se nazývá tento soumrak proto, že se v té době rozsvěcela poziční světla na lodích. Když Slunce klesne o dalších šest stupňů, tak končí (začíná) astronomický soumrak. To již sluneční světlo neruší hvězdářská pozorování.

Jak z předešlého plyne, je skutečná doba, kdy by osvětlení sjezdovky narušovalo astronomická pozorování, značně omezena. Tak například na Kletci je za rok průměrně 96,5 jasných nocí. To jsou noci, kdy je o deváté večerní obloha zakryta mraky na méně než dvaceti procentech plochy (to je poměrně dost, zcela jasných bude podstatně méně). V přepočtu na noční dobu vymezenou astronomickým soumrakem je to 681 hodin ročně.

Není složité ani určit průměrnou dobu, kdy by bylo v době jasných astronomických nocí provozováno večerní osvětlení sjezdovky. Překvapivě takových hodin není za rok mnoho. Pouze 48,5 hodiny. To je jen 7,1% celkového hvězdářsky využitelného času. Ještě menší procento nepříznivého působení sjezdovky by bylo v případě, že by se doba pozorování rozšířila i na nautickou noc. Pak je totiž za rok téměř 860 hodin a necelých 59 hodin by byla v provozu sjezdovka. V procentech to je 6,8%.

Kdybych byl škodolibý, tak bych teď utrousil poznámku, že díky globálnímu oteplování se počet hodin příznivých pro lyžování ještě zkrátí. Překvapivě však poslední zimy nehodlaly z Kletci odejít. Ale zůstanu u množství hodin určených pro dosavadní průměrné zimy a vrátím se k počtům. Podle vztahu (4) bude pro vyrovnání účinku osvětlení sjezdovky potřebné kompenzovat světelný tok o velikosti:

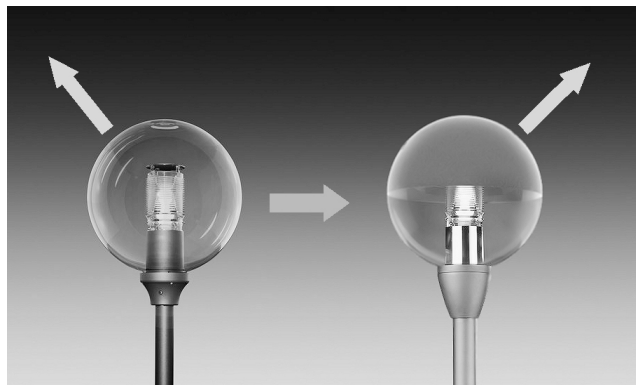
$$\Phi_{K \min} = \frac{\Phi_S}{0+1} \cdot \frac{48,5}{681} = 0,0712 \Phi_S$$

nebo pro dvojnásobné snížení zátěže by bylo třeba kompenzovat přibližně 14% (0,1424) „škodlivého“ světelného toku. Jde o překvapivě nízká čísla.

Pokud by se přibližně sedmina světelného toku emitovaného do nevhodných směrů „ubrala“ někde jinde, pak je výsledkem celkové zlepšení pozorovacích podmínek. Krom toho je možné uzavřít dohodu o výjimečném zastavení provozu sjezdovky v případě očekávání nebo výskytu výjimečného úkazu na obloze.

Stanovení velikosti rušivého světla, tedy světla „škodlivého“, které je nutné kompenzovat, přesahuje rozsah tohoto příspěvku. Proto je na důvěře čtenáře, zda přijme za fakt moje prohlášení, že reálná hodnota pro sjezdovku o ploše cca šest hektarů je okolo 175 klm. To v případě, že je obklopena lesem, široká asi 50 metrů a osvětlená na předpisové minimum dvaceti luxů. Čtrnáct „kompenzačních“ procent je 25 klm.

V análech aktivistů [1] se lze dočíst, že považují za přijatelné zdroje světla, jejichž souhrnný světelný tok do horního poloprostoru v jednom světelném místě nepřekročí 2,25 klm. Světelným místem rozumí oblast kolem světelného zdroje o poloměru dvou metrů. S drzostí sobě vlastní jsem takový „zdroj světla“ označil za ekologický normál. A „dodefinoval“ jej jako svítidlo s kulovým difuzorem s fotometrickou plochou svítivosti symetrickou podle horizontály, tedy svítidlo, které vyzáruje i do dolního prostoru 2,25 klm. To zhruba odpovídá „kouli“ osazené 50 W vysokotlakou sodíkovou výbojkou. A opět požádám čtenáře o důvěru. Takové svítidlo, nacházející se v lesním zasněženém průseku, vyzáří k obloze 2,15 klm (něco se pohltí, něco odrazí). Pokud se provede úprava podle obr. 2, pak (stále mi důvěřujte) bude světelný tok k obloze 0,85 klm (jen 7 lm přímo). To znamená, že takto upravené svítidlo vyzáří k obloze o 1,3 klm méně než neupravené.



Obr.2. „Ekologický normál“ a jeho úprava pro potřeby kompenzace rušivých účinků osvětlení

Aby se kompenzoval nepříznivý účinek večerního osvětlení sjezdovky, tak postačí upravit 25/1,3 ~ 20 „ekologických normalů“. To jistě není nemožné. Taková úprava v důsledkulepší celoročně pozorovací podmínky na astronomické observatoři.

Podobně lze eliminovat nepříznivé účinky libovolné osvětlovací soustavy. Osvětlení hradu, kostela, parku...

#### LITERATURA

[1] [http://svetlo.astro.cz/zakon/v4\\_zo\\_s.html](http://svetlo.astro.cz/zakon/v4_zo_s.html)

**Autor:** Ing. Tomáš Maixner, Černolice 6, 252 10 p. Mníšek p.B., Czech Republic, e-mail: maixner@pivon.cz

## Indukční výbojové zdroje ve veřejném osvětlení

**Abstrakt:** V posledním období se objevila řada nekvalifikovaných prodejců světelné techniky zaměřená na LED. Další skupina se věnuje prodeji indukčních výbojových zdrojů. Uvádí nepravdivé nebo zkreslené údaje o jejich vlastnostech. V přednášce budou uvedeny na pravou míru. Často jsou zneužívány tzv. pupilační lumény, které dosahují pro světlo s vyšší barevnou teplotou vyšších hodnot než u klasických světelných zdrojů (především sodíkových výbojek). Význam však mají pouze při skotopickém vidění, případně částečně i mezopickém. Pozorovatel má při velmi nízkých adaptačních jasech pocit lepšího vidění a také některé funkce (rychlost reakce) se v takovém osvětlení zlepšují. Nelze to však považovat za důvod ke snížení úrovně osvětlení, protože požadavky současných norem jsou stále nižší než je optimální hodnota. Proto lze při nízkých jasech uvítat „bílé“ světlo jako prvek zvyšující bezpečnost pohybu po takto osvětlených komunikacích.

**Klíčová slova:** indukce, výbojové zdroje, veřejné osvětlení

### Úvod

Vynález indukčního výbojového zdroje se připisuje Nikolu Teslovi. Nejde tedy o žádnou novinku. Přední výrobci je mají ve svém výrobním programu jako doplněk, který má v určitých aplikacích své opodstatnění. Ovšem za poměrně specifických podmínek. Dlužno podotknout, že princip je sice starý, avšak provozuschopná výbojka se objevuje až v osmdesátých letech minulého století a výroba byla technologicky zvládnuta až v následujícím desetiletí. V posledním období však tento zdroj „objevili“ a naučili se vyrábět i asijsí výrobci. A podobně, jako je trh atakovaný nekvalitními svítidly LED, tak se objevují neřídce pokusy o uplatnění těchto světelných zdrojů. Nejen v průmyslovém osvětlování, ale i v osvětlení veřejném.



Obr.1. Indukční světelné zdroje (obchodně označované též LVD)

### Vlastnosti

Je zajímavé, že někteří výrobci tento světelný zdroj řadí mezi zářivky, jiní mezi výbojky (obojí – jak výbojka, tak i zářivka, jsou výbojové zdroje). Oblouk v popisovaných světelných zdrojích vzniká pomocí magnetické indukce. Vyzařuje v oblasti UV a do viditelné oblasti světla je záření transformováno podobnými luminofory jako u zářivek. Proto se tyto světelné zdroje vyznačují kvalitním barevným podáním, kdy je index barevného podání lepší než 80 a náhradní teplota chromatičnosti se může volit od teple bílé po denní (tedy v rozmezí 2 700 K až 6 500 K).

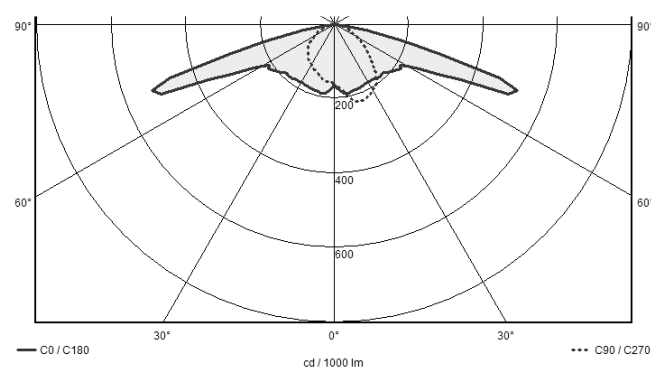
Díky tomu, že se jedná o bezelektrodovou konstrukci, dochází k opotřebení jen velice zvolna a pro tyto světelné zdroje je charakteristický poměrně dlouhý život. Ten se pohybuje na hranici šedesát tisíc hodin (v podání „netradičních“ prodáváčů je to sto tisíc). Ke kladům lze připočítat i rychlý zápal výboje. Rychlý je i opakovaný zápal

již teplého světelného zdroje po případném krátkodobém výpadku napájení. Běžné výbojky, pokud nejsou speciální konstrukce, musí napřed vychladnout.

Pro přehlednost uvádím vlastnosti indukčního světelného zdroje předního výrobce:

- Život 60 000 hodin (nižší než u zářivek s extrémní délkou života)
- Světelný tok po 10 000 hodinách 0,85
- Světelný tok po 20 000 hodinách 0,80
- Na konci života je pokles světelného toku do 30% (0,70; pro vysokotlakou sodíkovou výbojku je tato hodnota 0,92; kvalitní zářivky se pohybují na okolo 0,95)
- Rozsah pracovních teplot – 25÷45°C pro pokles sv. toku do 10%
- Světelný tok 6 200 lm pro zdroj o příkonu 70 W
- Světelný tok 12 000 lm pro zdroj o příkonu 150W
- Nelze je stmívat

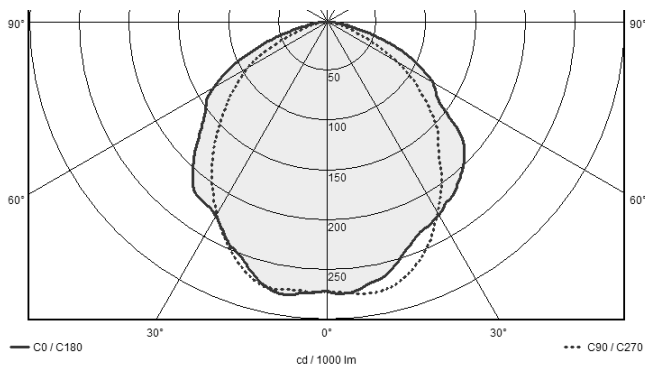
Nevýhodou těchto světelných zdrojů je jejich konstrukce. Jedná se o „potrubí“ poměrně velkého průměru (obr. 1). Tím je značně snížena možnost zpracovat světelný tok. Svítidla mají malou účinnost. Mnohem lépe se pracuje s klasickými výbojkami, které umožňují navrhovat odrazné plochy ve svítidle tak, aby dokonale směřovaly světlo do žádoucích míst. I zářivky umožňují lepší zpracování světelného toku, zejména v provedení T5.



Obr.2. Čáry svítivosti svítidla pro „klasickou“ výbojku

Na obr. 2 je uveden charakteristický tvar křivky svítivosti svítidla vhodného pro osvětlování komunikací. Na obr. 3 jsou fotometrické čáry svítidla s indukčním zdrojem. Dle prodáváče jde rovněž o svítidlo vhodné pro veřejné osvětlení. Z prostého porovnání křivek je zřejmé, že to druhé nebude vhodné pro osvětlování dlouhých úzkých pruhů jako jsou vozovky. Jde o téměř symetrické svítidlo, takže by mohlo najít uplatnění jedině při osvětlování velkých ploch (z relativně velkých výšek), jako jsou třeba parkoviště

nebo náměstí. Ale ani tam nejsou nejvhodnější, protože jejich účinnost není nejslavnější.



Obr.2. Čáry svítivosti svítidla pro indukční zdroj

V reklamních materiálech nekvalifikovaných prodáváčů se lze dočíst, že indukční zdroje mají vysoký měrný výkon (množství světla vyprodukované na jeden watt – 89 lm/W – pro 70W; pro 150W to je jen 80 lm/w). To není nijak výjimečná hodnota. Ke všemu měrný výkon sám o sobě nelze porovnávat bez toho, aby se vzal v úvahu úbytek světelného toku v průběhu života. Ten je u indukčních zdrojů již uvedených 70%. To znamená, že na konci života vystupuje ze zdroje světelný tok  $89 \times 0,7$  cca 62 lm/W. U zářivek, které mají měrný výkon přibližně 90 lm/W je úbytek pět procent; konečný měrný výkon je zhruba 85 lm/W. U sodíkových výbojek to je (pro 70W 6,6 klm) při úbytku 8% asi 87 lm/W. U všech zdrojů jsem zanedbal ztráty v předřadníku. Z uvedeného je zřejmé, že vysoký měrný výkon indukčních světelných zdrojů není zase až tak vysoký, že jej překonávají nejen vysokotlaké sodíkové výbojky, ale i zářivky. Halogenidové výbojky jsou srovnatelné. Vezmu-li v úvahu i nastupující světelné diody, tak ty mají již dnes vyšší měrný výkon i při respektování jejich předpokládaného stárnutí.

### „Bílé“ světlo

Ovšem tak snadno se podomní prodejci nevzdávají. Vyrukovali do boje s pupil lumeny. Je smutné, že se k nim přiřadili i některé společnosti doposud vystupující na trhu korektně. A nejen to, ve Velké Británii je dokonce přípustné při použití „bílého“ světla snížit úroveň osvětlení na komunikacích s třídou osvětlení S. Nevím, zda pro všechny – doufám že ne, připustil bych to pro S7 J. Všude jinde je to nehorázné ohrožení nejen na ztrátě či poškození majetku, ale i zdraví.

Poznámka pro ty, kteří nemají požadavky v malíčku – třída osvětlení S7 nemá žádné požadavky. Ani na hodnotu udržované osvětlenosti, ani na její minimální hodnotu. Považují existenci této třídy osvětlení za odvážný pokus bruselských úředníků o definici tmy.

Veškeré manipulace s pupil lumeny zneužívají skutečnost, že při skotopickém vidění je skutečně světlo s vysokou barevnou teplotou vnímáno jako více intenzivní. Je pravdou i to, že v této oblasti je také kratší reakční doba v případě, že je oko adaptováno na „bílou barvu“. To platí při velmi malých adaptačních jasech. Jakmile adaptační jas vzrůstá a vidění se pohybuje v oblasti mezopické, tak pozitivní účinky „bílého“ světla mizí. Je zřejmé, že vyšší citlivost je vázána na tyčinky; při vidění čípkou závislost na barevné teplotě světla (z)mizí. Při adaptačním jasu asi půl cd.m<sup>-2</sup> již nejsou v pocitu množství světla pozorovatelné rozdíly.

Z uvedeného plyne, že pro málo osvětlené oblasti má použití bílého světla určitý pozitivní přínos. Avšak rozhodně není důvodem pro snížení úrovně osvětlení, jak prodáváci

tvrdí. Není důvodem pro snížení příkonu osvětlovacích soustav. To proto, že současné úrovně osvětlení jsou zhruba na polovině optima, které je asi 4 cd.m<sup>-2</sup>. Dosažení těchto hodnot je zatím technicko-ekonomicky neúnosné (naději skýtá nástup LED). Budu-li vycházet z toho, že optimální hodnoty by měly být dvojnásobkem dnešních, tak je zřejmé, že „optimální minimum“ by bylo také (nejméně) na dvojnásobku současnosti. Tedy na polovině cd.m<sup>-2</sup>, v oblasti, kde již nepůsobí efekt „bílého“ světla. „Bílé“ světlo vylepšuje současný stav v oblasti nízkých jasů. V tom je jeho přínos a smysl. Je prvkem pro zvýšení bezpečnosti pohybu na takových komunikacích, ať už z hlediska zdraví nebo ochrany majetku.

Poznámka druhá – pupil lumeny je označení pro velikost světelného toku, která je měřena přístroji kalibrovanými podle V'(l), tedy podle křivky citlivosti lidského oka při skotopickém vidění (vidění tyčinkami). Běžně se však používají přístroje kalibrované pro fotopické (čípkové) vidění V(l). Hodí se ještě doplnění poznámky poznámkou, že v dnešní světě, podléhajícím environmentalismu, se objevuje na Slovensku až odvážná vyhláška [1], předbíhající dobu. V ní je pro měření rušivých účinků světla předepsáno, že se bude provádět přístroji určenými pro měření v oblasti fotopického vidění s poměrnou spektrální světelnou účinností V(λ).

### Porovnání osvětlovacích soustav

Zajímavé je porovnání osvětlovacích soustav výpočtem optimalizovaných na maximální rozteče, tedy minimální počet osvětlovacích prvků, minimální spotřeba a minimální provozní i investiční náklady. Výsledky jsou uvedeny v tabulkách 1a, 1b. Soustavy jsou navrženy pro dva představitele světelných tříd s malými nároky. Fotometrické údaje byly získány od prodáváčů svítidel pro indukční zdroje. Pro vysokotlaké sodíkové výbojky bylo v návrhu počítáno se svítidly předního výrobce. U indukčních zdrojů bylo limitní zajištění rovnoměrnosti. Např. pro CE5 by bylo možné při jejím zanedbání dosáhnout rozteče 24 m. Udržovací činitel pro indukční zdroje byl zvolen 0,63; pro sodíkové výbojky 0,8. Šířka komunikace 6 m a výška svítidel 8 m nad vozovkou.

„Tajemství“ výhodnosti svítidel s klasickou výbojkou spočívá v již popsané široké křivce svítivosti (viz obr. 2 a obr. 3).

Tab 1a. Porovnání pro třídu osvětlení ME6

Třída osvětlení	ME6	
	IZ 80W	VSV 70W
Světelný zdroj		
Rozteč (m)	28	36
Počet (ks/km)	36	28
Cena svítidla (Kč/ks)	2 167	3 500
Cena zdroje (Kč/ks)	2 708	173
<b>Investice</b>	<b>175 500</b>	<b>102 844</b>
Příkon (W) (IZ předřadník = 0 W???)	80	83
Doba provozu (hod/rok)	4 100	4 100
Spotřeba (kWh/rok/km)	11 808	9 528
Cena el. en. (2,80 Kč/kWh)	2,80	2,80
Náklady na energii (Kč/rok)	33 062	26 680
život (h)	60 000	20 000
Počet vyhořelých sv. zdrojů	2,5	5,7
Výměna zdrojů práce	200	200
Výměna zdrojů (Kč/rok)	7 154	2 141
Údržba 3% investic (Kč/rok)	5 265	3 085
<b>Provoz/rok</b>	<b>45 481</b>	<b>31 906</b>

**Tab 1b. Porovnání pro třídu osvětlení CE5**

Třída osvětlení	CE5	
	IZ 80W	VSV 70W
Světelný zdroj		
Rozteč (m)	21	42
Počet (ks/km)	48	24
Cena svítidla (Kč/ks)	2 167	3 500
Cena zdroje (Kč/ks)	2 708	173
<b>Investice</b>	<b>234 000</b>	<b>88 152</b>
Příkon (W) (IZ předřadník = 0 W???)	80	83
Doba provozu (hod/rok)	4 100	4 100
Spotřeba (kWh/rok/km)	15 744	8 167
Cena el. en. (2,80 Kč/kWh)	2,80	2,80
Náklady na energii (Kč/rok)	44 083	22 868
život (h)	60 000	20 000
Počet vyhořelých sv. zdrojů	3,3	4,9
Výměna zdrojů práce	200	200
Výměna zdrojů (Kč/rok)	9 538	1 835
Údržba 3% investic (Kč/rok)	7 020	2 645
<b>Provoz/rok</b>	<b>60 641</b>	<b>27 348</b>

Z tabulek je zjevná naprostá nevýhodnost indukčních zdrojů pro běžné situace. Soustavy s těmito zdroji jsou dražší. A to i přes to, že nebyly do výpočtu zahrnuty stožáry, jejich osazení, práce, které by cenu „indukce“ dále zvýšily. Soustavy s indukčními zdroji jsou také energeticky náročnější, uživatel musí vynaložit na úhradu vyšší finanční prostředky. Rovněž nemalé peníze vydá nešťastný majitel některé z uvedených osvětlovacích soustav i za výměnu světelných zdrojů „téměř nesmrtelných“ (i to se lze dočíst). Samozřejmě, že se jich vymění menší počet – třeba v případě ME6 je nutné vyměnit více než dvojnásobný počet klasických výbojek. Ovšem jejich cena je nesrovnatelně nižší. Ale i v případě, že jsem uvažoval s cenou práce 200 Kč, tak jsou roční náklady na výměnu méně než třetinové. Aby náklady na výměnu ospravedlnily vyšší provozní náklady, tak by cena práce vynaložené na výměnu jednoho zdroje musela být 4 350 Kč. Je pro mne nepředstavitelná situace, která by musela nastat, aby náklady dosáhly takové výše. Snad provazochodec překonávající mořskou úžinu mezi Charybdou a Scyllou ☺.

Aby byla nějaká investice výhodná, tak je nutné aby se zaplatila v průběhu několika let. V oblasti veřejného osvětlení lze za přijatelnou považovat dobu nejvýše osmi let. Například pro třídu osvětlení ME6, která je pro „indukci“ příznivější, to znamená, že provozní náklady by měly být nejméně o (175 500b - 102 844)/8 = 9 082 Kč nižší, než provozní náklady pro „klasiku“. Tedy přibližně 31 906 - 9 082 = 22 824 Kč. Ve slůtečnosti jsou zhruba dvakrát vyšší.

Pro třídu osvětlení CE5 jsou výsledky ještě výrazněji v neprospěch indukčních zdrojů.

Aby byla soustava s indukčními zdroji výhodná, tak by musela významně klesnout její pořizovací cena, zejména cena náhradních zdrojů. Naopak by musel být při výměně vyhořelých světelných zdrojů vysoký podíl velmi obtížné, tedy drahé, práce. Pak by snad bylo přijatelné to, že by stále byla energeticky náročnější.

## Ekologie

Nemohu ponechat stranou své oblíbené téma – ekologické aspekty osvětlování.

Prodávací indukčních světelných zdrojů píší, jak jsou příkladně ohleduplní k životnímu prostředí. Stačí však nahlédnout do tabulky 1 a je zřejmé, že skutečnost bude

poněkud jiná. Jen na kilometrovém úseku ulice osvětlované na stupeň osvětlení ME6 indukčními zdroji bude ročně prosvíceno nejméně o 2 280 kWh víc než v soustavě klasické. To je téměř o čtvrtinu vyšší spotřeba. Združňuji, že nejméně. Protože soustavu s vysokotlakými sodíkovými výbojkami lze regulovat, zatím co indukční soustavu regulovat nelze. Pak by to nebyla čtvrtina, ale docela dobře je možné, že by to byl nárůst spotřeby o polovinu i víc. U třídy CE by byl rozdíl ještě mnohem výraznější. Navíc se obávám, že údaj o spotřebě 80W se u indukčního zdroje vztahuje jen ke světelnému zdroji a nezahrnuje ztráty v napájecí části.

Zvýšená spotřeba elektrické energie znamená v důsledku zatížení životního prostředí. Nemám na mysli emise kyslíčnicku uhličitého, ale skutečné znečištění, které je relativně vysoké u tepelných elektráren, a téměř žádné u elektráren pseudoekology odmítaných, totiž jaderných.

Pokud jde o CO<sub>2</sub>, tak si dovoluji pronést kacířský názor, že jeho omezování je škodlivé, protože jde o významný plyn, který podporuje růst rostlin. A v současné době, kdy je výrazně omezena produkce obilovin na úkor žluté páchnoucí řepky, kdy je v Somálsku hladomor, tak je každý příspěvek ke zvýšení produkce vítán. Pokud však někdo v environmentalismus věří, tak pak má o jeden důvod víc než ostatní k odmítnutí indukčních zdrojů.

Samozřejmě, že i indukční světelné zdroje obsahují škodlivé látky, samozřejmě že obsahují i rtuť. V letáku prodejců se dočtete, že indukční zdroje používají „malgam“, rozuměj amalgám, v množství menším než čtvrt miligramu. Z toho pak dedukují, že množství rtuti je 0,1 mg a indukční zdroj je pak 1 050x šetrnější k životnímu prostředí než vysokotlaká sodíková výbojka. Dedukce je lehce krkolomná, protože, jak už je u nesolidních prodáváčů zvykem, srovnává nesrovnatelné. Hokynáři světlem tvrdí, že v sodíkové výbojce je 15 mg rtuti, skutečnost, pro srovnatelné příkony je asi třetinová ~5 mg. Další rozvaha pokračuje tím, že „indukce“ vydrží 100 000 hodin a „sodík“ pouze asi 14 000. Ani jedno není v pořádku. Samozřejmě, že i s korektními čísly bude „indukce“ vyhrávat. Připusťme, že má trojnásobnou životnost. Pak proti 0,1 mg stojí „sodíkových“ 3 x 5 = 15 mg, což je 150x víc (tedy sedmina hokynáři proklamovaného množství). Číslo vypadající děsivě. V důsledku by byl významný jen tehdy, kdyby se v nějaké malé lokalitě soustředil odpad z výbojek bez dalšího ošetření. Pokud se však lidé budou chovat ekologicky, teď myslím opravdu ekologicky, tak budou vyhořelé zdroje odevzdávat ke kvalifikované recyklaci, jak jim ostatně ukládá zákon. Z tohoto pohledu jsou úvahy o množství rtuti zbytečně nadhodnocené. Z pohledu ochrany životního prostředí je mnohem závažnější vysoká spotřeba elektrické energie v případě osvětlovacích soustav s indukčními zdroji.

Významnější je také nadvýroba, která je důsledkem případné realizace opěvované soustavy. Z tabulky je zřejmé, že i pro nejméně nevýhodnou třídu osvětlení ME6 je zapotřebí o osm svítidel víc. To je o třetinu. V případě komunikace CE5 to je dvojnásobek, o sto procent víc. To znamená o stejné procento více vyrobených svítidel, světelných zdrojů, stožárů, betonových základů atd. Je to nadvýroba, která v důsledku není ničím ospravedlnitelná. Nadvýroba, která v důsledku poškozuje životní prostředí (a opět nemyslím na kyslíčnicku uhličitou – ponechme ho environmentalistům).

A konečně i nemožnost stmívání je po,ěrně závažným handicapem pro indukční zdroje. Opět potenciálně vyšší spotřeba elektrické energie než u klasických svítidel. U nich, těch klasických, lze zavést regulaci i velice jednoduše, například přepínáním odbočky na tlumivce nízkoztrátového předřadníku.

### Možnosti použití indukčních zdrojů

Výbojové indukční světelné zdroje lze použít jen ve velice specifických případech. Především tam, kde je velice nákladné nebo obtížné provádět výměnu světelných zdrojů. V interiérech to budou vysoké haly, případně plavecké stadiony. Ve venkovním osvětlení to mohou být tunely, kde je jakékoliv omezení dopravy rizikový faktor (spíše faktor dopravu zdržující). Jiným místem by mohly být majáky. Všechny uvedené případy, jak v interiérech, tak v exteriérech, však musí být ekonomicky přijatelné. Indukční zdroje jsou, alespoň na našem trhu, velmi drahé, při nízké účinnosti osvětlovacích soustav i energeticky náročné. Jejich dlouhý život je do značné míry relativní, protože ho překonají např. zářivky nesoucí označení XXT se servisní dobou života 75 tisíc hodin (90% zdrojů ke provozuschopným).

Zvláštní pozornost je třeba věnovat indukčním výbojkám se závitem E27 nebo E40. Ty mají v sobě integrovanou i elektroniku potřebnou k jejich provozování. Důvěřivý zákazník vyřadí z činnosti stávající předřadník klasického svítidla a místo výbojky, pro které je svítidlo konstruováno, použije „zázračně úsporný“ indukční zdroj. Prvních důsledků si nevšimne. Zcela jistě poklesne vyzařovaný světelný tok, protože nejspíš použije (na radu prodejce) zdroj s (výrazně) nižším příkonem. V „bílém“ světle podlehe klamu, že je světla víc. Ono ho i víc možná bude, ale jen pod svítidlem. Ve větší vzdálenosti bude světla mnohem méně než bývalo. Nelze opominout ani to, že takovým zásahem ztrácí svítidlo prohlášení o shodě, protože velmi pravděpodobně nebylo homologováno pro takový světelný zdroj. Vlastně se pak nesmí vůbec provozovat. Že automaticky ztrácí záruku je zcela zřejmé.

Poznámka na závěr. Při psaní textu jsem netušil, že tato přednáška bude zařazena do sekce vnitřní osvětlení a elektro. To jsem zjistil až později. To vysvětluje, proč jsem se v tomto textu zaměřil především na veřejné osvětlení. Obecná sdělení v textu však mají obecnou platnost. Bez ohledu na místo umístění svítidla s indukčním světelným zdrojem. Specifika vnitřního osvětlení se vynasnažím rozvinout při ústní prezentaci.

### LITERATURA

- [1] Vyhláška 539/2007 Sb. Ministerstva zdravotnictví Slovenskej republiky zo 16. augusta 2007 o podrobnostiach o limitných hodnotách optického žiarenia a požiadavkách na objektivizáciu optického žiarenia v životnom prostredí

**Autor:** Ing. Tomáš Maixner, Černolice 6, 252 10 p. Mníšek p.B., Czech Republic, e-mail: maixner@pivon.cz

## Ekologie osvětlovacích soustav

**Abstrakt:** Porovnání soustav s plochým sklem a vypouklou mísou nejen z pohledu produkce rušivého světla, ale i z hlediska investičních a provozních nákladů, energetické náročnosti a materiálové nadprodukce. Text se zabývá i Nařízením Komise (ES) č. 245/2009 a nekorektními praktikami ekologických aktivistů – zejména metodou El Álamo používanou k manipulaci s veřejným míněním.

**Klíčová slova:** ekologie, environmentalismus, osvětlení

### Úvod

Pokud se hovoří o ekologii osvětlovacích soustav, pak každého nejdříve napadne „světelné znečištění“. Ovšem to zdaleka není úplný pohled na environmentální aspekty osvětlování.

Také záleží odkud se nahlíží. Tak třeba obchodníci zařazují svítící diody mezi ekologické zdroje. To proto, že neobsahují rtuť. Ovšem velice zajímavé je, jak se na tyto světelné zdroje dívají ekologičtí aktivisté rekrutující se z řad hvězdářů. Již nyní začali volat, že svítící diody svým širokým barevným spektrem ohrožují životy nočního hmyzu a škodí i flóře. Proto je prý žádoucí setrvat u sodíkových výbojek (nejlépe nízkotlakých). To prý proto, že sodíkové světlo nepřiláká hmyz. Obávám se, že je důvod značně přízemnější. Čáru sodíku, případně rtuti, totiž lze snadno ze spektra odfiltrovat. Pokud se astronom nezabývá právě spektrografií (což asi mezi amatéry nebude jediný), tak mu rázem obloha potemní. Když odfiltruje celé spektrum LED, nezbuďe v okuláru ani jedna hvězdička. Proto jsou z pohledu hvězdářů svítící diody neekologické.

Pokusím se v následujícím textu o korektní pohled na ekologické aspekty osvětlení.

### „Plně cloněná“ svítidla

Termín „plně cloněná“ svítidla světelná technika nezná. V pojetí ekologických aktivistů to jsou svítidla, která nevyzařují do horního poloprostoru žádné světlo. Jako typické představitele uvádí svítidla uzavřená plochým sklem. Taková svítidla také označují za svítidla ekologická.

Vlastnosti „ekologických“ svítidel jsem již mnohokrát rozebral (viz např. [1]). Proto se zde omezím jen na výčet jejich vlastností (platí i v případě, že by se použilo antireflexní sklo) ve srovnání s „klasickými“ svítidly:

1. Pro větší úhly od normály skla dochází při průchodu světla k větším ztrátám. Část světla se také odrazí zpět do svítidla, takže dochází ke ztrátám, tedy ke snížení účinnosti.
2. Z téhož důvodu jako v předešlém odstavci je svítivost pro větší úhly od normály menší než u obdobného svítidla s vypouklou (nebo vydutou? ☺) mísou.
3. Díky náročnějším materiálům a složitější výrobní technologii jsou „ekologická“ svítidla dražší. Pokud je jejich cena srovnatelná, nebo stejná, jako u klasických svítidel, tak se jedná jen o obchodní politiku dodavatele, který si za cenu nižší marže vylepšuje kádrový profil do zelené barvy.
4. Protože jejich viditelnost z boku je značně omezená, pak takové svítidlo má horší schopnost tzv. optického vedení řidiče.
5. Protože se svítidla s plochým sklem obvykle liší od klasických pouze uzávěrem optické části, tak je zřejmé, že v takovém svítidle jsou horší tepelné poměry (byť samozřejmě předpisům vyhovující). Důsledkem je rychlejší stárnutí svítidla i světelných zdrojů.

Z uvedeného plynou některé zajímavé závěry. Především to, že je třeba taková svítidla umísťovat v menších roztečích a na nižší stožáry, aby se dosáhlo stejného osvětlení komunikace co do množství i co do kvality – tedy rovnoměrnosti osvětlení. Pokud se umístí ve stejné geometrii jako by se umístila „klasická“ svítidla, pak se musí osadit světelným zdrojem s vyšším světelným tokem.

Důsledky uvedených skutečností je z pohledu ekologie nesmírně zajímavý. Ekologické soustavy mohou ve srovnání s „klasickými“:

1. Produkovat větší množství rušivého světla emitovaného k obloze (i do jiných nežádoucích míst).
2. Více oslňovat
3. Být vyšší energetickou zátěží, to prakticky vždy.
4. Být příčinou nežádoucí nadprodukce prvků osvětlovací soustavy, také prakticky vždy.

### Rušivé světlo

Tvrzení, že soustavy s „plně cloněnými“ svítidly mohou být větším zdrojem světla vyzářeného do nežádoucích míst, je celkem snadno vysvětlitelné.

Již bylo uvedeno, že těchto svítidel je zapotřebí větší počet nebo se musí osadit světelnými zdroji s větším světelným tokem. Toto světlo je sice směřováno pouze do dolního poloprostoru, avšak zcela samozřejmě se odráží od ploch, které svítidlo obklopují. Od vozovky, chodníku, fasád... „Klasické“ svítidlo část světla vyzáří přímo k obloze. Ostatní světlo se samozřejmě také po odrazech dostává do horního poloprostoru. Protože však tato svítidla mají lepší účinnost i činitel využití, tak se může stát, že množství odraženého a přímého světla od celé soustavy bude nižší než kvantum nežádoucího světla „ekologické“ soustavy. Více v další kapitole (Energetická zátěž a nadprodukce).

Soustrava s plochými skly může i více oslňovat. Byť to zní překvapivě. Opět je to o geometrii nebo nutnosti použít světelné zdroje s vyšším světelným tokem. V případě použití stejně výkonných světelných zdrojů nastává to, že v zorném poli se objeví jejich větší počet v méně příznivých pozicích (níže a blíže u sebe). To může samozřejmě způsobit vyšší oslňování. U výkonnějších světelných zdrojů je důvod nasnadě.

„Ekologická“ soustava tedy může být již prvotně neekologická. Její smysl omezit nežádoucí účinky světla se mívá účinkem. Ať z pohledu omezení množství nežádoucího světla, tak z pohledu oslňování.

### Energetická zátěž a nadprodukce

Prvotní nárůst energetické zátěže je vyvolán vyšším počtem nebo příkonem svítidel „ekologické“ soustavy.

Ovšem případný větší počet svítidel neznamená vyšší spotřebu energie jen při provozu, ale i při jejich výrobě. Je nutné vyrobit více železa na větší počet svítidel a sloupů, více betonu na větší počet základů, více kabelů, světelných



zdrojů... to vše znamená vyšší zátěž životního prostředí. Pokud přijmeme hru na CO<sub>2</sub>, tak se musíme zajímat o to, kolik se ho vyprodukuje navíc!

Není bez zajímavosti ukázat, jak lze manipulovat s čísly pokud jde o prosazování pseudoekologických zájmů. Trochu předbílám – ekologickým praktikám se věnuji až v závěru tohoto textu.

Zkusil jsem se dopídit kolik kg CO<sub>2</sub> se vyprodukuje při výrobě elektrické energie. V pojednání [2] jsem se dozvěděl, že:

*„Průměrná uhelná elektrárna pro získání energie 1GJ tedy 277,7 kWh vyprodukuje 99 kg CO<sub>2</sub>...“.*

Hbitě jsem podělil 99 kilogramů počtem vyrobených kilowatthodin a domníval se, že na jednu kilowatthodinu se vyprodukuje  $99/277,7 = 0,357$  kg CO<sub>2</sub>. Chyba. Ctí každého aktivisty je čísla co nejvíce nafouknout – v tomto případě umně zamontoval účinnost elektrárny – pokračuji v citaci:

*„...kdy účinnost výroby elektřiny se pohybuje kolem 35%, je tak při výrobě 1kWh elektrické energie vyprodukováno 1,021 kg CO<sub>2</sub>...“.*

Environmentalista tedy podělí množství škodliviny vyprodukované elektrárnou (o účinnosti 35%) ještě jednou její účinností. A tak jsou emise téměř trojnásobné oproti skutečnosti (mimořádně – každý gram je aktivistovy doby:  $99/277,7/0,35=1,019$ ... tady dokonce dva).

Budu se držet reálných čísel. V tabulce 1 je porovnání pro případ, že při výrobě jedné kilowatthodiny vznikne 0,357 kg CO<sub>2</sub>. (Jiný typ elektrárny produkuje jiné množství, bylo by přesnější použít průměrné emise v daném státě – nemám je k dispozici, zkusím se je do prezentace najít) Porovnal jsem osvětlovací soustavy, které byly počítány pro skutečnou situaci. Počet klasických svítidel byl 26, „ekologických“ bylo o dvě víc. Pokud by se podobná soustava navrhovala na zelené louce, pak by rozdíl byl nejspíše ještě vyšší; „ekologických“ svítidel může být až o třetinu více než svítidel s vypouklým difuzorem. V tomto případě je menší rozdíl způsoben nutností přizpůsobit se tvaru vozovky, přechodům, křižovatkám, zastávkám městské dopravy atd. (nárůst jen o 7,7%).

**Tab 1. Emise CO<sub>2</sub> spojené se zřízením a provozem osvětlovacích soustav**

Soustava typu	„klasická“	„ekologická“
Počet (ks)	26	28
Váha sloupu (kg)	50	50
Váha celkem (kg)	1 300	1 400
<b>Emise CO<sub>2</sub> (t) (1,8 t CO<sub>2</sub>/t oceli)</b>	<b>2,34</b>	<b>2,52</b>
Příkon svítidel - 83 W/ks (kWh)	2,16	2,32
Doba provozu (hod./rok)	4 100	4 100
Roční spotřeba (kWh/rok)	8 848	9 512
<b>Emise CO<sub>2</sub> (0,36 kg/kWh) (t)</b>	<b>3,19</b>	<b>3,42</b>

Z tabulky je zřejmé, že „ekologická“ soustava je původcem vyšších emisí kyslíčnicku uhličitého již při svém budování. Přitom není započítána skutečnost, že přeprava většího množství materiálu, i jeho montáž, rovněž přispěje k vyšším emisím. Také při provozu je „ekologická“ soustava větším producentem „zlověstného“ plynu. Pro dvakrát započítanou účinnost by to bylo samozřejmě víc. Ale z hlediska porovnání dvou soustav je nakonec lhostejné, kolik CO<sub>2</sub> se vyprodukuje na výrobě jedné tuny železa či kilowatthodiny. Vždy se na postavení rozsáhlejší soustavy uvolní větší množství onoho plynu, vždy bude mít taková soustava i vyšší spotřebu, tedy i vyšší produkci zmíněného. Uvedená čísla by v případě stavby na zelené louce byla ještě značně vzrostla v neprospěch „ekologických“ svítidel.

Neméně pozoruhodné bylo i stanovení množství světla vyzářeného k obloze. Od obou soustav totiž bylo prakticky stejné (tabulka 2). Od „ekologické“ je vyzářeno k obloze jen o 0,6% světla méně než od soustavy s vypouklými difuzory. Kdyby bylo jen o jedno svítidlo s plochým sklem více byla by k nočnímu prostředí šetrnější ekology odmítaná soustava.

**Tab 2. Světlo vyzářené na oblohu**

Soustava typu	„klasická“	„ekologická“
Jedno svítidlo (klm)	1,17	1,08
Soustava (klm)	30,42	30,24
Soustava (%)	100	99,4

Jen upozorním, že v souladu s tvrzením ekologických aktivistů je pro JEDNO svítidlo to „ekologické“ ekologičtější než „klasické“. Pro soustavu už to nemusí být pravda.

Zajímalo by mě, co by environmentalista označil za větší zlo. Zda nepatrně vyšší jas oblohy nebo stejně nepatrně vyšší produkci kyslíčnicku uhličitého (obě v řádu jednotek procent). Pro astronomického aktivistu je volba jasná – pro něho je samozřejmě škodlivější světlo. Pro aktivistu obecného je odpověď obtížnější. A odhadoval bych, že by odpověděl opačně, ale přeci jen kolegiálně v boji...

Mimořádně, pokud bude produkce „zkázonosného“ plynu jiná, než jakou jsem zvolil, stále bude „ekologická“ soustava o uvedené procento „zhučnější“. Pomoci může jaderná energetika, pseudoekology tak zatracovaná. V této souvislosti není bez zajímavosti, že pokud se provede rozbor vlivu zdrojů energie pomocí analýzy životního cyklu LCA (Life Cycle Assessment) [4], tak fotovoltaika je zdrojem více než dvojnásobného množství CO<sub>2</sub> (39 t/GWh) ve srovnání s jádrem (17 t/GWh). Například u jaderných elektráren, které mají zanedbatelné emise během provozu, hodnotí metoda LCA emise vypouštěné během dobývání a obohacování uranu, během výstavby elektrárny, ukládání či přepracování použitého paliva i během odstavení elektrárny z provozu a její likvidace. Obávám se, že v případě rozmarů počasí podléhajícím energetickým zdrojům nejsou započítány emise produkované stoprocentní zálohou, která musí být v případě existence obnovitelných zdrojů stále k dispozici. Nechám stranou „pomluvy“, že na výrobu elektráren, využívajících princip obnovitelných zdrojů, se vynaloží více energie, než ji vyrobené jsou sto vyprodukovat. Ale to bude jistě jen ošklivá pomluva.

## Řešení

Při návrhu osvětlovací soustavy je správný postup takový (ba i ekologicky správný), že se provede návrh jak se svítidly s plochým sklem, tak s „klasickými“. Oba představitelé budou samozřejmě ze stejné ligy. Tedy stejně kvalitní. Řekl bych, že podmínkou nutnou je to, aby byly od stejného výrobce a ze stejné řady. Jen to je zárukou, že se bude srovnávat srovnatelné.

U kvalitativně rovnocenných soustav se pak vyhodnotí jejich vliv na noční prostředí i množství emisí. Jen tak lze rozhodnout, jaká soustava bude šetrnější. A pak je ještě nutné, za jakou cenu se dosáhne toho kterého řešení, za jakou cenu se ta která soustava bude provozovat. Jen tak lze usoudit jakou soustavu zvolit.

Návrh musí samozřejmě vypracovat kvalifikovaný odborník. Tím je světelný technik, nikoli samozvaný „expert“ z řad environmentalistů. Ať už je ověřen v libovolném množství cenami a diplomy od sobě rovných. Ono je vůbec obtížné rozpoznat kdo je odborník a kdo tlachal. Určitým varováním bude, když někdo sám prohlašuje, že odborníkem je.

## Ekologické pohledy odjinud

Pseudoekologie je především politika. Takže se nemohu vyhnout ani politickým dokumentům dotýkajícím se rušivých účinků světla.

Nejvýznamnější je Nařízení Komise (ES) č. 245/2009 [3], které se zabývá nejen záležitostmi energeticky úsporných světelných zdrojů, svítidel a předřadníků, ale v příloze VIII se praví: „Podíl světla vyzařovaného optimálně nainstalovaným svítidlem a dosahujícího nad horizont by měl být omezen na“ (viz tab. 3):

**Tab. 3. Orientační hodnoty maximálního podílu světelného toku (ULOR); oproti originálu doplněn příkon odpovídajících vysokotlakých sodíkových výbojek**

Třída osvětlení	Světelný tok zdroje (klm)	Příkon (W)	ULOR (%)
ME, MEW	všechny	Všechny	3
CE, S, ES, EV, A	$12 \leq \Phi$	$P > 100$	5
	$8,5 \leq \Phi < 12$	$P \approx 100$	10
	$3,3 \leq \Phi < 8,5$	50, 70	15
	$\Phi < 3,3$	$P < 50$	20

V tabulce je uveden nejvýše přípustný podíl světelného toku, který je vyzařován nad vodorovnou rovinu (ULOR). Platí pro svítidla určená pro veřejné osvětlení. Dělení je podle tříd osvětlení uvedených v evropských normách řady ČSN EN 13201. Tabulka je pozoruhodná. Jsou to požadavky překvapivě umírněné a odlišné od nároků ekologických aktivistů. Nikde ani slůvka o tom, že svítidla musí být „plně cloněná“, tedy svítící výhradně jen do dolního poloprostoru. Úředníci nepožadují, aby byl podíl světelného toku do horního poloprostoru nulový. Na jednu stranu jsou tedy požadavky zásadně mírnější (a tedy i rozumnější), na druhou stranu přísnější, protože uvedené hodnoty platí bez ohledu na třídu životního prostředí známé z jiných předpisů, např. ČSN EN 12464-2.

Pozoruhodné je i to, že nařízení hovoří o optimálně nainstalovaném svítidle. Což nelze interpretovat tak, že musí být upevněno, aby výstupní otvor svítidla byl vodorovně, jak důsledně požadují bojovníci za temné nebe. Velice často lze dosáhnout mnohem vyššího činitele využití, a tedy úspornějšího a nočního prostředí méně rušícího osvětlení, se svítidly vykloněnými o malý úhel.

Omezení pro svítidla s malými světelnými zdroji není na místě, protože i ta naleznou uplatnění. Jsou situace, kdy je třeba osvětlit také prostor nad horizontem, například průčelí významných objektů. Příloha se sice zabývá pouze veřejným osvětlením, ale v případě úzkých uliček v historickém jádru města může svítidlo současně osvětlovat fasádu i komunikaci. Ani čeští environmentalisté nepožadovali clonění u svítidel s malým světelným tokem – byla vzata na milost svítidla, která: „...obsahují jen světelné zdroje, jejichž světelný tok nepřekračuje 1500 lumenů, pokud souhrnný tok ze svítidel umístěných v libovolné oblasti o poloměru dva metry nepřekročí směrem nahoru hodnotu 2250 lumenů“. Nezbyvá, než oddělit osvětlení komunikace od osvětlení objektů. Pak je přípustné cokoliv.

V Nařízení se lze dále dočíst: „V oblastech, kde hrozí světelné znečištění, není maximální podíl světla dosahujícího nad horizont u všech silničních tříd a světelných výkonů vyšší než 1 %.“ Předpis je přeložen trochu kostrbatě a používá „zažitou“ terminologii; možná se dopustil překladatel chyby. Ale podstatnější je to, že jde opět o zcela nejasné prohlášení, které bude zdrojem sváru. V principu „světelné znečištění“ hrozí všude. Autoři patrně mysleli případy, kdy by nežádoucí světlo ohrožovalo nějakou činnost (astronomická pozorování) nebo prostředí (přírodní rezervace se světloplachou faunou). Šťastnější formulace by asi byla: „V oblastech, kde je žádoucí omezit rušivé světlo, není maximální podíl světla vyzařovaného nad

vodorovnou rovinu u všech tříd osvětlení a pro libovolný světelný tok zdroje vyšší než 1%.“



Obr. 1. Svítidlo s podílem světelného toku ULOR = 0,4%; ULR = 0,5%

Ani tento požadavek nebrání použití kvalitních svítidel pro osvětlování komunikací, protože ta podmínce vyhovují (Obr. 1). Přitom minimální množství světla přímo směřovaného do horního poloprostoru je bohatě vyváženo lepší distribucí světla, což v důsledku znamená snížení celkového příkonu i vyzařovaného světla ze svítidel oproti variantě s „ekologickými“ svítidly s plochým sklem, tedy svítidly svítícími jen do dolního poloprostoru (a aktivisty důrazně požadovaná).

Velmi důležité je další sdělení nařízení, které se objevuje dokonce i s korektním označením „rušivé světlo“. Zní takto: „Svítidla jsou konstruována tak, aby bylo v maximální možné míře zabráněno vyzařování rušivého světla. Jakékoli vylepšení svítidla, jehož cílem je vyzařování rušivého světla snížit, však nesmí být na úkor celkové energetické účinnosti zařízení, pro něž je určeno.“

Jak bylo v tomto textu zmíněno, svítidla s plochým sklem mají „nižší celkovou energetickou účinnost zařízení“. Je jich zapotřebí v osvětlovací soustavě obvykle víc, nebo musí být s vyšším příkonem (světelným tokem), než v případě použití svítidel s klasickou vypouklou mísou. Porovnával jsem cca 3 000 svítidel v obou variantách. Ve všech případech bylo „klasické“ svítidlo energeticky účinnější. Jedna z dvojic je na obr. 2. Svítidlo s plochým sklem má účinnost 65,5%; „neekologické“ 78,3. To druhé vyzařuje do horního poloprostoru přímo ULOR = 0,4% světelného toku zdroje (nebo ULR = 0,5% světelného toku vyzařovaného svítidlem). Že to druhé je velmi pravděpodobně skutečně ekologické, byť má „bachratý“ kryt, je zřejmé již z porovnání uvedených čísel.



Obr. 2. Svítidlo „ekologické“ (vlevo) a „klasické“ (vpravo)

Požadavek Nařízení je tedy překvapivým vítězstvím rozumu nad tlaky pseudoekologů. Ono prohlášení totiž znamená, že nejsou žádoucí úpravy, které by sice u jednotlivých svítidel snížily vyzařování nežádoucího světla,

avšak současně zhoršily účinnost (lépe by bylo činitel využití) těchto svítidel.

Používání svítidel s plochým sklem je tedy v rozporu s Nařízením. Žel, celá pasáž věnovaná vlastnostem svítidel je jen informativní. Ale ukazuje kam by mělo směřovat rozumné řešení omezující nežádoucí účinky světla.

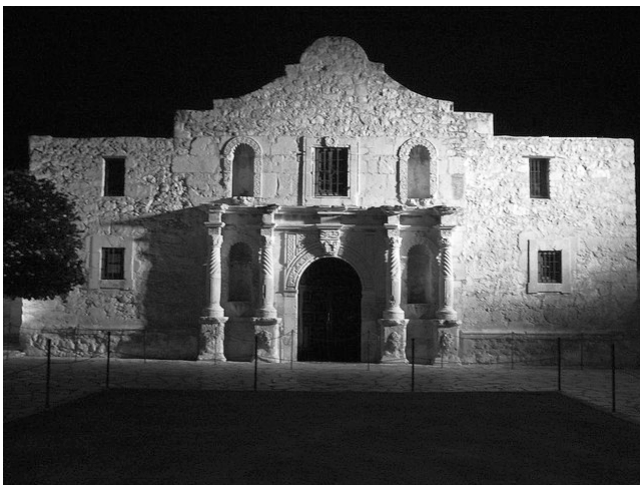
### Ekologie osvětlování v médiích

Mluvit o „světelném znečištění“ je stejně módní jako alarmistické hovory o klimatických změnách. V posledních letech se šíří neuvěřitelné množství článků a televizních či rozhlasových pořadů o tom, že světlo způsobuje rakovinu, obezitu, infarkty, mozkové příhody.

Má to svoji příčinu. Ta se jmenuje El Álamo.

El Álamo je metoda používaná ekologickými aktivisty na celém světě. Nejen těmi bojujícími za temné nebe, ale ve všech „ekologických“ oblastech. 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. Navenek to působilo tak, že obránců je mnohem více než ve skutečnosti bylo.

Obránci El Álamo přesile podlehli, ale jejich taktika v ekologicko-aktivistickém kabátku nejednou oklamala veřejnost. Aktivisté po dohodě přebírají texty jediného autora – nebo několika mála. Materiály vydávají za svá díla. Navenek to působí tak, že „odborníků“ je mnohem více než jich ve skutečnosti je. Vzbuzuje to dojem, že o nějakém problému hovoří jednotně velké množství „odborníků“. Skutečné odborníky pak označují za nekvalifikované, neznalé. Když to nestačí, tak za podplacené (v našem případě světlařskou lobby).



Obr. 3. Pevnost El Álamo

A média? Redaktoři nepřizvou do „ekologických“ diskusí oponenty z řad skutečných znalců dané problematiky. Na veřejnoprávní televizi jsou k vidění „vyvážené“ pořady, kdy pozvaný astronom diskutuje s hvězdářem a v přímém přenosu jim sekunduje astrofyzik. Přitom všichni zaslíbeně hovoří o medicíně, biologii, světelné technice... Nějak se v tom „zapomíná“ na to, že by bylo dobré se poptat lékaře, biologa, světelného technika...

Má to svoji příčinu. Ta se jmenuje výše nákladu, sledovanost.

Odborníci nejsou žádoucí, mohli by posluchače přesvědčit o tom, že skutečnost je jiná, dokonce není ani katastrofická. A koho by to zajímalo? V důsledku by klesl náklad novin, časopisu, sledovanost pořadu... to však znamená menší množství inzerentů, nižší příjmy tiskových magnátů a následně nižší platy redaktorů. Tak proč psát o věcech korektně? Žádný prospěch z toho neplyne.

Když se zázrakem povede dojít ke korektnímu článku, který se nehoní za senzací, tak z něho dokáže zručný „novinář“ (skuteční novináři jsou také na vyměření) udělat bulvár. Marná je autorizace textu. Dodatečným vložením podtitulku nebo grafickými úpravami se zcela změní smysl pronášených vět.

Jen vzácně je dopřáno sluchu kacířům z tábora světelných techniků. Když pomínu mediálně zajímavá období po schválení Zákona o ovzduší v roce 2002 a vypínání Liberecka v roce 2009, tak jim bylo nasloucháno jen mizivě. Jednou za rok, za dva. Přitom některé z rozhovorů byly dodatečně „přetvořeny“ již popsáním „zručným“ zásahem redaktora.

### LITERATURA

- [1] MAIXNER, T.: Rušivé světlo Část 2. – „Ekologická“ svítidla, časopis Světlo 6/2005
- [2] Vespalcová, Renata: Hlavním důvodem proč skončí prodej žárovek (Redakčně zpracováno) <http://www.usporim.cz/hlavni-duvody-proc-konci-prodej-zarovek-188.html>
- [3] Nařízení Komise (ES) č. 245/2009 [3] ze dne 18. března 2009, kterým se provádí směrnice Evropského parlamentu a Rady 2005/32/ES, pokud jde o požadavky na ekodesign zářivek bez integrovaného předřadníku, vysoce intenzivních výbojek a předřadníků a svítidel, jež mohou sloužit k provozu těchto zářivek a výbojek, a kterým se zrušuje směrnice Evropského parlamentu a Rady 2000/55/ES
- [4] Hanus. V., Obnovitelné zdroje produkují "skryté emise", Science World, <http://scienceworld.cz/ostatni/obnovitelne-zdroje-produkujis-kryte-emise-1146>

**Autor:** Ing. Tomáš Maixner, Černolice 6, 252 10 p. Mníšek p.B., Czech Republic, e-mail: [maixner@pivon.cz](mailto:maixner@pivon.cz)

# Úspory energie ve vazbě na EN 15232:2007

**Abstract.** Evropská norma EN 15232:2007 člení budovy do čtyř tříd, v závislosti na jejich energetické efektivitě. Z toho ovšem nutně vyplývá nezbytná minimální úroveň technického a technologického vybavení komerčních a podobných budov taková, jaká je potřebná pro dosažení co nejnižší spotřeby energie. V referátu jsou uvedeny funkční oblasti mající významný vliv na spotřebu energie a požadavky na způsoby jejich ovládní a následně i na vybavení řídicími systémy takovými, aby tuto spotřebu bylo možné optimalizovat, tedy aby byla vyloučena zbytečná spotřeba energie.

**Keywords:** Úspory energie v budovách, třídy budov, vazby při řízení funkcí budov, smart grid.

## 1 Úvod

Chceme stavět komerční nebo polyfunkční objekt, budovu státní správy, zdravotnický nebo školský objekt atd. a nevíme, jakou instalací má být naše stavba vybavena. Uvědomujeme si, že budova musí být dostatečně zabezpečena proti nadměrným tepelným ztrátám. Avšak málokdy bereme v úvahu mnohdy až neuvěřitelně vysoký potenciál úspor provozních nákladů v objektu vybaveném systémovou instalací, ve srovnání s objektem se shodnými funkčními oblastmi, ale systémově nepropojenými.

Dlouhodobými testy bylo zjištěno, že objekt plně vybavený potřebným technologickým vybavením, se systémově vytvořenými vazbami pro jejich řízení, má v průměru o 40% nižší spotřebu energie, než shodně vybavený objekt, avšak bez zmíněných systémových vazeb.

K rozhodování o využitím řešení budovy máme nyní významného pomocníka – evropskou normu EN15232:2007 [1], která třídí objekty do čtyř kategorií, podle energetické náročnosti. Chceme-li tedy provozovat energeticky co nejušpornější objekt, bezpodmínečně musí být vybaven všemi prostředky, které se podílí na snižování energetické náročnosti. Přitom jejich řízení musí být založeno na vzájemné koordinaci jednotlivých činností.

## 2 Co přináší evropská norma

Na základě CE direktivy 2002/91/EG byla v technickém výboru TC247 evropské normalizace CEN vypracována zmíněná norma. Výsledkem těchto prací byla kategorizace budov s rozčleněním do čtyř tříd (A až D), v závislosti na funkcionalitě v nich použitých automatizačních systémů, použitých pro řízení těch funkcí budov, které svým způsobem činnosti mohou významně ovlivňovat jejich celkovou energetickou náročnost.

<b>A</b>	<b>Třída A:</b> Vysoce efektivní automatizace provozu místnosti se vzájemně spolupracujícími aplikačními oblastmi
<b>B</b>	<b>Třída B:</b> Optimalizovaná řešení pro každý úkol s částečnou spoluprací mezi aplikačními oblastmi
<b>C</b>	<b>Třída C:</b> Standardní automatizace provozu místnosti
<b>D</b>	<b>Třída D:</b> Bez automatizace provozu místnosti, energeticky neefektivní

Obr. 1: Třídy budov podle energetické náročnosti

Souhrnné požadavky na objekty jednotlivých energetických tříd podle EN15232:2007 jsou uvedeny na obrázku 1. Příklady vybavení řídicími systémy funkcí [4], majících podstatný vliv na spotřebu energie, včetně požadavků na jejich vzájemnou spolupráci, lze nalézt v tabulce 1.

Za jednoznačně energeticky nejušpornější lze tedy považovat budovy, které jsou vybaveny všemi funkcemi, s jejich provázaným řízením odpovídajícím požadavkům pro třídu A. A úspory budou ještě vyšší, bude-li budova vybavena zdvojenou fasádou. Ilustrační fotografie takovéto budovy je na obrázku 2. Žaluzie umístěné v prostoru mezi fasádami zajistí za všech okolností potřebné stínění, navíc i s vazbami na řízení spotřeby tepla. Přitom mohou být použity žaluzie méně robustní, tedy levnější. Není totiž nutná jejich ochrana před účinky nepříznivých povětrnostních vlivů (ochrana před silným větrem apod.). Kromě toho, odpadní teplo hromadící se v prostoru mezi fasádami, tedy teplo vyzařované z budovy a také sluneční teplo odražené od lamel žaluzií, lze využívat např. k ohřevu užitkové vody a dále tak zvýšit energetickou efektivitu budovy.



Obr. 2: Budova s celoskleněnou zdvojenou fasádou (Print Akademie Heidelberg)

**Tabulka 1:** Vybavenost budov podle zařazení do energetických tříd

Třída objektu	Základní požadavky na vybavenost	Minimální vybavenost dílčími systémy
A	Vysoce efektivní automatizace provozu místností se vzájemně spolupracujícími funkčními oblastmi	Provázané individuální řízení teploty v místnostech Vazba řízení teploty v místnostech na přítomnost Závislé řízení zdrojů tepla a teploty průtokového média Řízení na stálou osvětlenost s vazbou na denní světlo Řízení osvětlení ve vazbě na přítomnost Elektricky ovládané stínění venkovními žaluziemi Řízení žaluzií a osvětlení ve vazbě na topení, klimatizaci a ventilaci
B	Optimalizované řešení pro každou funkční oblast s částečným provázáním dílčích systémů	Individuální řízení teploty v místnostech Řízení zdrojů tepla a teploty průtokového média podle venkovní teploty Řízení osvětlení ve vazbě na přítomnost Elektricky ovládané stínění venkovními žaluziemi Řízení žaluzií a osvětlení ve vazbě na topení, klimatizaci a ventilaci
C	Standardní automatizace funkcí v místnostech	Centrální řízení teploty v místnostech Řízení zdrojů tepla a teploty průtokového média podle venkovní teploty Manuálně spínané a stmívané osvětlení Manuálně ovládané žaluziové elektrické pohony s centrální funkcí svinutí Jednoduchá automatická ochrana proti oslnění přímým slunečním světlem
D	Bez automatizace řízení funkcí v místnostech Energeticky neúsporné	Vytápění bez regulace Pevně nastavená teplota průtokového média Manuálně ovládané osvětlení Případné elektricky ovládané stínící prostředky pouze s manuálním ovládáním

### 3 Příklady přínosů vzájemných vazeb při řízení různých funkčních oblastí

K výrazným úsporám energie na osvětlování dospějeme, pokud namísto manuálního řízení využijeme automatickou regulaci na stálou osvětlenost, nejlépe s vazbou na přítomnost osob ve sledovaném prostoru.

Ovšem již pouhou výměnou dosud v hojně míře používaných klasických předřadníků (tlumivek) v zářivkových svítidlech a jejich nahrazením předřadníky elektronickými (pro regulaci na stálou osvětlenost však ve verzi umožňující stmívání), dosáhneme energetických úspor kolem 30%. Nejméně tak velká je totiž energetická ztráta na zmíněných tlumivkách, počítaná z celového příkonu svítidel a měnící se v teplo. Proto také v některých objektech, uvedených do provozu před deseti a více lety, již proběhla potřebná obnova svítidel. Např. ve velkém supermarketu s celotýdenním provozem, v době od 7:00h do 22:00h, bylo dosaženo velmi krátké návratnosti investic vynaložených na naznačenou výměnu předřadníků.

Úsporami energie se vynaložené náklady uhradily za méně než 4 měsíce.

Dalších až asi 40% energie na osvětlování lze ušetřit regulací na stálou osvětlenost s vazbou na přirozené venkovní osvětlení. Ovšem vazba na přítomnost může přinést ještě další úspory. Budeme vycházet z chování průměrného Evropana při ovládání osvětlení v komerčních a podobných objektech. Takováto osoba při příchodu do provozu svítidla ve své kanceláři, aniž by brala do úvahy okamžitě podmínky dané intenzitou přirozeného venkovního osvětlení. Jedná-li se pouze o manuálně spínané osvětlení, v místnosti se svítí často po celý den na plný výkon. Někdy se stává, že při odchodu ani nebudou svítidla vypnuta a osvětlení zůstane v činnosti po celou následující noc nebo dokonce po celý víkend.

Budou-li však prostory vybaveny vazbou na přítomnost osob, osvětlení bude v činnosti pouze po dobu, po kterou je někdo v regulované místnosti. Takto lze i v prostorách s regulací na stálou osvětlenost dosáhnout

přídavných úspor energie na osvětlování až kolem 10%. Použité ovládací prvky přitom dovolí uživatelskou změnu nastavení úrovně intenzity vnitřního osvětlení. Ve své místnosti si tak osazenstvo může upravit základní nastavení podle svých potřeb.

Snad nejvýznamnějšího přínosu se dosahuje automatickým režimem řízení provozu lamelových žaluzií ve vazbě na hospodaření s teplem. V závislosti na slunečním svitu jsou lamely žaluzií natáčeny automaticky tak, aby maximum slunečního tepla bylo odráženo do vnitřního prostoru při spolupráci s topením a do venkovního prostoru při spolupráci s chlazením. Lamely se přitom natáčí tak, aby sluneční světlo nezpůsobilo oslnění osob uvnitř objektu. Takovéto využití bezplatné energie ze slunečního záření přináší až 14% úsporu nakupované tepelné energie pro vytápění a dokonce až 30% úspor při spolupráci s chlazením.

To ovšem není všechno. Je možné ušetřit ještě dalších až 8% tepelné energie, když řízení její spotřeby propojíme i se sledováním přítomnosti osob.

Pokud není zajištěna vazba na přítomnost, je spotřeba tepla řízena pouze na základě časových programů. To znamená, že před začátkem pracovní doby bude teplota ve všech regulačních smyčkách nastavena na komfortní hodnotu (např. 22°C pro topení nebo 25°C pro chlazení), po skončení pracovní doby nejdříve na pohotovostní teplotu (např. 19°C/28°C) a později na noční úspornou hodnotu (17°C/31°C). Ve dnech pracovního volna bude regulace probíhat celodenně na hodnoty stanovené pro úsporný noční provoz.

Podle průzkumu, uskutečněného před několika lety, až 30% kanceláří je v pracovní době neobsazených, ať již z důvodů pracovních cest, dovolených, nemoci a z dalších příčin. To znamená, že po celou pracovní dobu jsou i zcela neobsazené místnosti zbytečně vytápěny/chlazeny na komfortní teplotu a dochází k neodůvodněné nadměrné spotřebě tepelné energie. Budou-li však místnosti vybaveny i snímači přítomnosti, časovým programem mohou být všechny sledované prostory uváděny pouze do pohotovostního režimu (v našem případě 19°C/28°C). Snímače přítomnosti, ihned po příchodu osob, zajistí přepnutí na komfortní režim (22°C/25°C). Aby nedocházelo ke zbytečnému přepínání mezi komfortním a pohotovostním režimem při krátkodobých odchodech z kanceláře během pracovní doby, může být parametricky nastaveno časové zpoždění pro přepnutí do pohotovostního režimu (např. 30 minut).

V objektech, v nichž je ventilace zajištěna otevíráním oken, je potřebné zabránit zbytečnému plýtvání tepelnou energií zablokováním činnosti vytápění/chlazení po celou dobu větrání. Účelem tohoto opatření je také to, aby okna nebyla dlouhodobě, někdy i celodenně otevřena. Zablokováním činnosti zdrojů tepla v místnosti s otevřenými okny se zabrání tomu, aby do nich bylo současně v až extrémním množství dodáváno teplo, následně vypouštěné okny do venkovního prostoru. Pro zajištění dobré tepelné pohody tedy větrání bude muset být pouze krátkodobé, avšak intenzivní.

K zajištění naznačeného blokování postačí okna vybavit jazýčkovými magnetickými kontakty, připojenými k binárním vstupům. Bude tomu tak v případě, že okenní kontakty nejsou součástí systému zabezpečení. Budou tedy zapojeny k přírodním svorkám binárních vstupů.

Pokud tyto kontakty budou součástí plášťové ochrany objektu, bude vhodné využít vždy jednu zónu pro všechna okna v jedné místnosti. O stavu zóny potom budou předávány informace na sběrnici řídicího systému prostřednictvím bezpotenciálového kontaktu, připojeného ke vhodnému binárnímu vstupu.

Nejen všechny funkce, jimiž mají být vybaveny objekty energetických tříd A i B, ale i mnohé další funkce, jakými jsou zabezpečovací systémy, požární systémy, audio a video soustavy a mnohé další funkční oblasti, lze jednoduše ovládat společným, mezinárodně normalizovaným systémem KNX [2].

KNX systém, založený na vzájemné komunikaci přístrojů, připojených ke společné sběrnici, tvořené krouceným stíněným dvou vodičem nebo silovým vedením anebo také bezdrátovým přenosem, je jediným celosvětově normalizovaným systémem podle souboru evropských norem EN 50090 a celosvětových norem ISO/IEC 14543. Systém je decentralizovaný (jeho každý účastník je vybaven řídicím mikroprocesorem a pamětmi, v nichž je nainstalován jemu příslušný aplikační program. Principiálně lze říci, že po sběrnici (bus) mezi sebou komunikují snímače (sensors) a akční členy (actuators). Přitom údaje získávané nebo měřené jedním snímačem mohou sloužit celé řadě účelů – není potřebné využívat několik snímačů obdobného typu pro řízení několika funkcí. Příkladem je snímač přítomnosti, který bude zajišťovat spínání osvětlení v místnosti na základě přítomnosti osob, ve stejné závislosti, avšak s jinými parametry bude odesílat příkazy k přepínání režimů (mode) topení a chlazení. Kromě toho bude předávat i informace o přítomnosti osob pro účely evidence nebo pro zabezpečení objektu. Provázání celé řady funkčních oblastí do společného systému výrazně zjednodušuje a ve svých důsledcích i snižuje náklady na pořízení i provoz náročného technického vybavení moderních budov. Můžeme uvést další příklad: v rodinném domě, při aktivaci elektronického systému zabezpečení, bude automaticky vydán příkaz k vypnutí všech svítidel, která jsme například opomenutím ponechali rozsvícená, k vypnutí vybraných zásuvkových okruhů, k přepnutí systému vytápění do úsporného režimu, k nastavení žaluzií do předem určené polohy. Může být také aktivován program pro nepřítomnost, tedy spínání funkcí, které pro vnějšího pozorovatele znamenají přítomnost osob v objektu. Systém KNX prostě umožňuje uživateli co nejjednodušší ovládání všech funkcí se zabezpečením optimálního využívání energie, se zamezením její spotřeby tam, kde to právě není zapotřebí. Umožňuje i centrální přehled o stavu všech funkcí v objektu, s možností jejich ovládání a servisu i prostřednictvím vzdálených přístupů – např. internetem.

#### 4 Současný stav v České republice

Bohužel, podstatná část dosud realizovaných komerčních objektů, byť po architektonické stránce mnohdy velice dobře zpracovaných, byla realizována sice s řídicími systémy pro ovládání jednotlivých funkčních oblastí, avšak bez možnosti jejich vzájemné spolupráce. Každý z těchto řídicích systémů byl projektován a dodáván zcela nezávisle na ostatních systémech, takže mnohdy i ovládací prvky k nim jsou ve společných prostorech v různých designech, odlišných i od výtvarného řešení krytů silových a sdělovacích zásuvek. Mnohaleté zkušenosti ukazují, že jen velice pozvolna se rozšiřuje počet developerů, kteří dbají také na energetickou efektivitu jimi dodávaných staveb.

Podle toho také můžeme sledovat, že většinu těchto staveb bychom mohli zařadit nejvýše do třídy C, ale jelikož jen zřídka jsou vybavovány venkovními lamelovými žaluziemi, které jsou schopny určitým způsobem snížit energetickou náročnost budov, bude se spíše jednat o objekty zařaditelné až do třídy D.



**Obr. 3:** Energeticky úsporná budova České pojišťovny v Praze

Ovšem nesmíme opomenout, že i v České republice existují investoři, kteří skutečně dbají na úspory energie a jejichž objekty lze bez jakýchkoliv diskusí zařadit do třídy A. Za všechny si připomeňme objekt České pojišťovny v Praze [3], jehož vnější vzhled je na obrázku 3. Vyčíslené úspory energie, oproti použití vzájemně nespolečných systémů, jsou kolem 60%. Tento

komplex budov byl proto nominován v mezinárodní soutěži KNX Award 2010 jako stavba energeticky úsporná.

### 5 Závěr

Z naznačených příkladů vyplývá, že s KNX systémovou instalací lze skutečně dosáhnout až neuvěřitelně vysokého snížení spotřeby energie v objektu, ve srovnání s klasickou, funkčně shodně vybavenou instalací.

### Odkazy

- [1] EN 15232:2007 – Energy Performance of Buildings – Impact of Building Automation, Controls and Building Management
- [2] EN 50090, ISO/IEC 14543 – KNX standards.
- [3] [www.knx.org](http://www.knx.org) – Press releases
- [4] ABB training matters.

**Autor:** Ing. Josef Kunc., ABB s.r.o. Elektro-Praga, Resslova 3, 466 02 Jablonec nad Nisou, Česká republika, e-mail: [josef.kunc@cz.abb.com](mailto:josef.kunc@cz.abb.com)

# Using digital photos for quality assessment of variable traffic signs

**Abstract.** This paper deals with properties of specialized measuring instrument for assessment of quality of variable traffic sign panels. The device is based on analysis of luminance of single light points of the traffic sign matrix. Because the number of these points can grow into thousands, the visual analysis of extremely bright pixels is practically impossible. This device is able to evaluate number of statistic values and to provide very objective data for the panel producer about the whole quality of panel settings and therefore it enables eventual compensation of single sources excitation.

**Keywords:** Variable Traffic Sign, Luminance meter, Digital Photography.

## Introduction

In the year 2011 there was developed and produced in two pieces prototype series new type of measuring device for assessment of quality of variable traffic signs. The device is based on analysis of digital photograph and it evaluates the luminance and RGB coordinates of processed signals from the matrix of light emitting diodes that form the traffic sign. In the real operation it is quite difficult to ensure appropriate luminance and its uniform distribution in the whole field of sign and the visual conditions for the employees are hard at this type of work. The produced device performs the analysis objectively and performs the complex statistics over all lighting points. From acquired data it is possible to localize the points that do not achieve required parameters and they have to be revised. Digital photograph brings in this case another application that corresponds with lighting technology, however not directly with general lighting. Still, while working on this project, there was achieved new knowledge, which can be used in lighting technology, e.g. at evaluation of extreme luminance from point sources like LED or HID.

## Motivation

Motivation for creation of the device can be demonstrated in following figure. There are presented cuts of two types of panels that were used at the testing of device function. The left picture shows the panel with 64x80 pixels, each of them is formed with LED of white and red, eventually orange colour (only white channel was on). The right picture shows the panel of 48x48 pixels, each of them is formed with 3 LEDs of basic colours RGB (Red, Green, Blue).

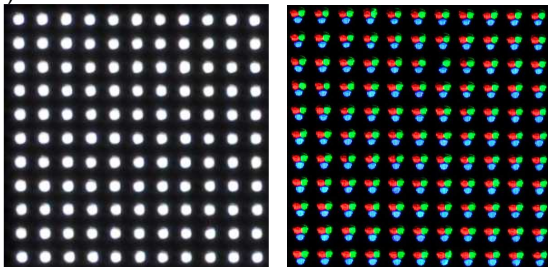


Figure 1. Cuts of images of sign panels

Sequential measurement of these panels with 10240, eventually 6912 LEDs with conventional instruments would be very long, but also very difficult for the staff that would perform the measurement, because it would be necessary to measure sequentially the luminance of each LED. When using created measuring device the measurement takes a time of seconds, following processing of data takes,

depending on used computer, maximally several minutes. The result of measurement provides the detection of defective LEDs and also the values of absolute luminance, eventually luminance that is related to its surroundings or to the whole panel (to all LED sources). These values can be consequently used for balancing the luminance of single LEDs with electronic regulation, so the panel glows homogeneously without visible contrast. Homogeneity of luminance influences significantly the reception of displayed figures.

## Device components

Basic components of measuring device are the camera with corresponding lens, set of attenuation filters and the computer with specialized software that performs the analysis of data acquired from camera. Other accessories consist of tripod for stable fixture of camera, related to light panels, set of cables and others.

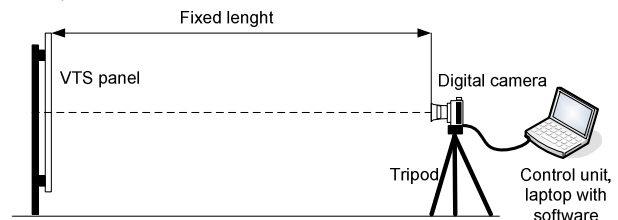


Figure 2. Components of measuring device

The whole device was designed with the intention, that it could be composed from commonly available components. But it is necessary to keep on mind the required function and notice the accuracy of acquired values. For image capturing was used professional camera Nikon D90 with Nikkor lens. Basic requirement for the camera stands besides given optical and mechanical parameters in possibility of capturing photos in RAW format, so we can obtain the data directly from the sensor. This is necessary to achieve sufficient accuracy of following processing. During the transformation of images into standard JPEG or PNG format, there is performed number of operations, which practically make impossible to transfer the measured data to corresponding luminance values. Other camera requirement is the possibility of operating the image capturing from the computer with available software interface. That enables, that the operating software can set required parameters of camera for given type of measurement and transfer the captured image directly into the computer. So there is not necessary the staff interaction into the measurement process anymore.

Because of high values of light panel luminance it is necessary to use the attenuation filters. Without them the



images would be saturated even with maximum aperture ratio, which would make impossible to acquire correct luminance values. Also it is impossible to use short times of shutter, because the panels are operated with multiplex. With short time of shutter would be captured only some segments of display. It is necessary, that the exposure time has to cover minimally several complete periods of multiplex. Two neutral filters with attenuation of 1:64 and 1:1000 are supplied with the device as accessories.

Key part of the measuring device is the software that enables operating of camera and also the data evaluation, its storage and output of measurement in the form of protocol. Function of this program is described in following chapters.

### Principle of evaluation

The input of the algorithm, that performs the luminance analysis of the displaying panel, is, as it was presented, the image captured with the camera. Here it is necessary to present some properties of these images. Displaying panel is geometrically deformed in the image. Even when the LEDs are fixed in regular matrix, their regular location in obtained image cannot be supposed. Deformation is caused by optical properties of the lens and also by distance of camera from measured object. For correct measurement the optical axis between the middle of panel and camera should be preserved and even minimal aberration from this axis can cause significant deformation. In the figure 3 there is presented a visualization of result of algorithm part that is determined for localization of light pixels. There can be seen, that the whole matrix is rotated. Also there can be seen perspective deformation, i.e. single lines of rows and columns are not completely parallel.

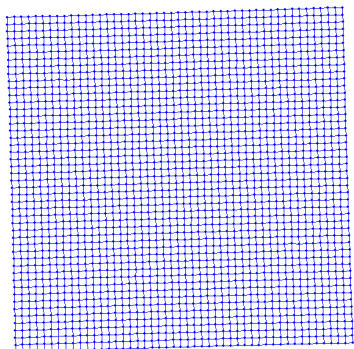


Figure 3. Visualization of LED localization

At the panels with RGB elements there is necessary to perform the evaluation of every colour element. It could be supposed, that with using of RGB sensor it would be captured in every colour element of the picture an image of LED with corresponding colour. It is not so, because the spectrum of LED does not correspond exactly with the sensitivity of camera sensors. This phenomenon is demonstrated in figure 4, where is on left a source image of one point of the panel and also values of R, G, B channels of the image. So it is necessary to perform the filtration of values of all colour channels, so there can be correctly recognized colours of LEDs in their current position. Similar problem has to be solved at the panel with white, red and orange colour. Data has to be decomposed into these channels.

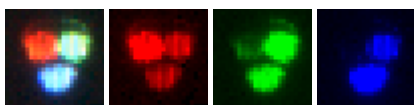


Figure 4. Diffraction of LED colours in the sensor

Whole evaluation of the luminance analysis is decomposed into three basic steps. First step is the localization of single LED. Required output is the area in source image, where are located LEDs (list of pixels). Other part stands in determination of their real position in the panel, i.e. index of row and column of current LED. As soon as the locations of light points are known, their luminance can be determined. For that we can use the calibration functions, which were obtained during laboratory measurement of used camera properties, lens and filters. Because every single camera has its own characteristic properties, there is necessary an individual calibration of every device. Last step is processing of results. In the figure 5 there is a block diagram of the algorithm.

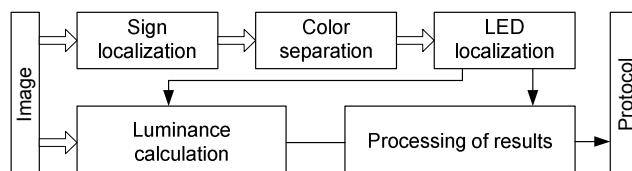


Figure 5. Diagram of algorithm function

In the source image is at first found the area, where is captured the image of the sign. In following steps it is not necessary to process the parts of image without useful data. Following block performs diffraction of colours into colour channels that involve only values of corresponding LED colours. Next step is the localization of LED in single colour channels. For all pixels assigned to each LED there is performed a transformation of values of source image into luminance with the calibration function in the block "Luminance calculation." The result is one value for each LED. These values together with real positions are processed in last block into the form of statistics, graphs and protocol.

### Application

Measuring application is designed for easiest use as possible with a view to repeated measurement. It has a form of guide. The operator has to walk through all steps, which are necessary for performing a measurement. Measurements of each panel can be different depending on its physical dimensions, displayed image, luminance and other parameters. Because of that the program enables saving of measuring setup profiles. First step of the guide is choosing a profile followed by image capturing. Obtained image is automatically loaded to the program and followed by performing of analysis. In the figure 6 there is shown the state of the application after finding single LEDs and calculation of their luminance. Positions can be checked in the source image that is filled in with circles around each found LED. Values of luminance are presented in the table, which is disposed to correspond with the disposure of the panel. In the table there can be viewed absolute values of luminance, or relative values related to all or just neighbor LEDs with the same colour.

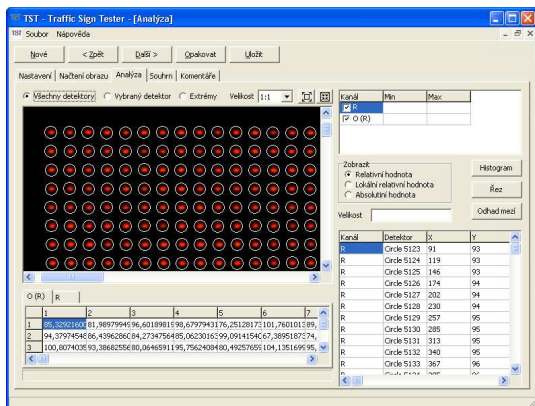


Figure 5. Look of the application

In the image and also in the table it is possible to highlight extreme values of luminance. So the operator has a quick overview about measurement results and can eventually revise some parameters and repeat the measurement.

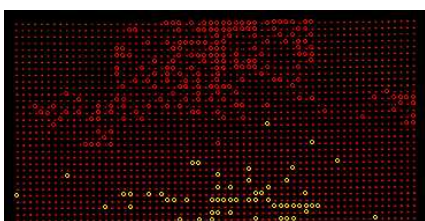


Figure 6. Example of extreme values highlighting

Also there are available windows for evaluation of values histogram and distribution of luminance in current row and column of the light panel. With these windows the homogeneity of luminance of whole panel or its part can be evaluated. In figure 7 there is example of content of histogram window, where is viewed cumulative histogram of relative luminance values of the whole panel. Sharper this curve, the homogeneity of the panel gets better.

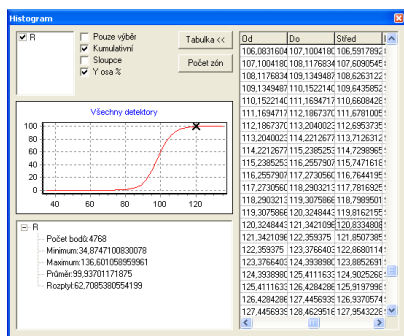


Figure 7. Histogram window

All values evaluated in the program, luminance, histograms, and others can be exported into format, which is usable in any table processor or other software. So it would be possible to use the measured data e.g. for calibration of displaying panel. Final output of the program is the protocol involving the review of all measurement results. Here are also presented basic statistic data for every colour channel. On the basis of defined limits there are listed the LEDs that do not achieve required parameters in the protocol.

## Calibration

Calibration of the camera has several levels. It was necessary to obtain calibration functions for all types of LED sources, i.e. RGB, warm white and cool white LED. Calibration involves also the properties of device from the view of setting correct values of aperture and exposure time, which are not completely identical with metadata of captured image. Other part of the calibration deals with additional filters, which enlarge the range of measurable luminance. However the detailed description is not a goal of this paper. Calibration process is one of the most difficult parts of the device completion and without correct calibration file it is impossible to assess the panels.

## Conclusion

Designed and produced device was tested in real conditions and the client uses the device at the process of quality management of produced panels. The idea of simplification of human work, objectification of measurement results and their accurate documentation was achieved. Within solving this project there were checked new algorithms for digital photographs processing, especially new approaches to evaluation of multiple local luminance sources and their statistics. Thanks to statistical evaluation it is easily possible to assess the quality of panel and achieve higher quality of products, then they were without objective checkout. The device removes key problem of the whole assessment process, which was subjective perception of the user and also impossibility of high contrast processing by naked eye. Also a quantitative volume of processed data is several times better, than by using only human observer. Time demands are also much lesser.

## ACKNOWLEDGEMENTS

This paper contains the results of research works funded from project No. MSM0021630516 of the Ministry of Education, Youth and Sports of the Czech Republic. The research was performed in Center for Research and Utilization of Renewable Energy Sources. Authors gratefully acknowledge financial support from European Regional Development Fund under project No. CZ.1.05/2.1.00/01.0014.

## REFERENCES

- [1] LumiDISP, Software for luminance analyse, [online]. [cit. 2011-08-19]. Available from WWW: <<http://www.lumidisp.eu>>.
- [2] ŠKODA, J.; BAXANT, P.: Luminance analyses of OLED displays (in Czech). In Kurz osvětlovací techniky XXVII. 2009. s. 218-222. ISBN: 978-80-248-2087-3.
- [3] BAXANT, P., SUMEC, S.: Program instruments for digital photography in photometry. In SVĚTLO 2004. Brno: Česká společnost pro osvětlování, 2004. s. 312-317. ISBN: 80-238-8928-1.

**Authors:** Assoc. Prof. Ing. Petr Baxant, Ph.D., Brno University of Technology, Faculty of electrical engineering and communication, Department of Electrical Power Engineering, Technická 10, 616 00 Brno, Czech Republic, e-mail: [baxant@feec.vutbr.cz](mailto:baxant@feec.vutbr.cz)  
 Ing. Stanislav Sumec, Ph.D., Brno University of Technology, Faculty of electrical engineering and communication, Department of Electrical Power Engineering, Technická 10, 616 00 Brno, Czech Republic, e-mail: [sumec@feec.vutbr.cz](mailto:sumec@feec.vutbr.cz)  
 Ing. Tomáš Pavelka, Brno University of Technology, Faculty of electrical engineering and communication, Department of Electrical Power Engineering, Technická 10, 616 00 Brno, Czech Republic, e-mail: [xpavel18@stud.feec.vutbr.cz](mailto:xpavel18@stud.feec.vutbr.cz)

# LED Spectra and Melatonin Suppression Action Function

**Abstract.** In this article the effect of more than forty light sources on melatonin production is presented. As is already known, melatonin is an extremely important hormone. Irregular cycles of melatonin concentration may also lead to various medical conditions. We found that the monochromatic sources with light in the yellow part of the visible spectrum (low pressure sodium (SOX) and Amber LED) have the least influence on melatonin production. The biggest established influence has LED with a high correlated colour temperature.

**Keywords:** Melatonin suppression, LED, Human biorhythm

## Introduction

Many articles have appeared in public recently, discussing the influence of light colour on melatonin production and related health problems of people. In one of these articles [1], it is written that the blue light spectrum is the one that most effectively terminates melatonin production in humans. Later in this article, the author refers to the statements of the »Dark sky society« and says that lack of melatonin during sleep increases the likelihood of breast cancer, prostate cancer and colon cancer and causes circadian rhythm disorders (biorhythm), which may also be the cause for insomnia, depression, obesity and type II diabetes.

We decided to examine the influence of light colour, i.e. light spectrum of specific commercial light sources on melatonin production, since in such articles and on the basis of the mentioned arguments, many have often written about potentially hazardous light sources.

As a basis for determining the impact of light spectrum on melatonin production, we took the activation curve, which is defined by the U.S. patent U.S. 7,678,140 B2 [2]. Based on this curve, it is possible to calculate the amount of influence of individual light spectrum on melatonin suppression.

## Background of the problem

People are so well-adjusted and accustomed to light, that most of the time in our everyday life we do not realize how important it is. Only when there is not enough light and therefore we have difficulty performing different visual tasks or orientate in relation to surroundings, we become aware of its importance.

Human body detects more than 90% of all information from environment through vision and that is why light is so important to us. But light is not important to living beings only because of the image information that it brings, but also because of the so-called non-image effects. We receive visual information via the receptors that have long been known: cones and rods, our body receives non-image information through the so-called "third receptor."

The third photoreceptor or light-sensitive retinal ganglion cells contain photopigment melanopsin and send information about light through the retinohypothalamic tract to suprachiasmatic nucleus (SCN), located in the hypothalamus. Alternating cycles of light and darkness, entering the mammalian body through the eye, affect the functioning of the SCN and consequently cause the cyclic secretion of melatonin from the pineal gland. Virtually in all species, the levels of melatonin are high at night and low during the daytime (Fig. 1). Therefore, this hormone is also often called the sleep hormone.

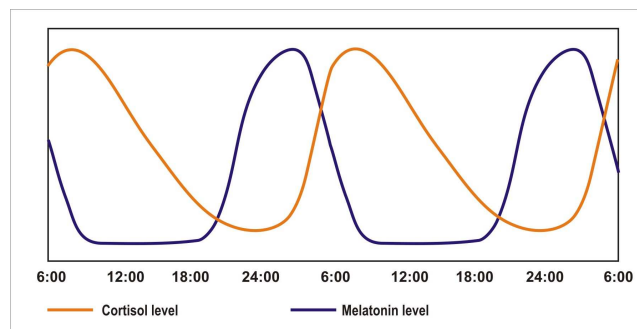


Fig. 1. Concentration of melatonin and cortisol in the daily cycle of human (48 hours)

Human biorhythm is regulated by hormones. In this respect, the most important hormones are melatonin and cortisol. Cortisol affects many functions in our body, and it also affects metabolism and immune function among other things. The concentration of cortisol is highest in the morning, when we are busiest and also under stress. This hormone is often called the stress hormone.

Production of hormones is "synchronized" with the light a man is exposed to every day. If the human eye does not receive adequate amounts and the corresponding colours of light at the appropriate moment, there might come to biorhythm desynchronization, which is initially reflected as insomnia, fatigue, and moodiness and later can also be reflected as chronic illnesses.

Melatonin is a hormone characteristic of man. It is produced in the pineal gland, which is located in the centre of the brain, but outside the blood-brain barrier. Melatonin participates in the cycle of sleep-awake so that it causes drowsiness and reduced body temperature. Nevertheless, the central nervous system (especially suprachiasmatic nucleus) is the one that regulates the daily cycle of the paracrine and endocrine systems.

It is known that melatonin also prevents DNA damage caused by carcinogens in all mammals, by halting the underlying mechanisms, which cause cancer.

## The activation curve

By establishing the activation curve of melatonin, the basis was given upon which we can determine the influence of external factors on melatonin production and, consequently, the circadian rhythm. The patent-protected curve (Fig. 2) describes the impact of spectral composition of light on reducing melatonin production. The curve has its peak at 464 nm. In Fig. 2, the results of studies of melatonin concentration in the exposure to eight wavelengths are shown with full points (440 nm, 460 nm, 480 nm, 505 nm, 530 nm, 555 nm, 575 nm and 600 nm). The studies were conducted with 72 healthy people. The estimated value for light wavelength of 420 nm is shown with incomplete circle.

The curve shows the best sensitivity fit of retinaldehyde photopigments (vitamin A1), which have a maximum spectral sensitivity at 464 nm [3]. The correlation coefficient of this photopigment sensitivity and reduction of melatonin production is extremely high ( $R^2 = 0.91$ ).

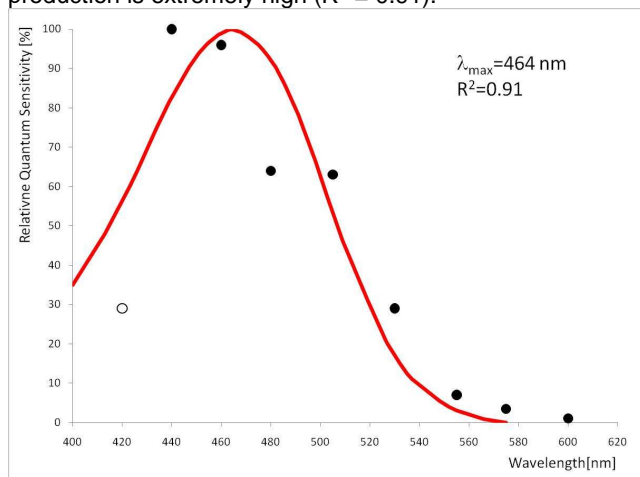


Fig. 2. Action spectrum for melatonin suppression

The graph shows that the sensitivity of the third photoreceptor, which affects the functioning of the pineal gland, is different from the spectral sensitivity of the human eye for visual perception of surroundings (cones and rods). The data on the impact of eight light wavelengths to inhibit melatonin production fit very nicely to the spectral sensitivity of vitamin A1 opsin. The sensitivity of this opsin is the largest in the range of the light spectrum of wavelengths between 446 and 477 nm of light and with this light opsin has the strongest circadian influence on melatonin production. According to the obtained data we can conclude that the newly discovered photopigment in the eye is primarily responsible for melatonin regulation. This is why melatonin regulation is separated from the visual (image) perception of the surroundings with cones (the highest sensitivity of cones is at 555 nm) and rods (maximum sensitivity at 509 nm).

It is known that high levels of lighting (2.500 – 12.000 lx) [4, 5] are used for the treatment of winter depression, and elimination of sleep disorders and circadian problems. Although these therapeutic levels of lighting are successful, some patients complain of side effects. The most famous are glare, fatigue, photophobia, visual discomfort and headache. Given the knowledge of the activation curve of reducing melatonin production, the situation for patients with "light therapy" could be greatly improved. Through personalized therapeutic equipment (selection of the appropriate wavelength), it is possible to greatly reduce the levels of lighting, thereby increasing patient comfort.

In the same way, with the selection of appropriate light sources and thus the spectral composition of light, other applications may be optimized, for example architectural and street applications. The best use of light in the external lighting would be the one which would have emphasized spectrum in the region, where the human eye sensitivity in mesopic vision is the highest and truncated spectrum in the region, where the biggest impact in reducing melatonin production is. If we manage to produce corresponding light sources, spurious and reflected light would not adversely affect melatonin production and we would actually be able to sleep in lit rooms.

### Light sources in interior and exterior lighting

Various light sources are used for both indoor and outdoor lighting devices. Fluorescent lighting is mostly used

for interior lighting of commercial buildings. High-pressure mercury (HP Hg) lamp was mostly used for factory halls and sports facilities (gyms) in the past, while today metal halogen lamps are used instead. Until recently, an ordinary lightbulb was mainly used in households, but it is recently being replaced by compact fluorescent lamps (CFL) and other more efficient energy sources. When it comes to exterior lighting in old installations, in most cases we encounter a high pressure mercury lamp (HP Hg), but the installations made in recent years, however, were mostly carried out using high pressure sodium (HP Na) lamps.

Over the past few years, we can observe how light emitting diodes (LED) are put in effect in all areas. According to some announcements, they should solve almost all problems with lighting in the future. First LED appeared around 1962, but were used only for signalling, since the radiated light flux was very small and only in the red part of the spectrum. Only in recent years a powerful white LED has been developed, which is also useful in lighting devices. The development of LEDs is irrepressible and current light efficiency under laboratory conditions is more than encouraging. However, luminous efficiency of LEDs, which are currently on the market in products (lamps), already competes with the light efficiency of high-quality fluorescent lamps. Of course, there are also LED advantages and disadvantages. The main advantage of LEDs is oriented light flux, which is so easily focused on the desired area. The main weaknesses are small area of lighting because of those high values of brightness (glare) and inefficient cooling, which is extremely important for maintaining light flux and life span. Today, LEDs with blue chip are mainly used for lighting, which is coated with a luminescent phosphor. Phosphor converts a part of radiated blue light into a wide spectral curve with a peak in the yellow part of the spectrum. A mixture of yellow and blue light is detected by the human eye as white light. This is also by far the most common way to generate white light using LEDs. It is precisely because of the blue chip that emits blue light in the visible part of the spectrum that LEDs are potentially dangerous for melatonin production.

Table 1. Light sources and correlated colour temperatures

Source	CCT [K]	Source	CCT [K]	Source	CCT [K]	Source	CCT [K]
HALO	2726	LED 1	1782	Fluo 1	2555	CMH 1	3064
		LED 2	2488	Fluo 2	2600	CMH 2	3026
		LED 3	2770	Fluo 3	2640	CMH 3	4127
		LED 4	3060	Fluo 4	2645	"Xenon"	4411
		LED 5	3062	Fluo 5	2687	LP Na	1760
		LED 6	3083	Fluo 6	2717	HP Na 1	1924
		LED 7	3084	Fluo 7	2791	HP Na 2	2090
		LED 8	3255	Fluo 8	2839	HP Hg	3693
		LED 9	3313	Fluo 9	3765	ML	4035
		LED 10	3776	Fluo 10	3906	Moon	4629
		LED 11	3783	Fluo 11	3913		
		LED 12	3834				
		LED 13	4056				
		LED 14	4075				
		LED 15	4097				
		LED 16	4593				
		LED 17	5394				
		LED 18	5501				
		LED 19	5742				
		LED 20	6240				
		LED 21	6358				
		LED 22	8768				
		LED 23	9584				

To study the impact of light sources on inhibition of melatonin production, we tried to include as many light sources as possible. We measured the spectral content in the visible part of the spectrum between 380 nm and 780 nm of each of these sources. We performed measurements of a halogen lamp, twenty three light emitting diodes, eleven fluorescent lamp, three metal halogen lamps, two high pressure sodium (HPS) lamps, a "Xenon" car lighting headlight, low pressure sodium lamp (LPS), a high pressure

mercury lamp (HP Hg) and a lamp for mixed light. For comparison, we also measured the spectrum of the moon. All spectra were measured with spectroradiometer Jeti specbos 1200. From the measured light spectrum for each source, we also calculated the correlated colour temperature (CCT - correlated colour temperature).

Light sources and correlated colour temperatures are given in the Table 1 and shown in the Fig. 3.

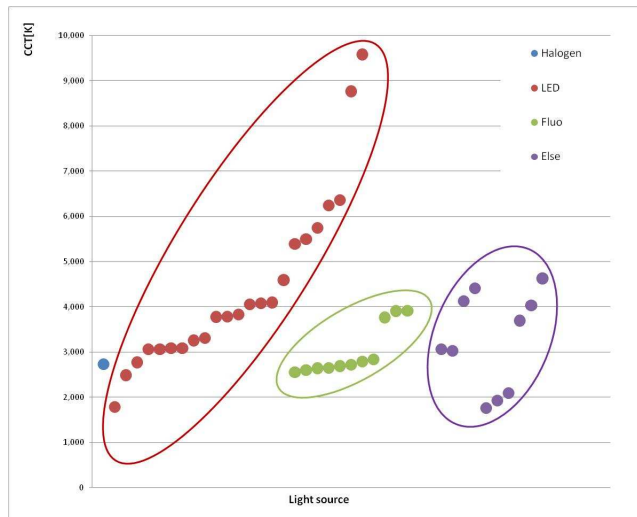


Fig. 3. Light sources and correlated colour temperatures

As can be seen in Fig. 3, the range of LED correlated colour temperatures is very strong, as values of 1782 K up to almost 10,000 K appear. With fluorescent lamps, measurements were performed only on samples with correlated colour temperatures between 3000 K and 4000 K, since these are most frequently used. With other sources, the measured correlated colour temperatures are between 1760 K with the low pressure sodium lamp, and up to 4629 K with the moon.

### Measured spectra

The spectrum of all light sources was measured at the same lighting value, which was achieved by varying the distance between the source and the sensor on the photometric bench. In the case of the moon spectrum measurements, the measured value was calculated to the same lighting value as in other sources. The moon spectrum was measured on a clear night, when the moon was full and there were no other light sources in the surrounding area.

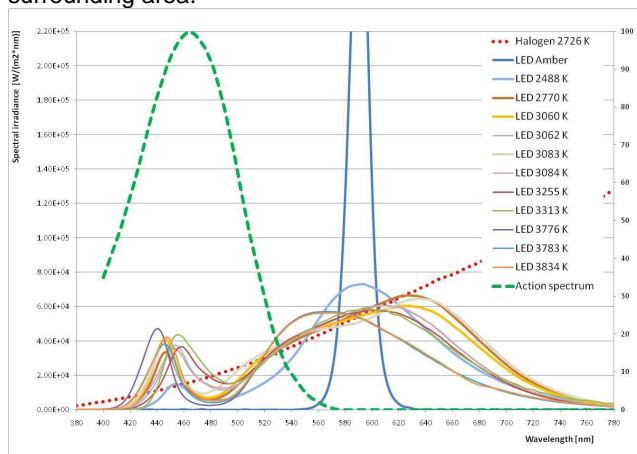


Fig 4. Measured spectra of some light emitting diodes

Some light sources spectra are shown in Fig. 4 - 6. The spectral content of halogen lamps and the activation curve for inhibiting melatonin production are also shown in all figures for comparison.

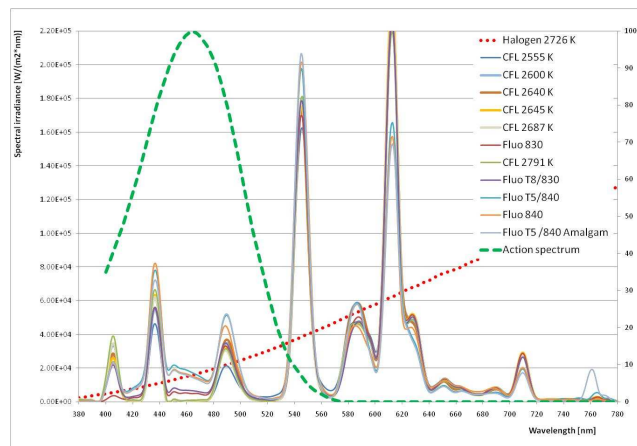


Fig. 5. Measured spectra of light of fluorescent lamps

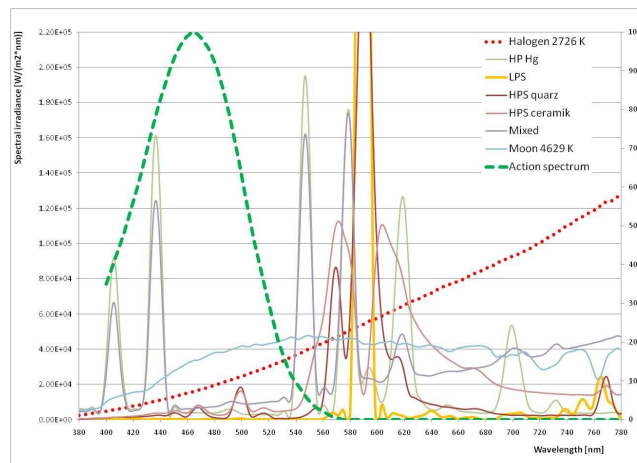


Fig. 6. Measured spectra of LPS, HPS, HP Mercury lamps, lamp for mixed light and the moon

### Calculation of light source influence on inhibition of melatonin production

For each measured spectrum we have used the activation curve to calculate the activation dose. This means, that we have multiplied the measured value for each of the wavelengths in the spectrum of the source by the value of the activation curve relative to the same wavelength.

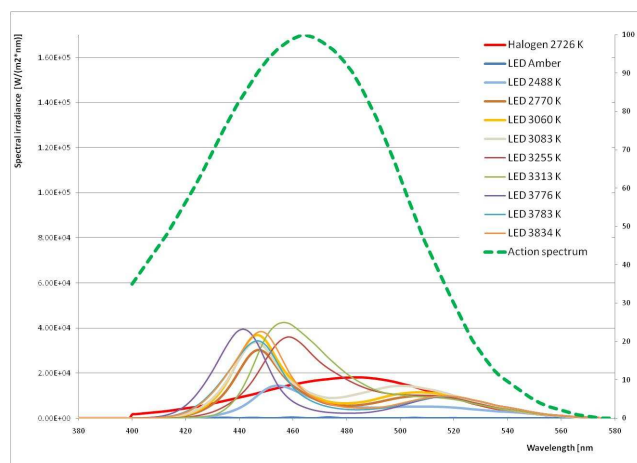


Fig. 7. Modified spectrum of light emitting diodes

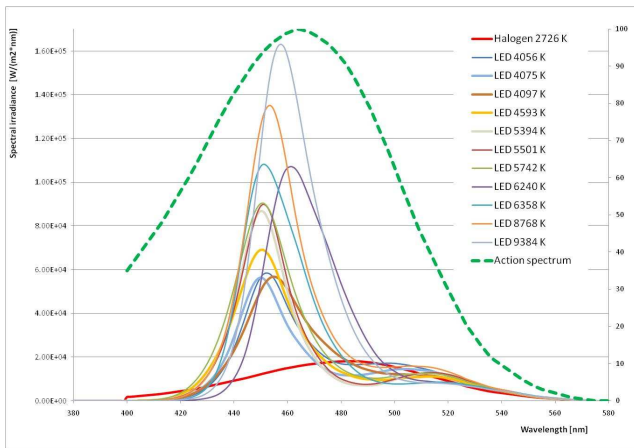


Fig. 8. Modified spectrum of light emitting diodes

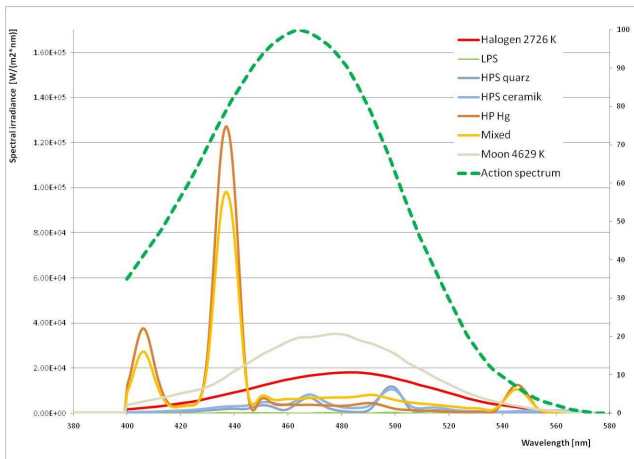


Fig. 9. Modified spectrum of LPS, HPS, HP Mercury lamps, lamp for mixed light and the moon

This is how we got the modified spectra. Some are shown in Fig. 7 - 9. The modified spectrum of halogen lamps and the activation curve for inhibiting melatonin production are also shown in all figures for comparison.

In order to determine the impact of each light source or its spectrum on inhibition of melatonin production, it is necessary to calculate the activation dose, which represents the integral of the modified spectrum over the entire field of visible light (380 nm - 780 nm), i.e. the surface image of the modified spectrum.

To facilitate comparison, we linked the size of activation dose relative to activation dose of halogen lamps. Thus, the halogen bulb has 100% size of activation dose, and the doses of other light sources are properly calculated. The results of this analysis are shown in the table 2 and in the figure 12. Among all light sources, two stand out, which have very small activation dose, which is not surprising. In fact, we expected that the monochromatic sources of light in the yellow part of the visible spectrum (LP Sodium lamp and Amber LED lamp) had very little impact on melatonin production. Measurements only confirmed that the impact of these two sources on melatonin production is negligible and in fact correspond ideally to the wishes we wrote at the end of the third chapter. It was also expected that HPS lamps to have little impact on melatonin production. The measurements lived up to this expectation as well, for the impact of these lamps is about 5 times lower than the impact of the halogen bulb.

Table 2. Relative influence of individual light sources on inhibition of melatonin production

Source	Influence [%]
HALO	100
LED 1	0.7
LED 2	48.6
LED 3	87.3
LED 4	102.7
LED 5	107.8
LED 6	109.3
LED 7	110.0
LED 8	113.7
LED 9	127.5
LED 10	96.7
LED 11	94.7
LED 12	102.7
LED 13	162.7
LED 14	149.6
LED 15	163.0
LED 16	174.3
LED 17	184.9
LED 18	191.5
LED 19	216.5
LED 20	253.4
LED 21	236.7
LED 22	292.4
LED 23	333.7

Source	Influence [%]
Fluo 1	61,8
Fluo 2	72,5
Fluo 3	78,3
Fluo 4	74,7
Fluo 5	75,3
Fluo 6	80,7
Fluo 7	80,9
Fluo 8	91,2
Fluo 9	149,0
Fluo 10	141,0
Fluo 11	139,6

Source	Influence [%]
MH 1	106,2
MH 2	101,4
MH 3	183,4
Xenon	177,5
LP Na	1,5
HP Na 1	20,6
HP Na 2	31,1
HP Hg	133,8
ML	124,0
Moon	182,9

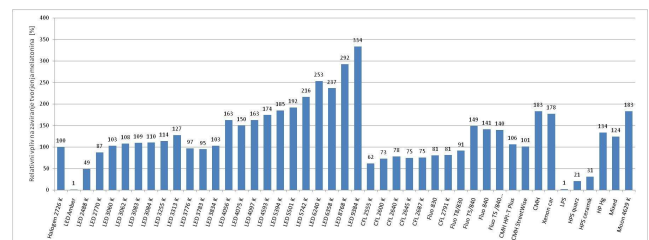


Fig. 9: the relative influence of individual light sources on inhibition of melatonin production

From the graph in Fig. 10 we can see that the impact on inhibition of melatonin production almost linearly increases by increasing the CCT and for all types of light sources (Fig. 10). The monochromatic source (LPS and Amber LED) have the least impact, while the LED with the highest CCT has the biggest impact (9584 K). What is also interesting is the fact that all fluorescent lamps marked X30 (530, 830 or 930) have less impact on melatonin production than a halogen bulb.

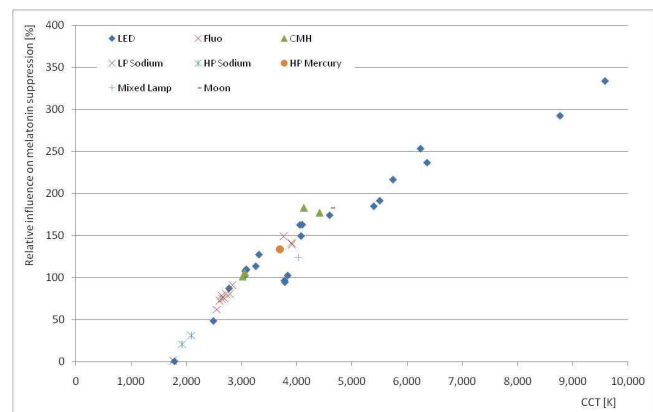


Fig. 10. Relative impact on the inhibition of melatonin production by comparison with correlated colour temperatures

### Conclusion

In this study we found that the light sources, which have a low impact on melatonin production, but still emit light in the part of the spectrum that corresponds to mesopic vision, exist. However, we must not forget that both these sources are practically monochromatic and do not allow for colour detection of surroundings. Amber LED as well as LPS lamp has the top of the spectrum at 590 nm, i.e. outside the activation range of vitamin A1 Opsin. The sensitivity of this

one at the wavelengths above 550 nm is less than 5% of the maximum value at 464 nm. LEDs which have emphasized blue spectrum or have little luminescent phosphor inhibit melatonin production the most. The blue LED, which is the basis for most modern white LEDs, has the tip of the spectrum between 450 and 460 nm, i.e. just in the area of maximum spectral sensitivity of vitamin A1 Opsin. Therefore, such diodes have up to 300% greater negative impact on melatonin production than a halogen lamp. If we compare the LP Na lamp and the LED lamp with the correlated colour temperature of 9584 K, we would find that the LED lamp has even 225 times greater effect on inhibition of melatonin secretion.

#### REFERENCES

- [1] Andreja Kutin, "Is the blue light an ecological disaster?" Article in the weekly newspaper "7 days", 20.1.2010, "Večer", Maribor, 2010.
- [2] Brainard et al., US patent 7,678,140 B2, 2010.
- [3] Partridge J. C., De Grip W J; A new template for rhodopsin (vitamin A1 based) visual pigments; Vision Research, Volume 31, Issue 4, 1991, Pages 619-630

- [4] Wetterberg L; Light and Biological Rhythms in Man; Stockholm; Pergamon Press 1993
- [5] Lam R W, Seasonal Affective Disorder and Beyond: Light Treatment for SAD and Non-SAD Conditions; Washington, D.C. American Psychiatric Press, 1998,
- [6] <http://sl.wikipedia.org/wiki/Melatonin>

**Authors:** *prof. dr. Grega Bizjak, Laboratory of Lighting and Photometry, Faculty of Electrical Engineering, University of Ljubljana, Trzaska cesta 25, SI-1000 Ljubljana, Slovenia*  
*grega.bizjak@fe.uni-lj.si*

*dr. Kobav Matej Bernard, Laboratory of Lighting and Photometry, Faculty of Electrical Engineering, University of Ljubljana, Trzaska cesta 25, SI-1000 Ljubljana, Slovenia*  
*matej.kobav@fe.uni-lj.si*

## How Energy Efficient is Road Lighting Practice in Slovenia

**Abstract.** Road lighting practice is different from country to country. In some countries like in Slovenia not only the standards like EN 13201 form the base for Road lighting design but also some other legislation. To protect the living premises from the light trespassing, to reduce the energy used for outdoor lighting and also to limit the influence of the outdoor lighting installations on environment protecting so the nocturnal animals and dark sky the Slovenian Government adopted a Decree on Limit Values due to Light Pollution of Environment. The Decree, which was adopted in 2007, sets rather high limits not only on protection of environment but also on energy consumption for road lighting. In contrary to the standards which are only recommended the Decree is compulsory. To be able to evaluate the needed changes in road lighting practice first the current state of road lighting installations were checked. As it is described in paper, the state of the road lighting in Slovenia is not very good. For example: still a lot of high pressure mercury lamps with high nominal power are in use. To be able to evaluate the possible energy savings and to estimate how rigorous the limits set by the Decree are, many different studies and test installations were made. The results, which will be presented in a paper show, that with the use of the practice based on the European standards and with the use of state of the art luminaires and light sources significant savings - more than 30 % - can be achieved.

**Keywords:** Road Lighting, Energy Efficiency

### Introduction

The purpose of road lighting is to make people, vehicles and objects on the road visible without causing discomfort to the driver. Around 30% of the all the road accidents occur during the dark hours. Further, the accident risk is around 1.5 ... 3 times greater during the night than during the day time. However, the traffic during the dark hours is around 30% of the daily traffic. Generally, road lighting reduces the accidents by approximately 30% [1]. On the other hand, road lighting is also a large consumer of electrical energy. According to available data around 1.3% of the total produced electrical energy is used for road lighting in European Union (EU) [2]. To reduce the energy use in lighting, the European Parliament and the European Commission adopted different Directives and Commission Regulations in this field. For the similar reason the Decree on Limit Values due to Light Pollution of Environment [15] was adopted in Slovenia.

According to the Slovenian regulations for road planning [3], [4] the road lighting needs to be installed on roads in settlements (urban areas), on branches and crossroads of major roads outside the settlements, on bus stops, on pedestrian crossings and on sidewalks near them, on gas stations, rest areas and parking lots. The main purpose of the lighting is to assure traffic safety for the road users as well as to decrease the crime rate in residential areas.

The total length of roads in Slovenia is 38.500 km, of which 4800 km are state owned and the rest belongs to municipalities. The length of the illuminated roads is not known but it is estimated that there are approximately 200.000 road lighting luminaires installed in Slovenia. The road lighting outside the settlements is in competence of State (Slovenian Road Agency) and for the one in the urban areas the Municipalities needs to take care of. That includes also the financing of maintenance and energy costs. After the independence of Slovenia in 1991, a large number of new and rather small municipalities were established. As their budget is not very high and there are a lot of problems they need to take care of, the road lighting was mostly put behind. The installations in city municipalities are newer but in many rural municipalities very old installations with high pressure mercury lamps are not only still in use, but also represent the majority. Consequently, the average energy use for road lighting in Slovenia is rather high. According to data collected in 2008 [5], the annual electrical energy for lighting the roads is 165.2 GWh or more than 84 kWh per capita. Taking into account that average CO<sub>2</sub> emission for production of electrical energy in Slovenia is 530 g

CO<sub>2</sub>/kWh [6], the contribution of road lighting to the green house emissions is 87 600 tons of CO<sub>2</sub>.

### Recommendations, laws and practices for road lighting design

Road lighting design, practices and recommendations vary in detail from one country to another. Road lighting design, calculations and measurements in Europe are based on technical report EN 13201:1 [7] and the standards EN 13201:2-4 [8], [9], [10] prepared by the European Committee for Standardization (CEN). The recommendations of the standard EN 13201:2-4 have been interpreted in different manners in different countries.

The planning of road lighting is mostly done by the electrical engineers and based on the Recommendations for road lighting published by Slovenian Road Agency and Lighting Engineering Society of Slovenia [11]. The recommendations are based on European standard EN 13201, CIE documents concerning road lighting and some modern standards for road lighting from other countries. The use of recommendations as well as the use of adopted EU standard SIST (Slovenian Institute for Standardization) EN 13201:2-4 is not mandatory. The lighting classes listed in recommendations [11] are very similar to the ones in CIE 115:2010 [12] or EN 13201 [8]. The main classes are M for roads mainly used for motorized traffic, P for pedestrian areas and C for conflict areas. From 6 basic M classes (Table 1) two (M3 and M4) are additionally divided into M3a, M3b, M3c and M4a, M4b but the changes are only in longitudinal uniformity UI.

In the annex C of the recommendations also MEW classes (from 1 to 5) are listed for which the requests include the minimal values for U<sub>0</sub> for wet surface. These classes are listed only informatively and remarked as used only in climatic areas where roads are wet most of the time. They are not intended for use in Slovenia.

According to the measurements [13], [14] most of recent projects are in line with EN 13201 which is not the case with older installations. Where high pressure mercury lamps (HPM) are still in use, the values of luminances or illuminances are mostly too low although the uniformity is good. Measurements show luminance below 0.5 cd/m<sup>2</sup> on roads of classes M4 or even M3. On the other hand, where old luminaires with HPM lamps were replaced by new ones with high pressure sodium (HPS) lamps, the values of luminances or illuminances are mostly too high. They can reach more than two times the recommended value.



Measurements show up to 1.9 cd/m<sup>2</sup> on roads of M3 and M4 classes.

Table 1. Requirements for M lighting classes from Slovenian recommendations.

Class	Luminance of the road surface of the carriageway			Disability glare	Lighting of surroundings
	Lm cd/m <sup>2</sup> , min	U0 min	UI min	TI % max	SR min
M1	2.0	0.4	0.7	10	0.5
M2	1.5	0.4	0.7	10	0.5
M3a	1.0	0.4	0.7	15	0.5
M3b	1.0	0.4	0.6	15	0.5
M3c	1.0	0.4	0.5	15	0.5
M4a	0.75	0.4	0.6	15	0.5
M4b	0.75	0.4	0.5	15	0.5
M5	0.5	0.35	0.4	15	0.5
M6	0.3	0.35	0.4	15	-

In year 2007, the Government of Slovenia adopted a Decree on Limit Values due to Light Pollution of Environment [15]. The aim of the decree is to protect the living premises from the light trespassing, to reduce the energy used for outdoor lighting and also to limit the influence of the outdoor lighting installations on environment protecting so the nocturnal animals and dark sky. In the field of public street lighting, the decree regulates maximum allowed electrical energy consumption per capita and per year. The allowed per capita amount of energy consumption for street lighting managed by municipalities is yearly 44.5 kWh and additional 5.5 kWh are allowed for lighting of state roads and motorways. Besides that, only the properly mounted luminaires with ULOR (Upward Light Output Ratio) equal zero are allowed. The exceptions are luminaires used in areas protected as cultural monuments (e.g. old city centres), where ULOR < 5% is allowed if power of the lamp is less than 20 W and if the illuminance on the ground is less than 2 lx. Also, luminaires which are part of the protected cultural monuments (e.g. old bridges) are allowed if the power of the lamp is less than 20 W. The decree demands that the energy consumption needs to be adapted and all inappropriate luminaires need to be replaced by the end of 2016.

#### Energy consumption by used lighting technology

Outdoor lighting consumes a lot of energy and many of the major highways and residential streets are illuminated. The road lighting luminaires are long lasting and therefore many luminaires use old, outdated and inefficient technology. Also, different practices are used to select the luminaires.

As part of the former Yugoslavia, Slovenia had well developed lighting industry. The main producer of the road luminaires was Elektrovina (later bought by Siteco). The most popular luminaire for road lighting was model CD and for the pedestrian areas mostly models UD and UE were used. CD luminaires were originally equipped with one high pressure mercury (HPM) lamp of 250 W or 400 W. There are still a lot of these luminaires along Slovenian roads but most of the ones, placed along state roads, were later refurbished with high pressure sodium (HPS) lamps with 150 W or 250 W. UD and UE models were originally equipped with two 125 W HPM lamps and just few of them were later refurbished with 70 W HPS lamps. More recent road lighting luminaire from the same company is model CX which comes in two sizes and is mostly used with HPS

lamps. Most of the road lighting installations built in the last 15 years are made using these luminaires. In the years before the decree was adopted, also luminaires with compact fluorescent lamps (CFL) like Altra and Axial from Schröder or Philips FGS became very popular for pedestrian areas.

In some cities the municipalities renewed the road lighting during past years so modern and economic luminaires are currently in use. The light sources are mostly HPS lamps for roads and CFL lamps for residential and pedestrian areas. In such city-municipalities the average energy consumption per capita is usually around the limit of 44.5 kWh/capita set in the decree.

But in many (rural) municipalities rather old luminaires are still in use. Some are even older than 40 years. Although some of these old luminaires are equipped with HPS lamps, in most of them HPM lamps are still in use. For lighting of major roads mostly luminaires with HPM or HPS lamps with high electrical power of 400 W or 250 W are used. For lighting of streets in residential areas smaller luminaires are used and are mostly equipped with one or two HPM lamps with electrical power of 125 W.

In all older luminaires as well as in many new ones with HPS lamps electromagnetic ballasts are used. Electronic ballasts are mostly used with CFL lamps and where dimming is planned.

Table 2. Lamp numbers, energy consumption and greenhouse gas emissions of Ljubljana and Medvode in Slovenia.

	Ljubljana	Medvode
number of residents	276.091	15.068
number of lamps	33.237	1.280
number of HPM lamps	1.074 (3%)	234 (18%)
number of HPS lamps	15.407 (46%)	778 (61%)
number of MH lamps	2.537 (8%)	6 (0%)
number of CFL lamps	14.219 (43%)	262 (21%)
installed electrical power of road lighting, kW	3.824	320
annual burning hours of lamps	4.000	4.000
annual energy consumption of road lighting, GWh	15.3	1.3
annual emission of CO <sub>2</sub> , t	8.114	678
electricity price, €/kWh	0,108	0,113

To show the differences, some data for two municipalities are listed in the Table 2. Ljubljana is a capital of Slovenia and Medvode is a small town with rather large rural background.

Both cities are trying to reduce the energy consumption in last years by replacing the old luminaires with new ones. On roads the luminaires with HPS lamps are used but for pedestrian areas a white light is preferred so metal halide (MH) lamps or compact fluorescent (CFL) lamps are used. As can be seen from the data in Ljubljana, very few HPM lamps are still in use. In Medvode, the process of replacement is slower although in last two years 185 new lamps (36 W CFL lamps) were installed instead of older, mostly HPM lamps reducing so the electrical power of street lighting by 33.5 kW.

## Experiences with modern and efficient technology in street lighting

The Ecodesign Directive will phase out inefficient high pressure mercury lamps used in road lighting by the end of 2015. Energy efficient lighting technologies that could reduce energy consumption already exist and efficient solutions in Slovenia are already in use.

In Slovenia already years ago, in many luminaires high pressure mercury (HPM) lamps were replaced with high pressure sodium (HPS) lamps together with ballasts along major (state) roads. Although the achieved energy savings were considerable the main reason for the replacement was to achieve better lighting conditions. After the energy prices became higher, some municipalities found out that with the investment in road lighting considerable savings in energy (and money) can be achieved. The typical example is city Celje, where with replacement of all 4080 luminaires the energy consumption was reduced from 3706.7 MWh down to 1801.7 MWh [16]. Other possibilities were also considered and used by some municipalities like:

- replacement of HPM lamps with hybrid HPS lamps where replacement of ballast is not needed;
- replacement of residential area luminaires with HPM lamps with luminaires using CFLs.

After the adoption of the Decree on Limit Values due to Light Pollution of Environment the municipalities are forced to replace the old luminaires with new ones as the old ones do not comply with the requirements of the decree anymore. For the road lighting, practically only luminaires with HPS lamps are used and for the street lighting in residential areas luminaires with CFL lamps, but also with metal halide (MH) lamps are used. In last year also some luminaires with LEDs were installed.

In most cases the municipalities just replace the old luminaires with new ones on the same poles. As indicated in examples from Ljubljana and Medvode, HPS and CFL lamps are mostly used. Beside this option some municipalities also try to reduce the energy consumption with measures like:

- reduction of voltage and so also the reduction of energy used;
- use of two-step regulation ballasts to reduce the luminance and power consumption in night time;
- switching off the lighting in night time.

One possibility is also introduction of control systems. This option was considered in last year in some of Slovenian city municipalities and at least in Ljubljana some test installations are already in operation. But we can expect that regulation of luminous flux (dimming) will not be widely used in Slovenia. Due to Decree municipalities need to change practically all the luminaires in next years and due to lack of funds the luminaires are changed on one to one basis. With new luminaires old installations are still in use and in most cases they do not enable use of control systems or even a step reduction of luminous flux in a night time.

As most of the saving measures bring also better lighting conditions, they are well accepted by the citizens. There were some complaints about yellowish light and poor colour rendering after replacement of HPM with HPS lamps. That is why for the residential areas now mostly the CFL and MH lamps are used. There were no complaints of using luminous flux reduction in night hours as practically nobody noticed that. On the other hand, there were rather large complaints on switching off the lighting in night hours so this measure, although it brings large energy savings, will probably not be widely used in Slovenia.

## Possibilities to save energy in street lighting

In Slovenia, already before the adoption of the Decree on Limit Values due to Light Pollution of Environment, some municipalities realized that with the investments in the modernization of road lighting the cost for the electrical energy can be significantly reduced. And with the adoption of the decree, the municipalities are practically forced to modernize the road lighting and so to reduce the energy consumption. As the main obstacle in many municipalities is the lack of investment funds they are trying to finance the investments through the achieved savings.

The amount of electrical energy, which municipality can save bringing the road lighting in accordance with the requirements of the decree is dependent of the state of the lighting and saving measures already taken by municipality before the decree was accepted. The practice shows that the energy consumption can be reduced by 10% to 50%. Taking into account the present energy consumption for road lighting in Slovenian municipalities, we calculate that around 58.6 GWh or 35.4% yearly can be saved which represents 31 058 t of CO<sub>2</sub> less each year.

## Conclusions

From the described results of the research one can see that the old installations with high pressure mercury lamps are still in use to great extent in Slovenia. For new installations mainly high pressure sodium lamps are used but also first installations of LED luminaires are in operation. Because of the Decree municipalities in Slovenia will have to replace old luminaires with new more efficient ones in the next years. Experiences show that with the replacement of luminaires with high pressure mercury lamps and luminaires that do not meet the requirements of the Decree, approximately 30% of the electrical energy used for road lighting will be saved.

We believe that the obtained results can also, to some extent, be used for the whole European Union. For recent road lighting installations up to date technology is used in all countries which means luminaires with high pressure sodium lamps but also some testing LED installations as well as testing installations of lighting control systems. The same can be stated also for state of the old installations. All over the EU still a large number of old luminaires with high pressure mercury lamps are in use. And due to the ban on this light source, it will need to be replaced in the next years. That means that the estimated energy saving potential of 30% can also be used for whole EU. Modernization of road lighting would thus reduce the use of electrical energy in EU by 10.500 GWh yearly which means also 4.7 Mt less of CO<sub>2</sub> emissions each year.

## REFERENCES

- [1] International Commission on Illumination, 1992, Road Lighting as an Accident Countermeasure, Vienna, Austria.
- [2] P. Van Tichelen et al, 2007, Final Report Lot 9: Public street lighting, Vito, p. 344.
- [3] Government of the Republic of Slovenia, 2008, Law on road safety, Official Gazette of Republic of Slovenia, Vol. 56/2008, Ljubljana.
- [4] Ministry of Transport, 2005, Book of rules for road design, Official Gazette of Republic of Slovenia, Vol. 91/2005, Ljubljana.
- [5] G. Bizjak, M.B. Kobav, 2008, Assesment of potential energy savings in interior and exterior lighting. Faculty of Electrical Engineering, University of Ljubljana, Ljubljana, p. 63.
- [6] Ministry of the Economy, 2010, Rules on the methods for determination of energy savings at final customers, Official Gazette of Republic of Slovenia, Vol. 04/2010, Ljubljana.

- [7] European Committee for Standardization, 2003, EN 13201:1 - Road lighting. Part 1: Selection of lighting classes, Technical report, p. 30.
- [8] European Committee for Standardization, 2003, EN 13201:2 - Road lighting. Part 2: Performance requirements, p. 16.
- [9] European Committee for Standardization, 2003, EN 13201:3 - Road lighting. Part 3: Calculation of performance, p. 41.
- [10] European Committee for Standardization, 2003, EN 13201:3 - Road lighting. Part 4: Methods of measuring lighting performance, p. 14.
- [11] Lighting Engineering Society of Slovenia, 2000, Recommendations for Road Lighting PR5-2, Ljubljana.
- [12] International Commission on Illumination, 2010, Lighting of Roads for Motor and Pedestrian Traffic, p. 45.
- [13] G. Bizjak, M.B. Kobav, 2004, Study on the potential savings of electrical energy for street lighting in municipality Hrastnik. Faculty of Electrical Engineering, University of Ljubljana, Ljubljana.
- [14] G. Bizjak, M.B. Kobav, 2009, Potential savings of electrical energy for street lighting in municipality Medvode. Ljubljana: University of Ljubljana, Faculty of Electrical Engineering.
- [15] Government of the Republic of Slovenia, 2007, Decree about limiting values of light pollution of environment. Official Gazette of Republic of Slovenia, Vols. 81/2007, 109/2007, 62/2010. Ljubljana.
- [16] Z. Alt, 2007, Experiences in design and maintenance of road lighting in municipality Celje, Road lighting and light pollution, Velenje.

---

**Authors:** *prof. dr. Grega Bizjak, Laboratory of Lighting and Photometry, Faculty of Electrical Engineering, University of Ljubljana, Trzaska cesta 25, SI-1000 Ljubljana, Slovenia*  
*grega.bizjak@fe.uni-lj.si*

*dr. Kobav Matej Bernard, Laboratory of Lighting and Photometry, Faculty of Electrical Engineering, University of Ljubljana, Trzaska cesta 25, SI-1000 Ljubljana, Slovenia*  
*matej.kobav@fe.uni-lj.si*

# Calculation of electrical energy use for lighting according to EN 15193

**Abstract.** Lighting is one of the main energy consumers in public buildings. About 50 % of electric energy or 30 % of all energy in public buildings is used for lighting. The required energy for lighting should therefore also be stated in the Energy Performance Certificate for buildings. This information can help the owner or manager of the building to understand the importance of energy efficient lighting and to stimulate them to plan proper lighting installations in new buildings and to renovate lighting installations in old buildings thus reducing energy consumption. The energy needed for lighting should be calculated in accordance with the European standard EN 15193.

**Keywords:** energy management; certificate for buildings; energy consumption; European standard EN 15193.

## 1. Introduction

On the 16<sup>th</sup> of December 2002 European Union adopted a Directive on Energy Performance of Buildings, abbr. EPDB [2]. The Directive EPDB aims to accelerate improvements in energy performance of buildings taking into account climate diversity in the EU, demand for residential comfort and cost efficiency.

Energy certification of buildings in our country (Slovenia) on the basis of EPDB has been decreed as mandatory by the amendment of Energy Act [7].

Part of the total energy consumption in buildings is also the energy used for lighting. In order to facilitate the calculation of this energy, a Standard SIST EN 15193:2007 (The Standard) was formed [1].

This Standard was formed to establish a procedure for the assessment of energy needed for lighting in buildings, and it provides a methodology for the numerical indicator of energy efficiency in buildings. With proper standard lighting in buildings the procedure that is designed in accordance with the scheme and good practice is essential. The Standard outlines techniques for separate metering of lighting's energy consumption providing real-time feedback (control) on the lighting's efficiency. Fig. 1 shows the process of determining electricity consumption for lighting in buildings.

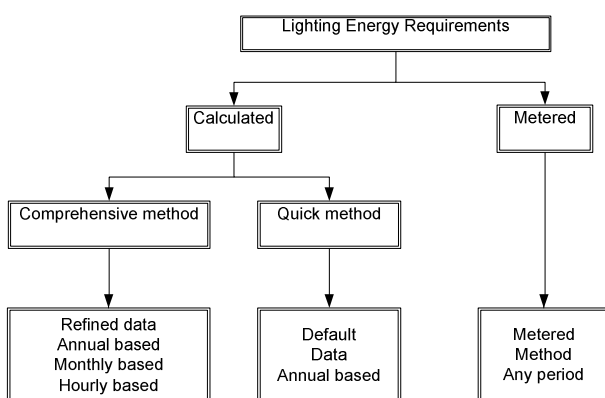


Fig. 1. The process of determining energy consumption for lighting

The Standard specifies the calculation methodology for estimating the amount of energy used for interior lighting in buildings, and numeric energy indicator for lighting that is used for certification purposes. Methodology for calculation can be used for existing buildings, new ones, and buildings intended for reconstruction. The Standard classifies

buildings in the following categories: offices, education facilities, hospitals, hotels, restaurants, sports facilities, retails, services and factories. Fig. 1 shows that electricity consumption can be measured or calculated.

When designing and installing lighting in Slovenia we have to follow Regulations on energy efficiency in buildings (*slo. Pravilnik o učinkoviti rabi energije v stavbah*) PURES 2010 [3] and technical guideline (TSG-1-004). The technical guideline TSG-1-004 [4] dictates that the power density of lights for education facilities and for scientific work has to be 13 W/m<sup>2</sup>. In our case, the power density of lights is 11,43 W/m<sup>2</sup>.

One of the main and important indicators of electricity consumption in buildings is the indicator LENI, which shows electricity consumption in kWh/m<sup>2</sup> per year. The standard describes a fast and comprehensive method of calculating electricity consumption in buildings. Calculation based on the fast method gives us the highest values compared with other methods, while a comprehensive method gives us slightly lower values. Electricity consumption can also be calculated using other methods. One of the methods is the calculation where we have to determine necessary factors based on experiences and a method in which we consider the impact of external light to the interior lighting. This method gave the lowest values, because the impact of external light to interior lighting is very strong.

Calculations of electricity consumption in a laboratory at the Faculty of Electrical Engineering in Ljubljana were carried out. At the Faculty there are two identical laboratories. Laboratory 2 has automatic lighting control, while laboratory 1 does not. Laboratory 2 has a built-in control, which depending on the external day light properly adjusts functioning of internal lighting. Calculated values will then be compared with the pre-measured values.

## 2. Description of premises

At the Faculty of Electrical Engineering in Ljubljana we can find different premises used for different activities (research facilities, lecture room, employee's offices). The working hours of most researchers are flexible. Most of them start at 7 o'clock in the morning and leave at 15:00. The first person to arrive usually turns on all the lighting. Unfortunately, employees do not have enough awareness, and have the lights on even when there is enough daylight. In order to prevent further electricity consumption for lighting, there was a monitoring of electricity consumption for lighting carried out in laboratories 1 and 2. The laboratories are 7 meters long, 4 meters high, and 3,6 meters wide (laboratory 1 and laboratory 2 are identical).

Working tables are placed along the length of the wall. The window represents the entire back wall with 1 meter parapet.

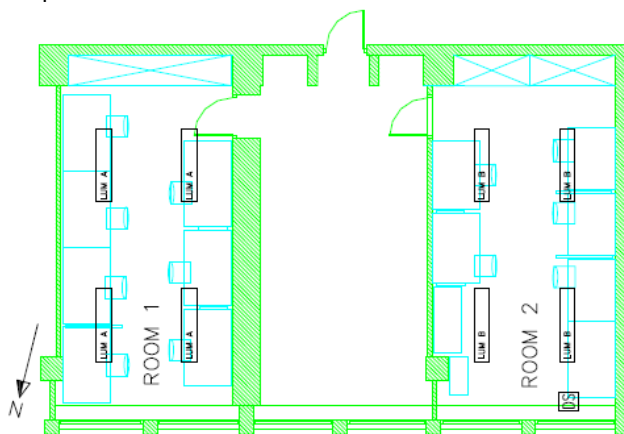


Fig. 2. Layout of the Laboratory

In the laboratory there are four 36W T8 fluorescent lamps with conventional electrical ballast. Lighting in the room is divided into two groups. In the first group there are lamps positioned near the window, and in the other group there are lamps positioned closer to the inner wall. Employees can turn on the first or the second group of lighting separately. [6]

### 3. Calculation based on the Standard SIST EN 15193:2007

First of all, the electricity consumption on the premises was calculated based on the Standard. The Standard EN 15193:2007 [1] provides the calculation of Lighting Energy Numeric Indicator - LENI which is used for certification purposes and is very useful for designing lighting control systems:

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

where

A is total usable floor area [m<sup>2</sup>]

W is total annual energy used for lighting, where

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

equals the sum of the W<sub>L</sub> annual energy demand and W<sub>P</sub> parasitic energy (emergency lighting and standby mode of emergency lighting).

#### Quick method:

When using the quick method for estimating the energy used for lighting in typical buildings, we use an equation 2. Variable W<sub>L</sub> depends on the installed lighting power P<sub>n</sub> and on factors F<sub>D</sub>, F<sub>C</sub> and F<sub>O</sub>.

Estimated energy usage for lighting W<sub>L</sub> which is necessary to fulfill the purpose of lighting in a building is determined by the following equation:

$$(3) \quad W_L = \sum \frac{P_n F_C (t_D F_O F_D + t_N F_O)}{1000} \quad [\text{kWh}/\text{year}]$$

where,

- P<sub>n</sub> is total installed lighting power in premises A [W],
- F<sub>C</sub> is factor of constant lighting,
- t<sub>D</sub> daily use, operating hours throughout the day [h],
- F<sub>O</sub> is a factor dependent on occupancy,
- F<sub>D</sub> is a factor of lighting usage,

- t<sub>N</sub> is time in use without daylight, operating hours without daylight [h].

Determining electricity consumption with the quick method, we get higher LENI values than with the more accurate comprehensive method.

Consumption of parasitic energy can be joined by adding 1 kWh/m<sup>2</sup>/year for emergency lighting and 2-5 kWh/m<sup>2</sup>/year for automated lighting control.

At the quick method LENI is determined with the equation 4 [kWh/m<sup>2</sup>year]

$$(4) \quad LENI = \frac{F_C P_n (t_D F_O F_D + t_N F_O)}{1000} + 1 + \frac{5[t_y - (t_D + t_N)]}{t_y}$$

where,

- P<sub>n</sub> installed lighting power in the building (W/m<sup>2</sup>),
- t<sub>y</sub> standard time of the year (8760 h).

Table 1: Calculation of the consumption with the quick method

Quick method: needed factors for calculation		
Area of the room (laboratory)	[m <sup>2</sup> ]	25,2
Number of lamps		4
Power of each lamp	[W]	72
Installed lighting power P <sub>n</sub>	[W]	345,6*
Factor of constant lighting F <sub>C</sub>		1
Hours in use t <sub>D</sub>	[h]	1800
Occupancy F <sub>O</sub>		1
Factor of lighting usage F <sub>D</sub>		1
Operating hours without daylight t <sub>N</sub>	[h]	200
Quick method		
Electricity needed W	[kWh/year]	691,2
LENI	[kWh/m <sup>2</sup> year]	32,287

\*installed capacity x 1,2

The needed values in Table 1 were retrieved from Appendix F of the Standard [1]. Rated lamp power is multiplied by 1,2 due to the ballast.

#### Comprehensive method:

The comprehensive method allows a more accurate determination of energy needed for lighting at different times of the year. An example can be made on a yearly or monthly basis. When applying the comprehensive method for calculating energy needed for lighting we use equation 5 for the required period t.

$$(5) \quad W_t = W_{L,t} + W_{P,t} \quad [\text{kWh}]$$

This method can be used for any period and for any location, provided that it is possible to predict total daily occupancy and quantity of daylight. W<sub>L,t</sub> is calculated according to equation 6, W<sub>P,t</sub> according to equation 7:

$$(6) \quad W_{L,t} = \sum \frac{P_n F_C (t_D F_O F_D + t_N F_O)}{1000} \quad [\text{kWh}]$$

$$(7) \quad W_{P,t} = \sum \frac{P_{pc} [t_y - (t_D + t_N)] + (P_{em} t_e)}{1000} \quad [\text{kWh}]$$

where

- P<sub>pc</sub> is installed power of the control equipment in premises

- $P_{em}$  is installed power for charging batteries for emergency lighting
- $t_e$  is time of charging.

The sum of  $W_{L,t}$  (equation 6) and  $W_{P,t}$  (equation 7) shows the needed electricity for lighting ( $W_t$ ) in a given period.

Table 2: Calculation of consumption using the comprehensive method

Comprehensive method: needed factors for calculation		
Area of the room (laboratory)	[m <sup>2</sup> ]	25,2
Number of lamps		4
Power of each lamp	[W]	72
Installed lighting power $P_n$	$P_n$ [W]	345,6*
Factor of constant lighting $F_C$	$F_C$	0,95
Hours in use $t_D$	$t_D$ [h]	1800
Occupancy $F_O$	$F_O$	1
Factor of lighting usage $F_D$	$F_D$	0,3064
Operating hours without daylight $t_N$	$t_N$ [h]	200
Comprehensive method		
Electricity needed $W_t$	[kWh/year]	246,74
LENI	[kWh/m <sup>2</sup> year]	9,7912

\*installed capacity x 1,2

The comprehensive method gives us slightly lower values due to the strong influence of daylight. Because of this the factor of lighting usage  $F_D$  is low ( $F_D = 0,3064$ ). If there is no presence of daylight  $F_D = 1$ . Necessary values are calculated using the Standard Appendix C [1].

#### 4. Other ways of calculating power consumption

As a third example of calculation, power consumption was calculated using a method where the characteristics of the Standard were not taken into account. Electricity consumption was calculated based on experiences and actual data. With this calculation approximate operating hours of lighting a day and occupancy of the premises are very important. On this basis we can calculate the approximate electricity consumption for the chosen laboratory. Based on assumptions we can speculate that this laboratory has lighting turned on at least 8 hours a day. In the Lab there are four lamps installed with 2x36 W T8 fluorescent tubes. Values required for the calculation are in table 3.

Table 3: Calculation of consumption with own method

Lighting operating time	[h/day]	8	10
Electricity needed W	[kWh/year]	622,08	777,6
LENI	[kWh/m <sup>2</sup> year]	24,686	30,86

Electricity consumption in the laboratory was also calculated using a fourth method by taking into account the impact of daylight to the interior lighting. When using this method the impact of daylight was carefully considered. We took into account the values of daylight stated for the city of Ljubljana. There is more light when the sun is highest in the sky. Therefore there is more available daylight in the summer than in the winter. The amount of light of course varies also with the time of day and reaches its maximum around noon. As can be seen from Fig. 3, in Slovenia (precisely in Ljubljana), the maximum illuminance in open area in July is just over 76.000 lux. In winter these values are much lower, for example, in January they do not exceed 25.000 lux.

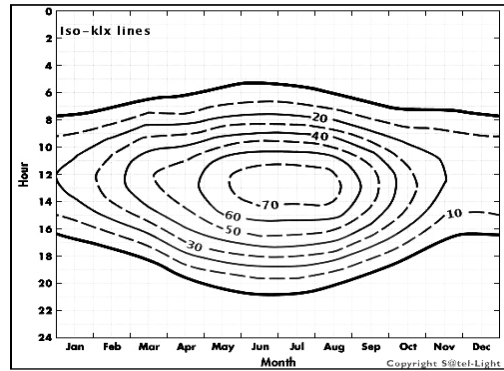


Fig 3. Illumination of Ljubljana

Success in designing high quality visual environment can be determined fairly well already at the stage of modeling in artificial conditions or with computer simulations. Mostly it is used for determining illumination that has to reach minimum requirements. Requirements for lighting or the daylight factor are determined depending on the activity happening on the premises. Due to daylight dynamics, illumination at a certain place and its absolute value in lux constantly changes, so we use a rate of daylight, as shown in equation 8 as the indicator of illuminance:

$$(8) \quad DF = \frac{E_n}{E_z} \times 100\%$$

where

- DF daylight factor,
- $E_n$  internal illuminance,
- $E_z$  external illuminance.

The daylight factor gives the ratio between the luminosity inside the premises ( $E_n$ ) and horizontal illumination outdoors ( $E_z$ ), which would be measured in the same place at the same time if there would not be a laboratory. The factor of daylight (DF) can be calculated with the geometry of the premises and the surrounding environment, and the properties of walls and windows, but it can also be determined through measurements. We usually make calculations for a number of different points within the premises, while it is necessary to consider light losses on the glazing. With the help of the relative daylight factor it is possible, with known or assumed illuminance outdoors, to determine the lighting and uniformity of lighting inside the laboratory. To calculate the illuminance in the laboratory ( $E_n$ ) it is necessary to determine a horizontal illuminance outdoors ( $E_z$ ) (Fig. 3) and multiply it with the factor of daylight (DF). In the selected points we calculate the factor of daylight. The daylight factor value decreases by increasing distance from the window.

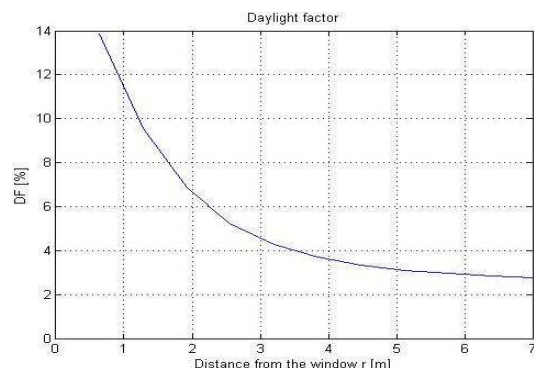


Fig. 4: Dependence of the DF on the distance from the window

Fig. 4 shows a decreasing ratio of daylight in dependence with the distance from the window.

To calculate the impact of daylight on the interior lighting we need the data of the average lighting under the first and the second line of lamps. We got this average value using the simulation program Dialux. The average value of illuminance in the working area under the first and the second line of lamps is 480 lux (Fig. 5).

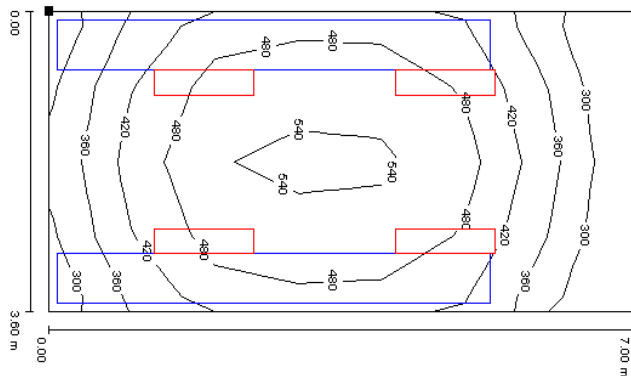


Fig. 5: Average illuminance at the working area

In the Laboratory it is necessary to keep the constant lighting at 500 lux [5]. Based on the calculated daylight factors and illuminance outdoor, we can calculate daylight illuminance at line 1 and 2. When illuminance is higher than 500 lux usage of artificial lighting is not necessary. But when illuminance at a certain spot is lower than 500 lux it is necessary to increase illuminance using artificial lighting. Based on the lighting values we can calculate the power needed for each line of lamps. Furthermore, with this data we can then calculate the electricity consumed in case of conventional use of artificial lighting. With hourly savings, daily and consequently monthly energy savings can be calculated. We calculated electricity consumption for each 21<sup>st</sup> day in the month and multiplied the result with the number of working days in one month. Final consumption is the sum of calculated monthly values of electricity consumption.

Table 3: Calculation of consumption with the impact of daylight

Operating time	[h/day]	8	10
Electricity needed W	[kWh/year]	45,56	57,4
LENI	[kWh/m <sup>2</sup> year]	1,8	2,28

Calculated electricity consumption is low due to the fact that we have very strong impact of daylight. Because of the strong impact of daylight, interior lighting is turned off most of the time.

### 5. Comparison of the results

As can be seen from the article, electricity consumption in the laboratories was calculated using four methods. The values were compared with those obtained through measurements, so that we can get a clear picture of which method is closest to the actual measured values. Occupancy of the two laboratories is different because of different workdays. According to measurements, we see that the first laboratory has lighting turned on 8 hours a day, while the other laboratory 10 hours a day. The measured value in the first laboratory is 460 kWh, and in the second laboratory 223 kWh. Consumption in the second laboratory is lower due to the automated regulation of lighting. Although lighting is turned on for 10 hours in the second laboratory, the consumption is still lower. If we compare the calculated values with the measured ones, we see that the

highest value was calculated using the quick method of calculating electricity consumption, i.e. 691,2 kWh/year. Our own method gave the second highest result with 622,08 kWh/year. The comprehensive method gives us the closest values of 246,74 kWh/year due to the strong influence of daylight. The lowest value is obtained by applying the method of daylight impact to the interior lighting. Due to large glass surfaces, daylight influences interior lighting very strongly even when using this method. Considering the strong presence of daylight, the calculated value by this method is 45,56 kWh/year. Calculated and measured values are shown in Table 5:

Table 4: Comparison of the calculated and measured values

Method	Consumption 8h/day [kWh/year]	Consumption 10h/day [kWh/year]
Quick method	691,2	898,5
Comprehensive method	246,74	307,01
Own method	622,08	777,6
Method of daylight impact to the interior lighting	45,56	57,4
Measured value without automatic control	460	/
Measured value with manual control	/	223

### 6. Conclusion

According to the calculated values we can conclude that the closest values are calculated using the comprehensive method provided by the Standard [1]. It can be seen from the comparison of the results that the calculated values deviate from the measured values table 5. Therefore we can conclude that calculation based on the Standard gives approximate values. The Standard assumes that the lighting is not in use throughout the whole workday. The measured values in our case refer to an entire working day including 8 to 10 hours of lighting use per day.

### 7. Reference

- [1] Standard SIST EN 15193:2007. Energy performance of buildings – Energy requirements for lighting – part 1: Lighting energy estimation, December 2007.
- [2] European Council, Directive 2002/91/EC of the European parliament and of the council of 16 December 2002 on the energy performance of buildings, Official Journal of the European Communities, 2002.
- [3] PURES 2010 (pravilnik o učinkovitih rabi energije v stavbah). <http://www.uradni-list.si/1/content?id=98727>
- [4] Tehnična smernica TSG-1-004.
- [5] Slovenski standard SIST EN 12464-1, Svetloba in razsvetljava – razsvetljava na delavnem mestu – 1. del: Notranji delavni prostori, odobritev standard CEN 16. oktober 2001
- [6] Kobav, Bizjak; Long term study – Energy savings Long term study – energy savings obtained with use of daylight sensors and dimming ballasts.
- [7] Energy Law (Ur.l. RS št. 118, 17.11.2006).

**Authors:** Marko Kos, Esplanada d.o.o., Slovenska vas 5, 8232 Šentrupert, Slovenija  
marko.kos@esplanada.si

prof. dr. Grega Bizjak, Laboratory of Lighting and Photometry, Faculty of Electrical Engineering, University of Ljubljana, Trzaska cesta 25, SI-1000 Ljubljana, Slovenia  
grega.bizjak@fe.uni-lj.si

# Electrical gas discharges in the light sources application - Design and implementation of experimental laboratory for teaching of subject Plasma Physics

**Abstract.** The paper publishes the idea, design and implementation of experimental laboratory designed for measuring electrical parameters of discharges of various light sources types. The laboratory is designed and used as a key element for a practical explanation and understanding complex physical processes in the plasma of electrical discharges. The pillar of these tutorials is to show the waveform of VA characteristics of the type light discharges such as glow lamp, fluorescent lamp, energy saving lamp, high pressure and low pressure discharge lamps. To better understand the physical nature of elementary processes in plasma discharges are performed practical measurements on real light sources. The paper publishes the results of the grant project FRVŠ-1031/2011: Innovation of subject Plasma Physics.

**Keywords:** plasma physics, light source, discharge

## Introduction

Plasma, often called the fourth state of matter, is an ionized gas with extremely interesting and useful properties. One of the most important plasma properties is the emission of light. Photons in a plasma can be produced either by electron impact excitation of atoms or by recombination of charged particles.

Plasma find applications in many fields of research, technology and industry, for example: industrial and extractive metallurgy, surface treatments such as thermal spraying (coating), etching in microelectronics, metal cutting and just fluorescent/luminescent lamps. We are interested primarily gas discharge lamps including glow and arc discharge lamps.

The gas discharge lamp is a light source that generates light by creating an electrical discharge through ionized gas. Typically, these lamps use noble gases such as argon, neon, krypton and xenon, or a mixture of these gasses. Many lamps are also filled with additional gases like sodium and mercury, while some others have metal halide additives.

When power is applied to the lamp, an electrical field is generated in the tube. This field accelerates free electrons in the ionized gas. The electrons collide with the gas and metal atoms. Some electrons orbiting around these atoms are excited by the collision to a higher energy state. When the electron of the excited atom returns to its previous energy state, it releases energy in the form of photon. This light can be anything between IR, visible or UV radiation. Some lamps have a fluorescent coating on the inside of the lamp to convert the UV radiation into visible light.

Some tubes contain some source of beta radiation to start ionization of the gas inside. In these tubes, glow discharge around the cathode is minimized, in favour of a so called positive column, filling the tube, for example neon lamps.

There are many types of arc discharge lamps depending on the pressure of the filler material. We can divided them into 2 basic types: low pressure and high pressure discharge lamps.

### Low pressure discharge lamps

Low-pressure lamps have working pressure much less than atmospheric pressure.

Fluorescent lamps, the most common lamp in office lighting and many other applications, produces up to 100 lumens per watt

Low pressure sodium lamps, the most efficient gas-discharge lamp type, producing up to 200 lumens per watt, but at the expense of very poor color rendering. The almost monochromatic yellow light is only acceptable for street lighting and similar applications.

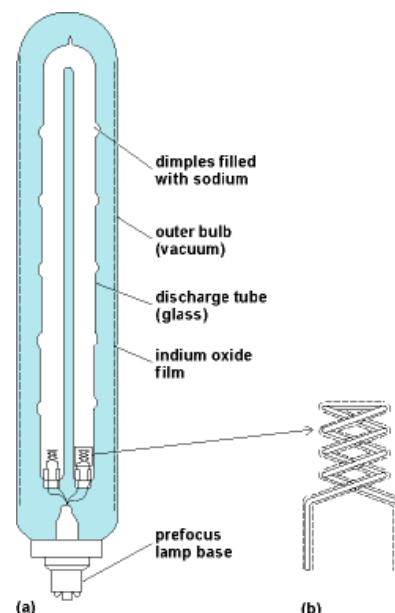


Fig.1. Low-pressure sodium lamp. (a) Lamp structure. (b) Structure of electrode consisting of coiled tungsten wire

### High pressure discharge lamps

High-pressure lamps have a discharge that takes place in gas under slightly less to greater than atmospheric pressure. For example, a high pressure sodium lamp has an arc tube under 100 to 200 torr pressure, about 14% to 28% of atmospheric pressure; some automotive HID headlamps have up to 50 bar or fifty times atmospheric pressure.

Metal halide lamps produce almost white light, and attain 100 lumen per watt light output. Applications include indoor lighting of high buildings, parking lots, shops, sport terrains.

High pressure sodium lamps, producing up to 150 lumens per watt. These lamps produce a broader light spectrum than the low pressure sodium lamps. Also used for street lighting, and for artificial photo-assimilation for growing plants



High pressure mercury-vapor lamps. This lamp type is the oldest high pressure lamp type, being replaced in most applications by the metal halide lamp and the high pressure sodium lamp.

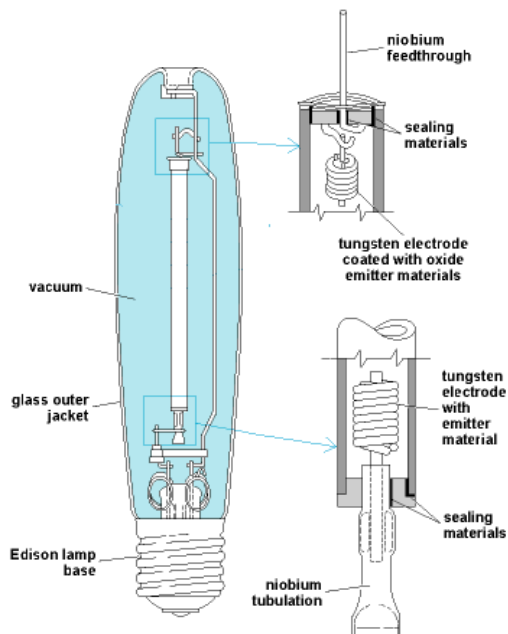


Fig.2. High-pressure sodium lamp and components

A more detailed description of these and other types of light sources, including theoretical analysis is contained in the study materials or literature [1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9].

### The laboratory

The aim of the laboratory is to show the principles of functionality and behavior of selected light sources based on discharges in gases using prepared type laboratory exercises and practical measurements. The prepared laboratory is designed as universal and can also classify other types of light sources or electrical loads. The laboratory design is practically illustrated in Figure 3, principal arrangement is shown in Figure 4.



Fig. 3. The laboratory arrangement

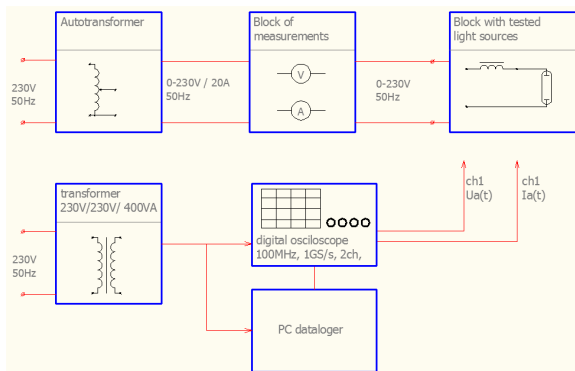


Fig. 4. The block diagram of the measuring workplace

The basic workplace includes regulatory power autotransformer with control range 0-230V/20A. Another part consists of block of voltage and current measurement taking by the light source as an appliance. The output of this part is adapted for connecting blocks of various light sources including their individual electrical components. Measurement of individual light sources is then based on the measurement of time courses of significant light source signals and they are the voltage and current from the source, the discharge voltage or the stabilizing element voltage or other impedance in the circuit. Measuring system (oscilloscope 4ch, 100MHz, 1Gs/S, +PC) is powered by isolation transformers to ensure the safety and the possibility of a higher variability of measurements. The prepared laboratory provides a wide range of testing and measuring not only the number of light sources and up to a total power 230V/20A. There were prepared following type measurement for own teaching and laboratory exercises.

- measurement of the linear fluorescent tube
- measurement of the mercury discharge lamp
- measurement of the energy-saving lamp
- measurement of glow-discharge tube

Individual measurements on these type light sources are somewhat different. The basic aim is practically to verify the theoretical knowledge and show time courses of arc voltage and current which varies for each light type due to the more or less different characters of electrical discharges that are characteristic for each type. Very well evident are influence and importance of stabilizing elements in the circuit also emphasized by these measurement.

In principle, these type tasks summarized in the following chapters, where the practical implementation of a light element and the block, diagram of functional connection, time course of voltage and current signal to power. The prepared type tasks are described and illustrated in the following part.

### Task 1: Measurement of the linear fluorescent lamps

The first task includes measurements on standard linear fluorescent lamp in connection with the reactor and starter. There were used a linear tube Philips TL-D 18W/33-640, reactor Layrton BFL18/23. The arrangement of a block with this light source is shown in the following Figure 5. Voltage is evaluated primarily on the tube discharge with discharge current, depending on supply voltage.

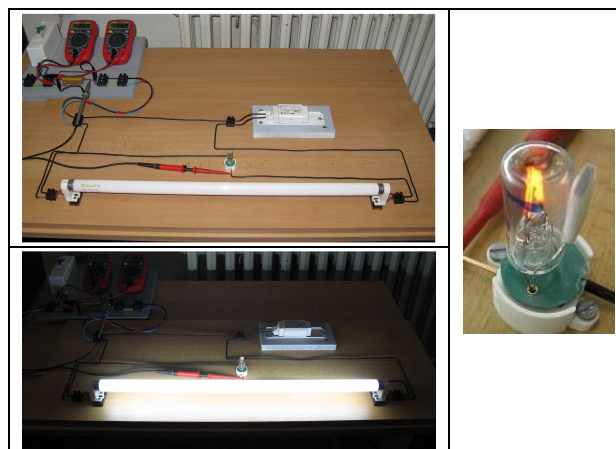


Fig. 5. The arrangement of block for measurement on the linear fluorescent lamp

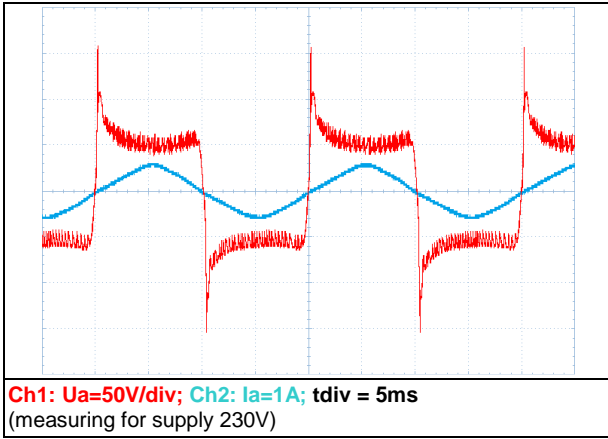


Fig. 6. Waveform of voltage and current

### Tasks 2: Measurement on the mercury discharge lamps

The second characteristic task is based on the high-pressure mercury discharge lamp for outdoor lighting. There were used a mercury discharge lamp Philips HPL-N250 and reactor Layrton 250. The arrangement of a block with this light source is shown in the following Figure 7. There was evaluated the voltage in the light source including circuit with the current. Fundamental importance of this measurement is to observe the gradual development of discharge depending on the evolution of arc voltage. [8]



Fig. 7. The arrangement of block for measurement on the mercury discharge lamp

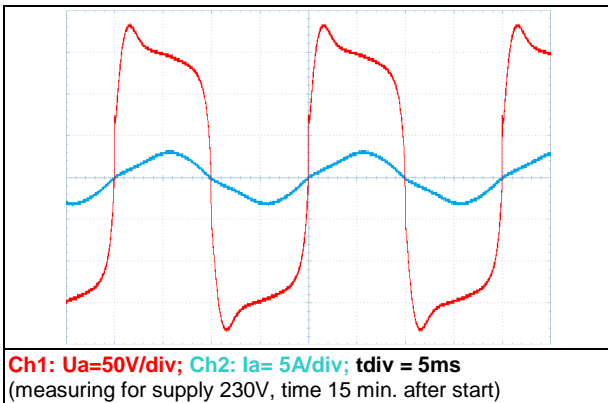


Fig. 8. Waveform of voltage and current mercury tube

### Tasks 3 : Measurement on the energy-saving lamps

Another part is focused an explanation and measurement on the modern compact energy-saving lamps which are currently available in a diverse range of types, power, performance and other parameters, see in Figure 9. The important part is the explanation of the concept design of the discharge tube and of the system stabilization using the installed electronic ballast.

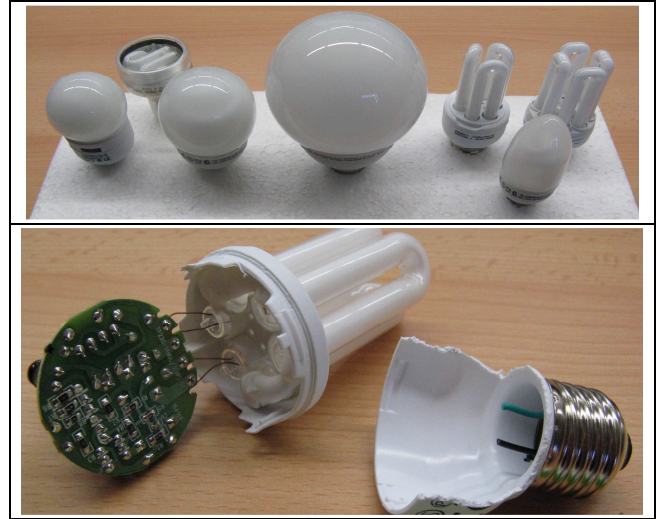


Fig. 9. The type discharge lamp and parts of the energy-saving lamp

The block for measurements on these type modern light sources is shown below in figure 10. The measurement is realized in terms of analysis of voltage and current taking by light source and of voltage conditions on the actual discharge in the energy-saving lamp tube.

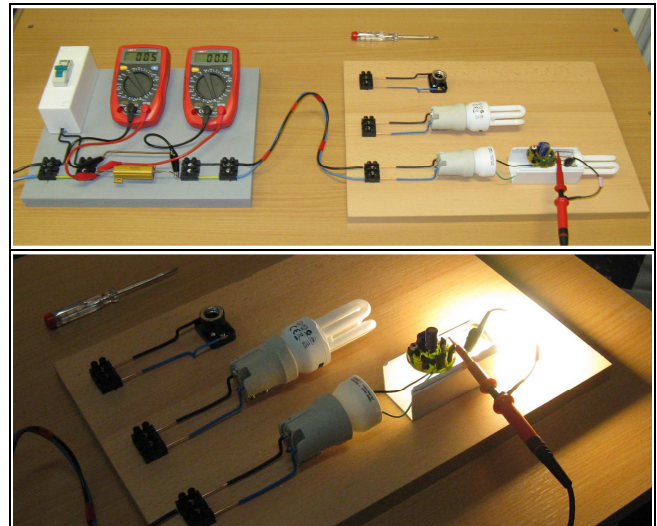


Fig. 10. The arrangement of block for measurement on the energy-saving lamp

The time course of arc voltage behind ballast on the discharge tube of the type energy-saving lamp with parameters 11W, 600L, 230V/50Hz, E27, 2700K, and lifetime 6000 cycles is shown in the following Figure 11. Measurement of discharge parameters, arc voltage and current on the individual light sources is also accompanied by luminous flux measurement. Obtained time courses of the arc parameters are evaluated. [7]

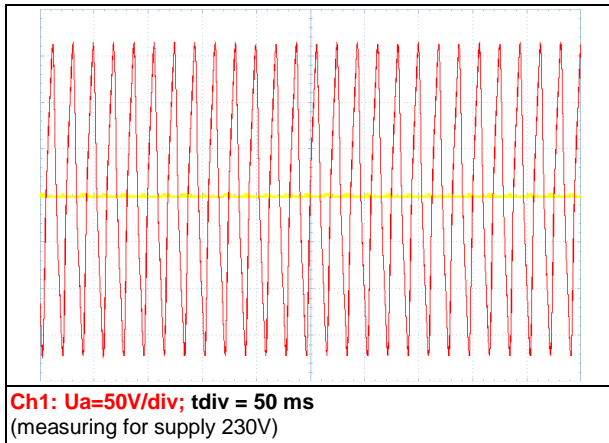


Fig. 11. Arc voltage on the energy-saving lamp tube

### Conclusion

The paper presents the design and implementation prepared laboratory tasks aimed at understanding of behavior of typical light sources that are based on the principles of action of electrical discharges in gases. Laboratory tasks are used for subject plasma physics and technology, which practically complete interpretation of the theory of physical processes in the plasma discharges of certain types. In terms of electrical engineering, technical use of light sources is a fundamental VA characteristic. Therefore, the laboratory task are focused primarily on analysis of the VA characteristics. The prepared laboratory can be further expanded to measure on the other light sources. During the construction of the laboratory was the emphasis on the high transparency, connection, arrangement and design of individual elements, especially discharge light sources.

### Acknowledgment

This work was supported by the support FRVS, project No. FRVŠ-1031/2011 - Innovation of the subject Plasma Physic.

### REFERENCES

- [1] Krall, N.A., Trivelpiece, A. W.: Principles of plasma physics, San Francisco Press, 1986, ISBN - 0911302581
- [2] Chen, F.F.: Introduction to Plasma Physics, Plenum Press, 1974, ISBN-0306307553
- [3] Kitsinelis S.: Light Sources Technologies and Applications, CRC Press, New York, 2011, ISBN- 978-1-4398-2081-0
- [4] Lieberman, M.A., Lichtenberg A.L.: Principles of Plasma Discharges and materials Processing, John Wiley & Sons, New Jersey, 1984
- [5] Coaton J.R., Marsden A.M.: Lamps and Lighting, Arnold, London, 1997, ISBN- 0340646187
- [6] Gross, B., Havelka, O.: Elektrické přístroje II, VUT-Brno, Czech republic, 1978
- [7] Osram product catalogue, [http://www.osram.cz/osram\\_cz/KATALOG/index.html](http://www.osram.cz/osram_cz/KATALOG/index.html)
- [8] Philips product catalogue, <http://www.ecat.lighting.philips.com/l/cs/cz/>
- [9] Marek, M.: Silabus for subject Plasma physics and technology, VSB-TU Ostrava, KAT410, 2011.

### Authors:

Ing. Martin Marek Ph.D., VŠB-TU Ostrava, Faculty of Electrical Engineering and Computer Science, KAT410 Department of Electrical Power Engineering, 17. Listopadu 15/2172, Czech Republic, e-mail: [martin.marek@vsb.cz](mailto:martin.marek@vsb.cz)

Ing. Regina Holčáková, VŠB-TU Ostrava, Faculty of Electrical Engineering and Computer Science, KAT410 Department of Electrical Power Engineering, 17. Listopadu 15/2172, Czech Republic, e-mail: [reghol@gmail.com](mailto:reghol@gmail.com)

Ing. Petr Stoklas, VŠB-TU Ostrava, Faculty of Electrical Engineering and Computer Science, KAT410 Department of Electrical Power Engineering, 17. Listopadu 15/2172, Czech Republic, e-mail: [sto.pet@seznam.cz](mailto:sto.pet@seznam.cz)

Ing. Petr Staš, VŠB-TU Ostrava, Faculty of Electrical Engineering and Computer Science, KAT410 Department of Electrical Power Engineering, 17. Listopadu 15/2172, Czech Republic, e-mail: [peter.stas@vsb.cz](mailto:peter.stas@vsb.cz)

# Volt-Ampere characteristics of the electric arc – Design and implementation of Experimental laboratory workplace for teaching of the subject Plasma physics

**Abstract.** DC and AC electric arc is undoubtedly the basis for all technical applications of plasma physics. The resulting behaviour of these electric arcs, which virtually can be located in many technical modifications, it can very well affect and evaluated based on static and dynamic Volt-Ampere characteristics. The resulting values of arc voltage and current are significantly influenced by many parameters. The aim of this workplace is within an exercise to enable students to simulate of the arc and verification of sub-factors which determine the resulting volt-ampere characteristics of the arc. The paper publishes the results of the grant project FRVŠ-1031/2011 entitled: Innovation of plasma physics.

**Keywords:** electric arc, volt-ampere characteristic, plasma physics.

## Introduction

The principle of the electric arc is known since 1812, when it was discovered by British scientist Humphry Davy. It is the electric current in high temperature gas, which consists of electrons and ions. This principle was not applied because it needed a powerful energy source, mainly due to the cost of this solution.

## Electric Arc

The electric arc is an electrical discharge in a gas, which consists of a core and a cover. The core is made up of plasma (ionized gas) and its temperature is higher than the temperature of the cover. A high core temperature is given of high current flowing through the arc discharge path. The electric arc can be used e.g. for welding and melting materials. Conversely, in other applications, we are trying to prevent formation an electric arc, e.g. in the contact systems. Depending on supply source and current, the electric arc can be divided into DC and AC.

## Generation of Electric Arc

The electric arc is caused by ionization of the elementary particles in the gases. The ionization can be occur by several ways, such as collision ionization of electrons, atoms and molecules, photoionization, ionization of elementary particles in mutual collision, ionization in mutual collision of gas particles with ions, and thermal ionization of gases. For example, that by the circuit flowing electrical current, arises an electrical arc between two electrodes, by galvanic connection (i.e. short circuit) of electrodes and then disconnecting them. By delaying electrodes leads to ionization of the environment (i.e., between the electrodes is created conductive path - electric arc).

## The Anode and Cathode Area

The electric arc is characterized by non-linear resistance in electric circuit. The voltage on the anode and cathode is constant, the voltage change can be considered only on the body of the arc. Distribution of arc potential is shown in Fig. 1.

The biggest loss of the arc voltage is on the anode and cathode, the smaller value is on the body of the arc. This nonlinearity of the potential distribution is given by the different conductivity in these parts, which means non-uniformity of the electric field gradient. While the resistance of electrodes arc area is large, the resistance of the arc column is small. With increasing arc length is increased the

voltage on the body arc and then is needed increasing of the demands on power supply.

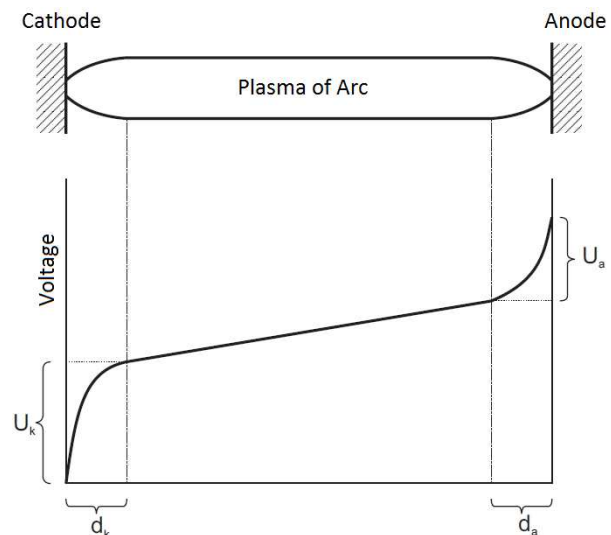


Fig. 1 Distribution of potential in the electric arc [1]

If we use electrode made of material with a low boiling temperature, then on the cathode arises cathode spot. The current density in this area is considerably higher than in the vicinity of the cathode surface and reaches the value of the laboratory set up to  $2900 \text{ A}\cdot\text{mm}^{-2}$ . The body of electric arc follows the cathode and anode. The anode spot has the density of the arc to  $400 \text{ A}\cdot\text{mm}^{-2}$ . Using so-called thermoelectric emission are electrons transported from the cathode to the anode.

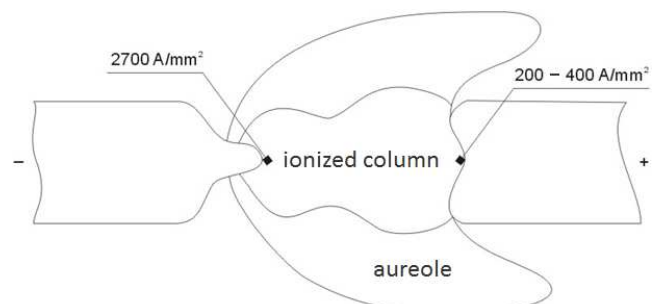


Fig. 2 Length of arc delimiting the electrode [1]

### Characteristics of the Electric Arc

A general characteristic of stationary discharges is shown in Fig. 3. Stationary electric discharges are divided by value of current flowing through the plasma discharge on dark discharge, glow discharge and arc. A characteristic of electric discharge is a function of discharge parameters and the environment in which it is located.

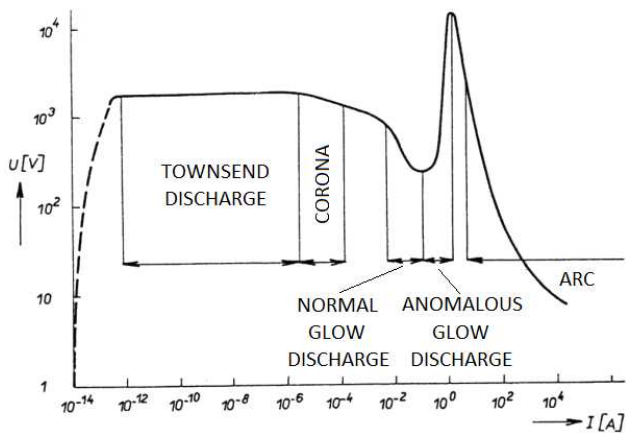


Fig. 3 General characteristic of stationary discharges [1]

Characteristics of arc we distinguish according to voltage changes in time to static and dynamic. Characteristics show dependence the voltage on electrodes and current flowing through the electric discharge.

### Static Characteristics

Static characteristic shows the dependence of voltage on the electrodes of the arc to current flowing through electric arc. The characteristic consists of two parts, namely the decreasing, which is characterized by a small current, and from part called increasing, which is characterized by high value of current.

Ayrton, who was dealing with description of the static characteristics, set the equation:

$$U_{ob} = \alpha + \beta \cdot l + \frac{\gamma + \delta \cdot l}{I} \quad (1)$$

where:  $U_{ob}$  is voltage on the arc;  $\alpha, \beta, \gamma, \delta$  are constants dependent on the type and pressure of gas, where burns the electric arc and on the size and shape of the electrodes; Parameter  $l$  is the arc length,  $I$  is the current flowing through arc. Resulting characteristics from the Ayrton equation are shown in Fig. 4. There it is valid for the electric arc burning in air between carbon electrodes with a length of the arc several millimetres.

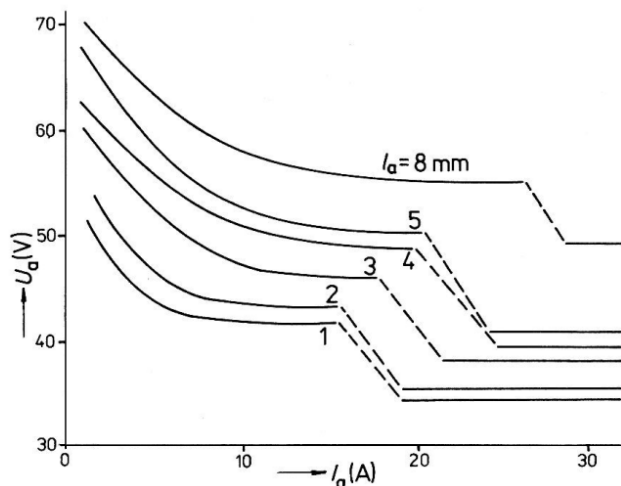


Fig. 4 Characteristics of the arc by Ayrton [1]

Because the arc characteristics depend on the material of electrode, the equation was later modified. Generalization of the equation by Nottingham is based on the Ayrton equation and has the form:

$$U_{ob} = \alpha + \beta \cdot l + \frac{\gamma + \delta \cdot l}{I^n} \quad (2)$$

where the exponent  $n$  depends on the anode material.

When high current flows through the arc and the arc length is sufficient, the constant  $\alpha$  can be neglected. The voltage is therefore directly proportional to the length of the arc. And there is valid the equation:

$$U_{ob} = \beta \cdot l \quad (3)$$

If we consider the simple scheme of DC circuit, where burn the arc between contacts of switches, then Fig. 5 shows the parameters of this circuit (volt-ampere characteristic).

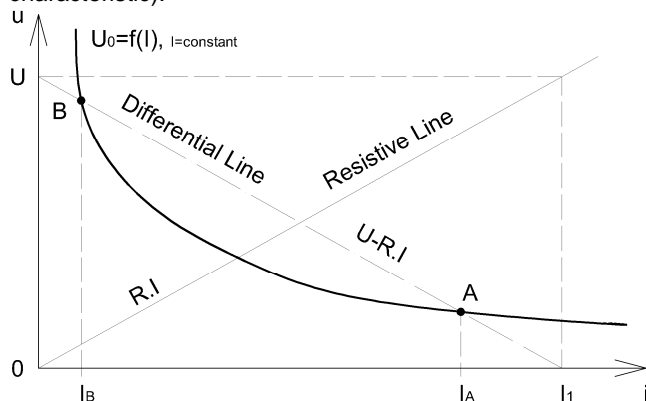


Fig. 5 Graphical representation of parameters of the DC circuit

From Fig. 5 can be seen that point A corresponds to the steady state arc. By contrast, in point B, we talk about the unstable state arc. If we reduce value of the current below point B, we invoke the lack of voltage and the current will start to reduce his value to zero, so the arc is extinguished. Increasing the value of the current above the value B means a state surplus of voltage and then the current has tends to further increase above the value point A.

Standing burning of arc is achieved by including the serial stabilizing resistor.

### Dynamic Characteristics

When the current have a time changes in the monitored time interval then we are talking about dynamic characteristics of the electric arc. Due to the rapid changes values of current can be seen a different course of the static characteristic against the dynamic characteristic. As shown in Fig. 6, there are two stable points. The transition between them is happening along the curves 1 and 2, but not along the curve showing the static characteristic. This hysteresis can be explained by the difference number of charge carriers in discharge column of both stable points.

Due to the increasing value of current occurs to increasing the voltage drop on the arc because the arc resistance with increasing current cannot decrease. Excess energy intensifies the ionization processes. In contrast, when reducing value of the current, a new state requires degree of ionization is lower than that is in any given time available. The conductivity is therefore adequate to higher current against the actual value of the current at the moment; therefore the dynamic characteristic is under static characteristic.

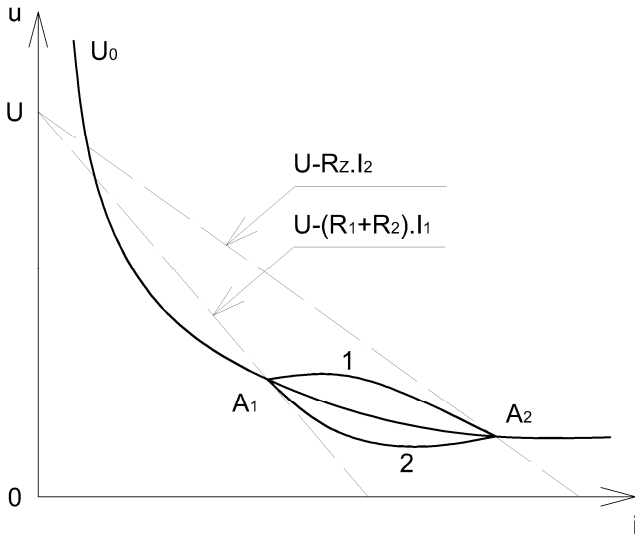


Fig. 6 Dynamic characteristic of electric arc

Picture Fig. 7 shows that the voltage is while formation arc greater than the voltage for corresponding current at arc extinction. From process of AC current is obvious that the arc goes out at zero current, i.e. each half period. After ignition of the arc the voltage does not drop together with mains voltage, but voltage decreases the value of the voltage drop on the (stabilization) resistor.

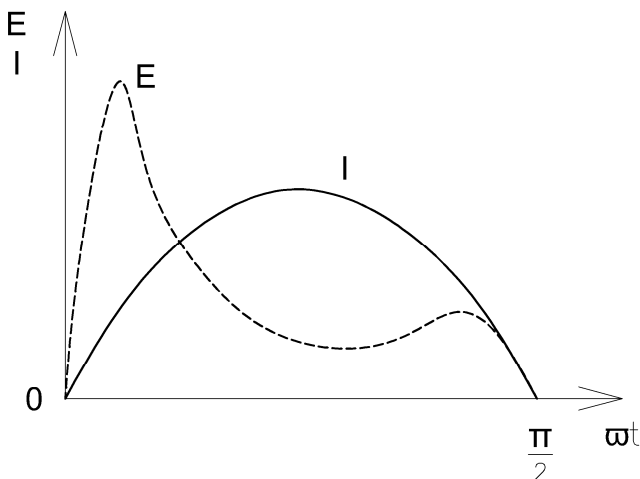


Fig. 7 The voltage and current in AC arc

After the ignition of the electric arc is necessary that the voltage on the electrodes was sufficient to cover losses in the discharge, and also was sufficient to increase the ionization in the discharge path.

### Electrode Material and Influence on the Electric Arc

Parameters of the electric arc are from the perspective electrodes determined by used material and its shape. The choice of material has affects to the anode and cathode voltage drop; it has affects to the temperature and shape of the arc and the VA characteristic of the arc. The smallest arc voltage is e.g. for material Ag 12V, Cu 13 V, Al 14V, Au 15V, etc.

The temperature of the anode is greater than the temperature of the cathode, because the anode voltage drop is greater than cathode voltage drop (the electrons, which travel from the cathode transmits their kinetic energy to anode).

### Laboratory workplace and tasks

The aim of the laboratory workplace and individual tasks is to review the basic theoretical knowledge of the electric arc and practically demonstrate its physical nature, behaviour and properties. For this purpose was prepared measuring workplace, which consists of the several parts.

The basic part of this measuring workplace consists of electrode system for self-burning and testing of electric arc on various types of materials and electrodes. This system allows the assembly of electrodes of different shapes and sizes. There were prepared two supporting electrode systems, one for measuring the electric discharges and arcs of large currents up to 500 A, the second one for measuring discharges at low currents up to 5 A. The implementation of these electrode systems is shown on following figure.

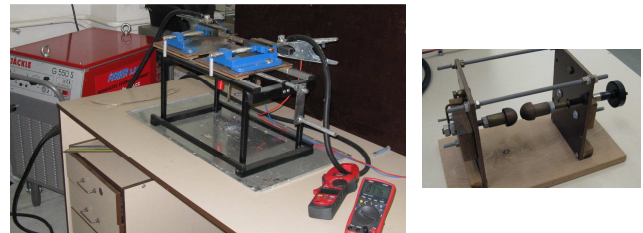


Fig. 8 Electrode systems for measuring the discharges with large currents up to 500 A and low currents up to 5 A

The next important part of the measuring workplace consists of system for measuring time during the arc parameters. This system consists of the data-logger, 4-channel USB oscilloscope 60 MHz, 200 MS/s. The measurement and recording time during the arc parameters, is performed using current clamp probe CA203 (range 200 A / 2000 A) and differential voltage probe HZ100 (600 V, 20:1, 200:1, 30 MHz). Using these measuring transducers is also performed galvanic separation of the measuring system from power supply circuit arc. The design and block arrangement of the measuring workplace is shown on the following figures.

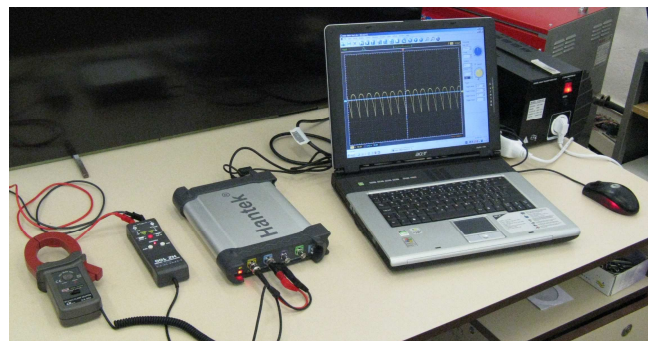


Fig. 9 Arc Measuring system and parts

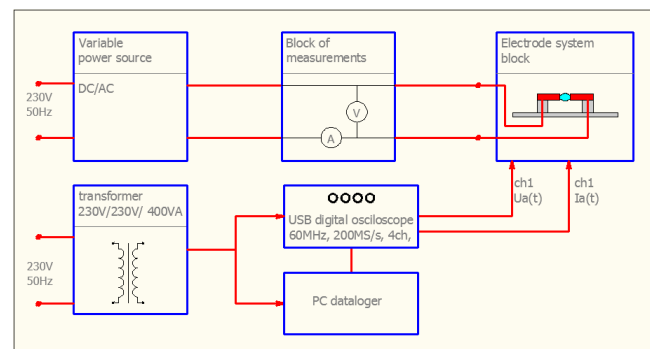


Fig. 10 Block diagram of testing and measuring system

For simulations and measurements of arc discharges are prepared various types of power sources, which encompass wide range of electric arcs, both DC and AC. These sources which are different in design and method of stabilizing the current and electric discharge. These sources are mainly designated as a power sources for welding.

- Source n.1 – Jackle G550 (75 V, 550 A) DC source
- Source n.2 – Nordica 181 (48 V, 55 V – 160 V) AC source
- Source n.3 – TechnolPlasma54 (400V, 7 –40A) Invertor
- Source n.4 – Neon transformer (230 V / 10 kV / 100 mA)

Using the said laboratory workplace, measurement systems and power supplies we can test electrical discharges in a wide range of arc parameters, especially arc voltage and current. For own teaching and students' knowledge is very important follow-up analysis of the power supply system, which is when these measurements very well transparent. The following part briefly presents examples of the type of simulations of electric arcs and method of measuring arc parameters.

### Measurement 1: Measurement of DC arc

This measurement is focused on the demonstration and measuring parameters of the DC arc. Measurement is carried out at different electrodes materials (Fe, Cu, Al, YellowBrass, and others), various work currents ( $I_{ss}$  up to 500 A) and various electrode distances ( $d = 0 - 5$  cm). Using these measurements is presented virtually importance of theoretical knowledge referred in the introduction of this paper.



Fig. 11 Electrodes system and various electrodes for measuring on the DC electric arc

The following figures present the type of measurement performed on iron electrodes at a distance of 5 mm, arc parameters  $U_a = 35$  V,  $I_a = 119$  A, during power from a DC source Jackle G550 (transformer with controlled rectifier).



Fig. 12 DC arc, Fe-electrodes,  $d = 5$ mm,  $U_a = 35$  V,  $I_a = 119$  A

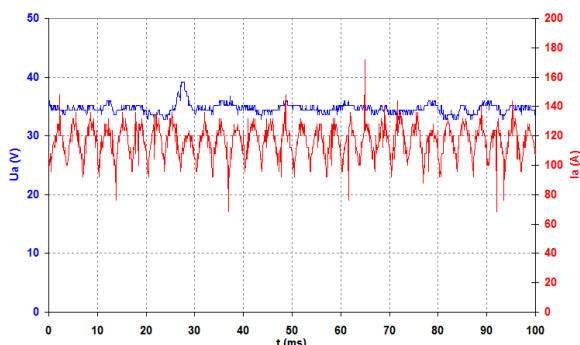


Fig. 13 Waveforms of the arc voltage and current

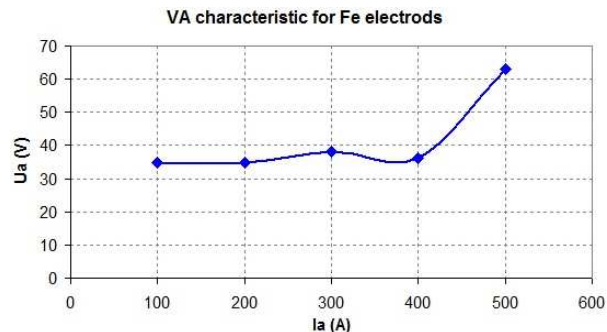


Fig. 14 VA characteristic measured on the Fe electrodes ( $d=5$ mm)

### Measurement 2: Measurement of AC arc

Another measurement is the measurement on the AC electric arc, which is characterized by a dynamic characteristic and by the process of re-ignition after the arc current passes through zero current, as stated in the introduction of this paper. A short demonstration of the type of measurement present the following figures, where stated the type of measurement on the AC arc, together with a time record of arc parameters. (supply Neontransformer)

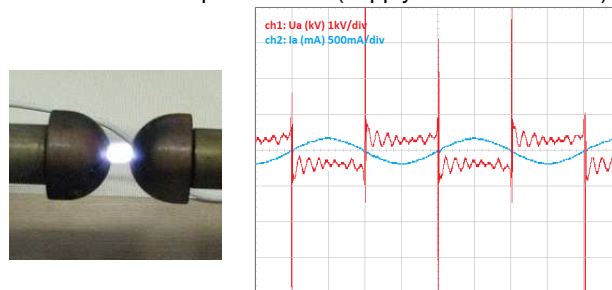


Fig. 15 Measuring on the AC arc ( $U_a = 500$  V,  $I_a = 150$  mA)

### Conclusion

This paper briefly presents prepared laboratory tasks, which are focused on simulation and measurement of the electrical arc as the light sources. Tasks are designed for practical exercises and verify theoretical principles in the subject of Plasma physics. The main objective of these subject is a practical introduction to real electric arcs and discharges. Detail of this issue is described in works [1], [2] and [3].

### Acknowledgment

This work was supported by the support FRVS, project No. FRVŠ-1031/2011 - Innovation of the subject Plasma Physic.

### REFERENCES

- [1] Stoklas, P.: Plasma furnace – Design and realization of plasmatron starting automat, Magister's thesis at VŠB-TUO, Czech republic, (2010)
- [2] Marek, M.: Numerical computation of magnetic field and inductivity of power reactor with respect of real magnetic properties of iron core. In SCEE proceeding, Springer-Verlag, Berlin Heidelberg, 2006, 233-239, ISBN 3-540-32861-0
- [3] Chen, F.F.: Introduction to Plasma Physics, Plenum Press, 1974, ISBN 0306307553

### Authors:

- Ing. Martin Marek, Ph.D., VŠB-TU Ostrava, FEI, 17. listopadu 15/2172, Czech Republic, e-mail: [martin.marek@vsb.cz](mailto:martin.marek@vsb.cz)  
 Ing. Petr Stoklas, VŠB-TU Ostrava, FEI, 17. listopadu 15/2172, Czech Republic, e-mail: [sto.pet@seznam.cz](mailto:sto.pet@seznam.cz)  
 Ing. Peter Staš, VŠB-TU Ostrava, FEI, 17. listopadu 15/2172, Czech Republic, e-mail: [peter.stas@vsb.cz](mailto:peter.stas@vsb.cz)  
 Ing. Regina Holčáková, VŠB-TU Ostrava, FEI, 17. listopadu 15/2172, Czech Republic, e-mail: [reghol@gmail.cz](mailto:reghol@gmail.cz)

## Vyhodnocování osvětlení přechodů pro chodce pomocí jasové analýzy

**Abstrakt.** Pro zvýšení bezpečnosti uživatelů přechodů pro chodce, jsou používána nejrůznější svítidla. Svítidla nejenom osvětlují konfliktní oblast, ale jsou také používána k signalizaci nebezpečí v okolním prostoru. Jde o vizuální informace, které vnímáme okem. Lidské oko především rozlišuje kontrasty jasů.

V tomto příspěvku se zabývám jasovými poměry mezi osvětlovaným chodcem a jeho okolím. Porovnávám výsledky z jasových analýz několika typů přechodů pro chodce s použitím různých typů svítidel.

**Klíčová slova:** přechod pro chodce, jasová analýza, konfliktní oblast, veřejné osvětlení.

### Úvod

Pro jasovou analýzu jsem si vybral několik typů přechodů pro chodce. Jde o přechody v městě Ostrava a okolí. Přechody byly osvětlovány třemi typy svítidel. První typ je světlometové svítidlo. Jako druhý typ jsem si vybral svítidlo sloupkového typu a poslední typ je svítidlo uliční s asymetrickou optikou. První typ svítidla jsem v analyzovaném prostoru vyměnil za svítidlo s boční asymetrií a s nižším příkonem podrobil porovnávací jasové analýze.

### Světlometové svítidlo

Posuzovaná konfliktní oblast se nachází na ulici Doktora Malého. Přechod pro chodce je umístěn před kruhovým objezdem a jednu část tohoto přechodu tvoří přejezdová část cyklostezky. Přechod pro chodce osvětluje svítidlo MACH1 ASYM 250W.

Tab.1 Vyhodnocení

		Zapnuté přechodové svítidlo			Vypnuté přechodové svítidlo		
		L	L <sub>min</sub>	L <sub>max</sub>	L	L <sub>min</sub>	L <sub>max</sub>
		(cd/m <sup>2</sup> )	(cd/m <sup>2</sup> )	(cd/m <sup>2</sup> )	(cd/m <sup>2</sup> )	(cd/m <sup>2</sup> )	(cd/m <sup>2</sup> )
1	Chodec	<b>2,39</b>	0,39	10,87	<b>0,70</b>	0,14	2,18
2	Pozadí	0,52	0,14	2,94	0,53	0,14	2,51
3	Přechod	2,11	0,42	4,09	0,46	0,26	1,71
Kontrast (-)		<b>3,60</b>			<b>0,32</b>		

### Svítidlo sloupkového typu

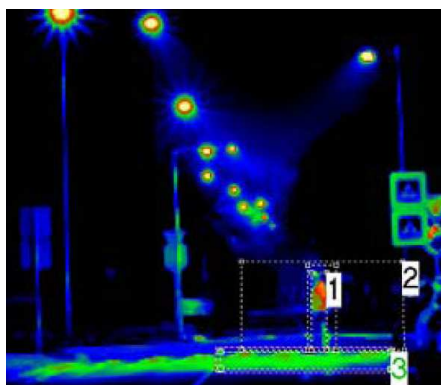
Přechod pro chodce kříží ulici 28.října. Je zde použito svítidlo MACH1 ASYM 250W a sloupkové svítidlo THORN Orus 70W.



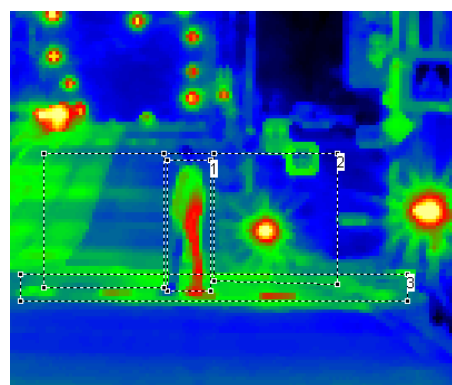
Obr.1. Fotografie přechodu



Obr.3. Fotografie přechodu



Obr.2 Jasová analýza



Obr.4 Jasová analýza



Tab.2 Vyhodnocení

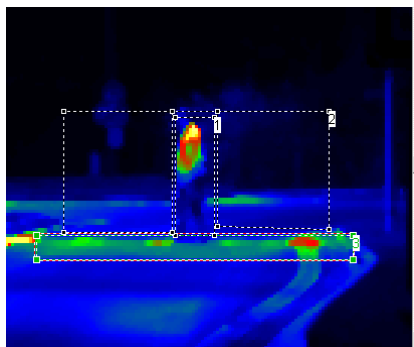
		Zapnuté přechodové svítidlo			Vypnuté přechodové svítidlo		
		L	L <sub>min</sub>	L <sub>max</sub>	L	L <sub>min</sub>	L <sub>max</sub>
		(cd/m <sup>2</sup> )	(cd/m <sup>2</sup> )	(cd/m <sup>2</sup> )	(cd/m <sup>2</sup> )	(cd/m <sup>2</sup> )	(cd/m <sup>2</sup> )
1	Chodec	<b>5,05</b>	1,13	19,31	<b>1,87</b>	0,58	6,04
2	Pozadí	3,03	0,62	139,3	3,12	0,64	174,1
3	Přechod	3,59	1,17	16,37	2,37	0,75	9,90
Kontrast (-)		<b>0,67</b>			<b>- 0,40</b>		

### Svítidlo uličního typu

Posuzovaná konfliktní oblast se nachází v obci Čeladná v okrese Frýdek – Místek. Kruhový objezd je na okraji obce v blízkosti kostela a železniční stanice. Kruhový objezd tvoří pouze jeden jízdní pruh. Osvětlovací soustava přechodu pro chodce je tvořena uličními svítilny THORN Civic Peco 150W umístěnými vždy vpravo v každém jízdním pruhu.



Obr.5. Fotografie přechodu



Obr.6 Jasová analýza

Tab.3 Vyhodnocení

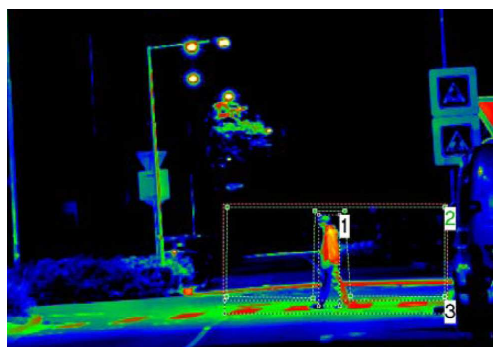
		Zapnuté přechodové svítidlo			Vypnuté přechodové svítidlo		
		L	L <sub>min</sub>	L <sub>max</sub>	L	L <sub>min</sub>	L <sub>max</sub>
		(cd/m <sup>2</sup> )	(cd/m <sup>2</sup> )	(cd/m <sup>2</sup> )	(cd/m <sup>2</sup> )	(cd/m <sup>2</sup> )	(cd/m <sup>2</sup> )
1	Chodec	<b>2,87</b>	0,52	12,10	<b>1,16</b>	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 (-)		<b>1,35</b>			<b>0,06</b>		

### Porovnání svítidel s různou charakteristikou vyzářování

Při posouzení první konfliktní oblasti bylo použito svítidlo, které mělo distribuci světelného toku pouze dopřednou. Toto svítidlo po podrobení analýze bylo demontováno a nahrazeno svítilnou THORN Areaflood A/A 150W.



Obr.7. Fotografie přechodu



Obr.8 Jasová analýza

Tab.4 Vyhodnocení

		Zapnuté přechodové svítidlo			Vypnuté přechodové svítidlo		
		L	L <sub>min</sub>	L <sub>max</sub>	L	L <sub>min</sub>	L <sub>max</sub>
		(cd/m <sup>2</sup> )	(cd/m <sup>2</sup> )	(cd/m <sup>2</sup> )	(cd/m <sup>2</sup> )	(cd/m <sup>2</sup> )	(cd/m <sup>2</sup> )
1	Chodec	<b>2,51</b>	0,06	11,57	<b>0,52</b>	0,03	7,96
2	Pozadí	0,49	0,02	6,12	0,45	0,01	7,20
3	Přechod	2,24	0,16	6,23	0,63	0,12	1,39
Kontrast (-)		<b>4,12</b>			<b>0,15</b>		

### Závěr

Z tabulek je zřejmé, že každé z analyzovaných svítidel zvyšuje kontrast mezi svislou plochou chodce a jeho pozadím.

Nejmenší kontrast byl zaznamenán u použití sloupkového svítidla. Výhodou tohoto typu osvětlení je to, že není třeba instalovat vysoké sloupy či hluboké základy pro sloupy. Toto svítidlo se hodí spíše do center měst, kde uliční osvětlení dostatečně osvětlí chodce a samotné sloupkové svítidlo zvýrazní přechod zvýšením jasu na přechodu a jinou barvou světla.

U svítidla uličního si můžeme povšimnout téměř nulového kontrastu při vypnutí přechodového svítidla. Použitím svítidla se zvýšil pozitivní kontrast a chodec je tak lépe rozeznatelný.

Při použití světlometu je vhodné použít optiku s boční asymetrií. Při použití svítidla s nižším příkonem, ale s asymetrickou boční optikou jsme zachovali stejné světelné parametry jako u svítidla původního (výkonějšího).

### POUŽITÁ LITERATURA

[1] Bláha, Z.: Osvětlování konfliktních oblastí na komunikacích, VŠB-TUO, (2010).

Autor: Ing. Zdeněk Bláha, Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava Fakulta elektrotechniky a informatiky, 17. listopadu 15, 708 33 Ostrava, 1) email: zdenek.blaha@vsb.cz

## Současnost a budoucnost světelné techniky

### Abstrakt

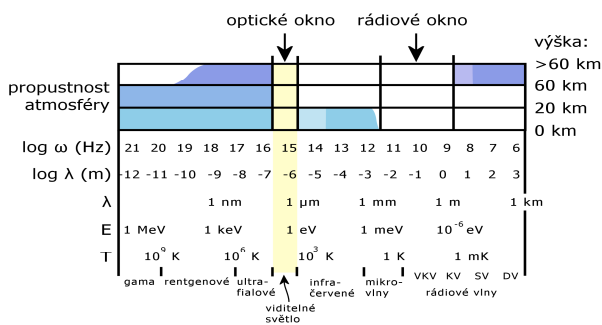
Důležitým aspektem pro vývoj jakéhokoliv oboru lidské činnosti, včetně světelné techniky, je jeho význam a postavení ve společnosti. To zásadně ovlivňuje kvalitu, rozsah i rychlost uplatnění nových podnětů a inovací, které se v daném oboru objevují a také to, jak jsou tyto inovace přijímány laickou i odbornou veřejností. Budoucnost světelné techniky je vedle postavení ve společnosti určována také vývojem, který je u tohoto oboru charakteristický širokým záběrem a probíhá v různých, často velmi odlišných, oblastech jako je například oblast technických prostředků, výzkum zrakového vjemu, nové přístupy při návrzích osvětlení nebo vliv světla na okolní prostředí.

**Klíčová slova:** Světlo, zrak, světelná technika, mimovizuální účinky světla, mezopické vidění,

### Význam a výklad světla

Světlo jako energie je vedle vody, vzduchu a půdy jednou ze základních složek přírodního prostředí, nezbytných pro život člověka na Zemi. Světlo určuje, jak náš svět vnímáme, jak jej zakoušíme, konkretizuje tvary, povrchy i barvy, vytváří náš subjektivní vjem okolního prostředí a stává se společným jazykem pro jeho popis. Světlo a světelné podmínky provázejí člověka v průběhu celého vývoje a ovlivnily nejen jeho duchovní, kulturní a mentální vývoj, ale měly také významný vliv na jeho fyziologický a biologický vývoj.

Člověk se v průběhu svého, stovky tisíc let trvajícího vývoje adaptoval na podmínky okolního prostředí, aby přežil. V rámci tohoto procesu adaptace se u člověka vyvinulo pět základních smyslů; zrak, sluch, hmat, čich a chuť, které člověku zprostředkovávají informace o okolním prostředí. Vzhledem k tomu, že zrakem člověk získává přes 80% těchto informací, patří zrak mezi *nejdůležitější* smyslové orgány. Možným vysvětlením proč světlo jako médium má pro člověka takovou informační kapacitu vychází pravděpodobně z jeho vlastností, dlouhodobého působení a přítomnosti dané tzv. atmosférickými okny (obr. 1).

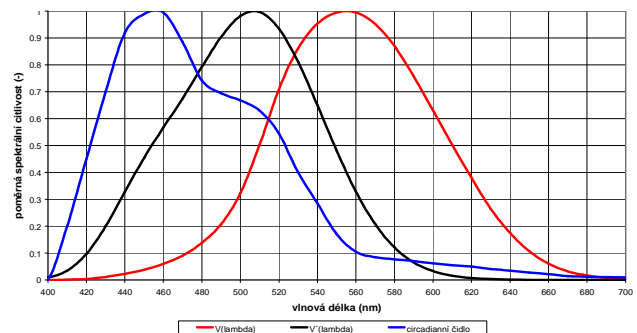


Obr. 1 Optické a rádiové atmosférické okno ve spektru elektromagnetického záření

Přírodní světelné podmínky, ve kterých se člověk vyvíjel, mají dvě základní fáze; den a noc. Den se vyznačuje dynamickým světelným prostředím s hladinami osvětlenosti měnící se od desítek luxů do stovek tisíc luxů, s teplotou chromatičnosti od 2 000 K do 20 000 K a směrovými vlastnostmi, které se mění od rovnoměrně rozptýleného osvětlení až po osvětlení s výraznou převahou směrové složky. Vzhledem k tomu, že zdrojem denního světla je Slunce, kolem kterého naše planeta obíhá, liší se denní světelné podmínky i jejich rozsahy jak z pohledu geografického, tj. podle zeměpisné polohy, tak z pohledu časového, tj. podle ročního období. Noc se vyznačuje velmi

nízkými hladinami osvětlenosti, které se pohybují v rozsahu od tisíců do několika desítek luxů. Hlavním zdrojem přírodního světla v noci je Měsíc odrážející sluneční záření. Zrakový orgán člověka se těmto podmínkám postupně přizpůsobil tím, že se u něj vyvinuly dva základní typy světločivných buněk; čípky a tyčinky. Čípky se uplatňují převážně v průběhu dne, umožňují vnímání barev a dovolují přizpůsobení zraku velkému rozsahu adaptačních jasů. Tyčinky se uplatňují převážně v průběhu noci, mají výrazně vyšší citlivost než čípky, ale neumožňují barevné vidění (obr. 2).

Světlo pro člověka znamená nejen příjem vizuálních informací, ale má i mimovizuální účinky. Pravidelné střídání dne a noci se v průběhu vývoje stalo základním impulsem, podle kterého se řídí biologické pochody v lidském těle. Střídání dne a noci představuje pro lidský organismus biologické hodiny, které lidský organismus ve dne aktivují a v noci utlumují. Informace o světelných podmínkách, podle kterých se řídí biologické pochody v lidském těle, jsou předávány prostřednictvím třetího typu fotoreceptoru v sítnici lidského oka (obr. 2).



Obr. 2 Průběhy poměrné spektrální citlivosti receptorů v sítnici lidského oka

V průběhu svého vývoje se člověk snažil usnadnit si svůj život a chránit se před nepříznivými vlivy vnějšího prostředí. To ho postupně vedlo k budování obydlí a jejich sdružování do sídelních celků od malých vesnic až po velké městské aglomerace. Tento proces byl doprovázen také změnami světelných podmínek, ve kterých člověk žil. Tyto změny byly z počátku malé a nevýznamné, ale s nástupem průmyslové revoluce a využíváním elektrických světelných zdrojů se stávaly stále výraznějšími. Člověk jednak začal významnou část dne trávit ve vnitřních prostorech s podstatně nižšími hladinami osvětlenosti v porovnání s podmínkami ve venkovním prostředí a jednak začal ve velké míře využívat umělé osvětlení v průběhu noční doby i ve venkovním prostředí. Nelze vyloučit, že zmíněné změny

původního přirozeného světelného prostředí, by mohly mít určitý vliv na zdraví člověka. Proto se v současné době řada odborných studií zaměřuje na otázky, zda je možné nalézt minimální hladinu osvětlenosti a dobu po kterou má být člověk jejímu působení vystaven v průběhu dne (z hlediska aktivní fáze) a podobně maximální osvětlenost a dobu jejího účinku v průběhu noci (z hlediska fáze útlumu organismu) [1].

S vývojem technických prostředků pro osvětlení vnitřních i venkovních prostorů, se postupně vyvíjel pohled na to, co je světlo a jak světelné podmínky souvisejí se zrakovým vjemem. První snahy o popis světla se objevují ve starých indických textech a o něco později v literatuře antického Řecka. Poměrně značné úsilí o pochopení a vysvětlení podstaty světla pak probíhalo kontinuálně od 16. století až po současnost, od prvních teorií o vlnové a částicové povaze světla až po nejnovější teorii kvantové elektrodynamiky.

Tento převážně fyzikální „objektivní“ popis bylo třeba spojit se „subjektivním“ zrakovým vnímáním, pro které není rozhodující podstata světla, ale prostorové rozložení světelných toků. Počátky procesu propojení fyzikálních vlastností světla s vlastnostmi zraku je možné zasadit do 19. století, nicméně zlomovým okamžikem byl vznik nového oboru, *světelné techniky* začátkem 20. století. V rámci tohoto oboru se začaly podrobně zkoumat vznik a vlastnosti zrakového vjemu, definovat světelně technické veličiny, zkoumat spektrální vlastnosti záření, vytvářet výpočetní a měřicí postupy. Na základě výsledků řady výzkumů se začaly postupně vytvářet doporučení a normy, jak konkrétní prostory, respektive místa určitých zrakových činností osvětlovat. Vznik světelné techniky jako vědního oboru tak umožnil změnit přístup k návrhům osvětlení od čistě intuitivního k předem promyšlenému procesu.

V průběhu vývoje techniky osvětlování se neustále objevuje otázka, jak má vypadat „správné osvětlení“, které v daném prostoru zajistí *zrakovou pohodu* uživatelů, tedy takové světelné prostředí, ve kterém člověk nejen dobře vidí a rozlišuje, ale také se dobře cítí. Při hledání zmíněného „správného osvětlení“ lze vyjít z přirozených světelných podmínek, ve kterých se člověk vyvíjel. Tato úvaha má své opodstatnění, pokud sledujeme vazbu mezi světelnými podmínkami, biologickým systémem člověka a mezi celkovým vjemem prostředí, ve kterém se člověk nachází. Pokud však analyzujeme vztah mezi světelnými podmínkami a konkrétní zrakovou činností, nemusí být tento přístup již tak jednoznačný, jelikož typ a náročnost zrakových činností se v průběhu lidského vývoje značně měnily. Z tohoto pohledu se jako odlišné jeví zrakové činnosti při jízdě motorovým vozidlem v nočním městě a nalezení bychom ještě řadu dalších příkladů.

### **Současné postavení světelné techniky**

Postavení a role světelné techniky v současné společnosti neodráží důležitost světla jako základní složky životního prostředí. Pro laickou veřejnost je osvětlení, resp. světelná technika, poměrně těžce uchopitelným oborem. Běžný člověk chápe, že dobré osvětlení pracoviště je důležitým požadavkem, který je třeba zajistit, aby se předešlo zdravotním problémům se zrakem. Nicméně takové vnímání problému má ve většině případů pouze deklarativní charakter a člověk si bezprostředně neuvědomuje závažnost tohoto problému. Veřejnost si pod pojmem osvětlení zpravidla nepředstavuje osvětlený prostor, vytvořené světelné prostředí a jeho atmosféru, protože

takováto představa je poměrně složitá. Většinou se pojem osvětlení redukuje pouze na svítidla a světelné zdroje. Osvětlit daný prostor, tak běžný člověk chápe jako výběr svítidel a světelných zdrojů, přičemž nejčastějšími kritérii při tomto výběru jsou vzhled, příkon, cena, případně energetická náročnost svítidla nebo světelného zdroje.

V rámci činnosti, kde by se na profesionální úrovni mělo navrhovat osvětlení vnitřních i venkovních prostorů, tedy v projekční praxi, je postavení světelné techniky rovněž výrazně omezeno. Návrh=osvětlení nepředstavuje v rámci projektové dokumentace samostatný oddíl, ale v České republice je zahrnut pod projekt silnoproudých elektroinstalací. Takto se „návrh osvětlení“ i na profesionální úrovni ve většině případů chápe jen jako výběr a rozmístění svítidel, při dodržení normami požadovaných parametrů. Vedle projekční praxe ovlivňuje stav kvality realizovaných osvětlovacích soustav jejich kontrola, která však v současné době většinou rovněž neodpovídá významu světla pro člověka.

Zdrojem profesionálních informací o světelné technice jsou vědecké, odborné a vzdělávací instituce. Výsledky jejich odborné činnosti ovlivňují stav poznání v tomto oboru. Pozitivním momentem v této oblasti je v současnosti informační propojení mezi těmito institucemi v různých zemích, které umožňuje lepší spolupráci i koordinaci výzkumu, vývoje i odborné činnosti. Vrcholovou institucí, kterou lze považovat za uzlový bod nebo koordinační centrum je Mezinárodní komise pro osvětlování (CIE). Její činnost je organizována v 7 divizích, ve kterých probíhá hlavní odborná činnost v rámci technických komisí. Tyto komise zpracovávají řadu dokumentů a doporučení. Vzhledem k tomu, že členy komisí jsou odborníci z celého světa, mají tyto dokumenty vysokou kvalitativní úroveň. Proto zpravidla slouží jako podklad pro vytváření norem na národní i mezinárodní úrovni. Organizace odborných institucí se v jednotlivých zemích liší.

Nezanedbatelnou okolností ovlivňující postavení a vnímání světelné techniky je role výrobních obchodních firem. Tyto firmy vyrábějí a prodávají technická zařízení, jako jsou svítidla, světelné zdroje a řídicí systémy osvětlení, tedy základní prostředky sloužící k realizaci osvětlovacích soustav. Ovlivňují stav v oblasti světelné techniky nejen kvalitou výroby, ale i cenovou politikou a marketingovými strategiemi. Jedním z negativních jevů, který je v současné době velice výrazný je tendenční zaměření a nízká vypovídací hodnota šířených informací, a to nejen o vlastních výrobcích, ale i osvětlování obecně. Tyto informace tvoří převažující část informací o světelné technice a významně tak, hlavně u běžné veřejnosti, ovlivňují pohled na tento obor.

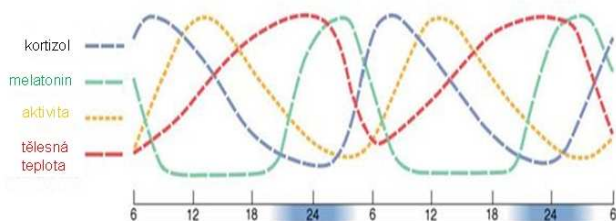
### **Budoucnost světelné techniky**

Rozhodujícím momentem pro posilování role světelné techniky ve společnosti je odborná a vědecká činnost. Vzhledem k tomu, že světelná technika má multidisciplinární charakter je pro její vývoj důležitý rozvoj poznání v řadě odlišných, často velmi vzdálených oborech. Z tohoto pohledu mezi nejsledovanější témata v posledních letech patří:

- mimovizuální účinky světla na člověka;
- mezopické vidění;
- vedlejší účinky osvětlení;
- energetická náročnost osvětlení;
- komplexní řešení vnitřního osvětlení objektů;

- koncepční řešení venkovního osvětlení měst;
- nové technické prostředky (světelné zdroje, svítidla, řídicí systémy).

V sítnici lidského oka se vedle fotoreceptorů (čípků a tyčinek), které ve vjemových polích sítnice zprostředkovávají příjem a první zpracování informací o okolním prostředí přinášených světlem, nachází ještě třetí typ fotoreceptorů, označovaný jako „čidla cirkadiálního cyklu“ a objevený v roce 2002. Orientační průběh poměrné spektrální citlivosti zmíněného třetího typu fotoreceptorů je spolu s poměrnou spektrální citlivostí zraku normálního fotometrického pozorovatele při denním - fotopickém [křivka  $V(\lambda)$ ] a při nočním – skotopickém vidění [křivka  $V'(\lambda)$ ] znázorněn na obr.1. V organismu člověka představuje třetí typ fotoreceptorů čidla centrálních biologických hodin, což jsou supraschiasmatická jádra tvořená nepatrnými kuličkami u místa křížení nervových svazků vystupujících z levého a z pravého oka. Na základě informací o světelných podmínkách regulují biologické hodiny řadu pochodů v lidském těle. Hlavním synchronizátorem je periodické střídání světla a tmy, tj. základní cirkadiální cyklus [11]. Zjednodušeně lze říci, že při vysokých hladinách osvětlenosti, které se běžně vyskytují v průběhu dne ve venkovním prostředí, dochází k blokaci vylučování hormonu melatoninu a k vyšší produkci hormonu kortizolu, což následně vede k aktivaci organismu. Naopak při poklesu osvětlenosti pod určitou úroveň dojde k produkci hormonu melatoninu a k omezení tvorby kortizolu, v důsledku čehož dochází k útlumu (viz obr.3). Důležité je, že centrální biologické hodiny řídí i periferní hodiny jednotlivých orgánů, zejména plic, ledvin, srdce a slinivky. Proto jsou změny v aktivitě lidského organismu doprovázeny i změnami teploty, krevního tlaku, srdečního rytmu atd.



Obr. 3 Typický denní rytmus tělesné teploty, hladiny melatoninu a kortizonu a také stupnice lidské aktivity podle přirozeného 24 hodinového cyklu světlo-tma

Výzkum v této oblasti je důležitý hlavně z pohledu lidského zdraví. Předpokládá se, že významné a dlouhodobé narušení pravidelného přirozeného rytmu střídání světelných podmínek, a tím i pravidelného střídání stavu klidu a aktivity, může vyvolat řadu zdravotních problémů. Výsledky současných výzkumů nejsou v takové fázi, aby je již bylo možné aplikovat v praxi. Nicméně v současných normách jsou již uvedeny první zmínky o existenci tohoto aspektu osvětlení [2,4]. V rámci mezinárodní komise pro osvětlování se zmíněné problematice věnují odborníci v technických komisích TC 6-62 a TC 6.-63 v rámci divize 6.

V dnešní světelně technické praxi se při návrzích i kontrolách světelného prostředí vychází z podmínek denního vidění, při kterém se používá spektrální citlivost zraku pro fotopické vidění [křivka  $V(\lambda)$ ]. Tento přístup umožňuje s dostatečnou přesností popsat světelné podmínky při vysokých hladinách jasů, které se vyskytují v

průběhu dne. Při snižování celkové úrovně jasů se postupně začíná spektrální citlivost zraku posouvat ke kratším vlnovým délkám a zrak začíná pracovat v tzv. mezopické oblasti. V odborné literatuře se uvádí, že k takovým situacím dochází při poklesu adaptačního jasu přibližně pod  $3 \text{ cd/m}^2$ . S dalším poklesem jasu se spektrální citlivost zraku přiblíží až ke krajní situaci skotopického (nočního) vidění [křivka  $V'(\lambda)$ ]. Při hodnocení práce zraku v mezopických podmínkách aplikací výpočtů a měření určených pouze pro fotopické situace vzniká řada nepřesností, popřípadě chyb. Výsledky dosavadních výzkumů zaměřených na stanovení průběhu poměrné spektrální citlivosti zraku v mezopické oblasti jsou shrnuty v nové vydané publikaci CIE [5]. Pro širší praktickou aplikaci popsané metody je třeba ještě provést řadu ověření v reálných podmínkách. Aplikace problematiky mezopického vidění do praxe sebou přináší možnost optimalizace osvětlovacích soustav z pohledu energetické náročnosti, zrakového výkonu i bezpečnosti. Největší využití takto zpřesněného popisu se týká hlavně oblasti veřejného osvětlení a nouzového osvětlení.

Při návrhu osvětlení se v první řadě sleduje otázka osvětlení konkrétního zrakového úkolu nebo prostoru. Nicméně osvětlovací soustava může při svém provozu vykazovat vedlejší účinky, které mohou ovlivňovat jak prostor, ve kterém je umístěna, tak prostory okolní. Tyto účinky mohou být různé povahy. Mohou ovlivňovat kvalitu vnitřního prostředí nebo mohou působit na uživatele, předměty či zařízení, nacházejících se v těchto prostorech. Pokud mají tyto účinky rušivý charakter, je třeba, je omezit na přijatelnou míru nebo úplně odstranit. Mezi vedlejší účinky osvětlení a osvětlovacích soustav patří:

- tepelné zatížení prostoru;
- akustické rušení;
- elektromagnetické rušení;
- UV a IR záření;
- rušivé světlo (VIZ).

Tepelné zatížení může způsobovat problémy hlavně v menších prostorech, například ve výstavních vitrínách, kde může ovlivnit vnitřní klimatické podmínky a vést k poškození předmětů nebo přehřívání předřadných přístrojů svítidel. Problémy mohou vznikat také například u kompaktních zářivek nebo kompaktních LED s integrovaným předřadníkem, instalovaných v uzavřených svítidlech s malým vnitřním prostorem. V takovém případě může dojít k přehřívání předřadníků a k jejich rychlému zničení. Akustické rušení, způsobené například předřadnými přístroji svítidel může negativně ovlivňovat prostředí koncertních sálů, učeben hudebních škol, televizních a nahrávacích studií apod. Elektromagnetické rušení, způsobené svítidly může ovlivňovat citlivé přístroje například v nemocnicích, vědeckých laboratořích apod. Problematika s UV a IR zářením vzniká hlavně při osvětlování výstavních prostorů, kde se vystavují citlivé exponáty, které mohou mít velkou historickou hodnotu. U těchto citlivých exponátů dochází při ozařování UV paprsky k degradaci způsobené fotochemickou reakcí, která se projevuje změnou barevných a mechanických vlastností materiálů. IR záření může vyvolat mechanické poškození u předmětů složených z materiálů různé tepelné roztažnosti. Této problematice se věnuje publikace CIE [6] a v rámci CEN se připravuje nová norma [7]. Pravděpodobně nejnámějším vedlejším účinkem osvětlení je tzv. světelné znečištění, resp. rušivé světlo ve venkovním osvětlení. V současné době se tento problém řeší pouze ve venkovních prostorech. Problematika je již zahrnuta v současných normách týkající se venkovního osvětlení

[2,8]. V rámci mezinárodní komise pro osvětlování se zmíněnými otázkami zabývají divize 4 (TC 4.21) a divize 5 (TC 5.28). Nicméně problém světelného znečištění se v současné době objevuje i v interiérech, zvláště v administrativních budovách s otevřenými velkoprostorovými kanceláři, kde mohou svítidla, která principiálně patří do jiné, ale pevně neoddělené části prostoru, způsobovat oslnění v jiné části prostoru. Řešení vedlejších nežádoucích účinků určité části osvětlovací soustavy, zvyšuje celkovou kvalitu návrhu osvětlení, eliminuje problémy, které mohou neočekávaně vzniknout po zahájení provozu osvětlovací soustavy a v některých případech může vést ke snížení energetické náročnosti.

Hospodárné využívání energií a snižování energetické náročnosti patří mezi nejdiskutovanější témata současnosti. V oblasti osvětlení se tlak na hospodárnější využívání elektrické energie projevuje ve dvou úrovních; na úrovni technických zařízení a na úrovni samotného projektu.

- Principem řešení energetické hospodárnosti na úrovni technických zařízení je zamezit prodeji nehospodárných výrobků. Tento princip je v rámci EU legislativně ukotven v dokumentech Evropské komise týkající se tzv. ekodesignu [9,10].
- Principem řešení energetické hospodárnosti na úrovni projektu, je energetický hospodárný návrh osvětlení, který souvisí nejen s použitím vhodných energeticky účinných zařízení, ale také s dobou využití a správnou volbou světelně technických. Řešení energetické hospodárnosti na úrovni projektu vyústilo v komplexní hodnocení energetické náročnosti budov, které se promítlo do národních i mezinárodních norem. Pro energetiky hospodárné řešení jednotlivých technologických částí budov, mezi nimi i pro osvětlení, jsou zpracovány samostatné normy [4]. V rámci venkovního osvětlení se pracuje v rámci CEN na hodnocení energetické náročnosti veřejného osvětlení.

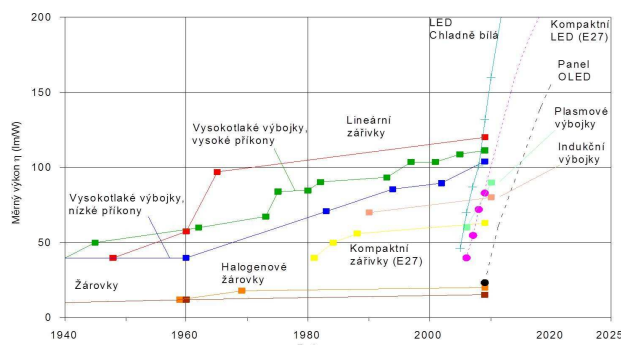
Dalším z důležitých témat současné světelné techniky je komplexní návrh osvětlení v rámci interiéru budov, který zahrnuje společný postup při řešení denního a umělého osvětlení. V současné době se dosud denní a umělé osvětlení navrhuje odděleně, což neumožňuje nebo ztěžuje optimální využití obou zdrojů světla. Přístupy, které se při návrzích obou soustav používají, jsou odlišné a výstupy z obou návrhů se jen složitě kombinují. Denní světlo je přirozenou součástí přírodního prostředí a není třeba jej složitě a náročně vyrábět. Proto by jeho využití měla být věnována větší pozornost, než je tomu v současné praxi. Vedle toho by integrální součástí řešení osvětlení mělo být také nouzové osvětlení a způsob ovládání, popřípadě řízení osvětlovacích soustav. Takovýto přístup by umožňoval nejen zkvalitnit světelné prostředí v budovách, ale také optimalizovat jak energetickou náročnost osvětlení, tak investiční i provozní náklady.

Koncepční řešení venkovního osvětlení vychází z podobného principu jako komplexní řešení osvětlení v budovách. V tomto případě jde o návrh osvětlení celého města, případně jeho částí, který bere v úvahu nejen otázku světelně technických parametrů, ale principiálně vychází z vizuální podoby města ve večerních a nočních hodinách. Vzhledem k tomu, že se při komplexním přístupu bere v úvahu řada oblastí, které veřejné osvětlení ovlivňuje nebo naopak je jimi ovlivňováno, umožňuje tento přístup:

- celkové zlepšení kvality nočního prostředí měst a obcí, včetně zvýšení bezpečnosti provozu;
- účinné řešení ovládání a řízení osvětlovací soustavy;
- optimalizaci spotřeby elektrické energie;
- přijetí dlouhodobé strategie pro obnovu a rozvoj veřejného osvětlení;
- přijetí zásad pro řešení problematiky rušivého světla apod.

V současné době se této problematice věnuje CIE v rámci divize 5 (TC 5-21).

Vývoj samotných technických prostředků probíhá v řadě oblastí. Velmi intenzivní vývoj zaznamenáváme v oblasti světelných zdrojů (obr. 4). Při tom se sleduje několik základních parametrů. Pravděpodobně nejsledovanějším parametrem je měrný výkon, který přináší informaci o účinnosti přeměny energie elektrické na světelnou. Dalším parametrem je spektrální složení vyzářovaného světla, které určuje nejen jeho barevné vlastnosti a ovlivňuje kvalitu vjemu barev ve světle daného zdroje, ale souvisí také s jeho měrným výkonem. Mezi důležité parametry patří také doba života zdroje.



Obr. 4 Vývoj měrných výkonů  $\eta$  (lm/W) u běžně používaných světelných zdrojů pro všeobecné osvětlování

V posledních letech se bouřlivě rozvíjejí polovodičové světelné zdroje, a to jak světelné diody (LED), tak i organické světelné diody (OLED). Zatímco světelné diody se postupně prosazují ve stále větším okruhu aplikačních oblastí a v současné době dosahují měrných výkonů přes 130 lm/W, jsou organické světelné diody zatím stále ještě ve fázi výzkumu a vývoje. Světelné diody jsou vzhledem ke svému charakteru vyzářování vhodné pro směrová svítidla, u organických světelných diod lze předpokládat uplatnění pro celkové osvětlení prostoru. Polovodičové světelné zdroje velmi výrazně ovlivňují vývoj svítidel, u kterých je třeba velmi pečlivě řešit nejen optický systém, ale také teplotní poměry a chlazení. Určitý vývoj lze sledovat v oblasti bezelektrodových světelných zdrojů (nízkotlakých i vysokotlakých), které se vyznačují dlouhou dobou života a kvalitním spektrálním složením, nicméně jejich měrný výkon se pohybuje na úrovni běžných elektrodových výbojových zdrojů, tj. okolo 100 lm/W.

U svítidel je velká pozornost věnována optickým systémům. V nedávné době řady výrobců inovovala svítidla s reflektorovými optickými systémy. Velká pozornost je v dnešní době věnována optickým prvkům, které využívají lomu světelných paprsků (mikroprismatické kryty, optické čočky, holografické prvky). Od vývoje nových technických zařízení lze tedy v budoucnu obecně očekávat zlepšení

sledovaných parametrů a efektivnější využití elektrické energie pro osvětlování.

### Závěr

Řešení témat z oblasti světelné techniky má velký potenciál, který v sobě zahrnuje zkvalitnění životního prostředí, a to nejen z hlediska zrakového vnímání, ale z pohledu celkového zdravotního stavu, zlepšení bezpečnosti, omezení vedlejších účinků osvětlovacích soustav i hospodárnějšího využití elektrické energie pro osvětlování. Nicméně řešení uvedených témat a následná aplikace výsledků výzkumů v praxi zásadně závisí na postavení světelné techniky ve společnosti, které v současné době neodpovídá významu světla pro člověka. Pro změnu postavení světelné techniky ve společnosti je třeba začít řešit několik klíčových témat:

#### 1. Osvěta

Prvním úkolem, kterého se musí ujmout odborné instituce na národní i mezinárodní úrovni je jasně, srozumitelně a jednoduše popsat význam světla pro člověka. Tyto informace by měly být rozšířeny prostřednictvím odborné veřejnosti mezi laickou veřejnost, projektanty i zaměstnance statní správy. Na to by měla navázat další osvěta v oblasti osvětlení, která by měla být pojata tak, aby byla jednoduchá, srozumitelná a přijatelná pro běžnou veřejnost. Jak již bylo zmíněno, v současné době pochází většina informací o světelné technice z marketingových kampaní obchodních firem a tyto informace jsou zpravidla nekvalitní, neúplné a zejména marketingově zaměřené.

#### 2. Profesionální praxe

Pro zlepšení úrovně osvětlení ve vnitřních i venkovních prostorech je třeba, aby došlo ke změnám v projekční praxi. Pokud nebude oboru osvětlení vyčleněn v rámci projektu odpovídající prostor nelze očekávat výrazné zlepšení kvality osvětlovacích soustav a hospodárnosti osvětlení. Návrh osvětlení jinak zůstane redukován na výběr typu a rozmístění svítidel a na dodržení normativních ukazatelů a jen těžko bude možné například aplikovat komplexní řešení osvětlení budov, či koncepční řešení venkovního osvětlení měst a obcí.

### 3. Vědecká a odborná činnost

Základem pro kvalitní osvětu a výchovu profesionálních projektantů z oblasti světelné techniky je kvalitní odborná základna ve formě odborných organizací, vzdělávacích zařízení a vědeckých institucí. Vzhledem k tomu, že obor světelné techniky je oborem malým, je třeba, aby v rámci jednotlivých zemí byla činnost těchto institucí efektivně organizována a aby byla napojena na mezinárodní organizace.

#### Literatura

- [1] Light at Night: The Latest Science, 2010 DOE Solid-State Lighting Market Introduction Workshop, Philadelphia, July 20–22, 2010, [www.ssl.energy.gov/philadelphia2010\\_materials.html](http://www.ssl.energy.gov/philadelphia2010_materials.html)
- [2] ČSN EN 12464-1 Světlo a osvětlení – Osvětlení pracovních prostorů – Část 1: Vnitřní pracovní prostory
- [3] ČSN EN 12464-2 Světlo a osvětlení – Osvětlení pracovních prostorů – Část 2: Venkovní pracovní prostory
- [4] ČSN EN 15193 Energetická náročnost budov – Energetické požadavky na osvětlení
- [5] CIE 191-2010: Recommended System for Mesopic Photometry Based on Visual Performance
- [6] CIE 157-2004: Control of Damage to Museum Objects by Optical Radiation
- [7] prEN 16163 Conservation of cultural property – Exhibition lighting of cultural property
- [8] ČSN EN 12193 Světlo a osvětlení – Osvětlení sportovišť
- [9] Nařízení komise (ES) č. 244/2009
- [10] Nařízení komise (ES) č. 245/2009
- [11] Illnerová H.: Vliv osvětlení na člověka, jeho biorytmy a synchronizace. Institut pro další vzdělávání pracovníků ve zdravotnictví, Brno 2006

**Authors:** prof. ing. Jiří Habel, DrSc., Ing. Petr Žák, Ph.D., České vysoké učení technické v Praze, Technická 2, 166 27, Praha, Czech Republic, e-mail: [habel@fel.cvut.cz](mailto:habel@fel.cvut.cz)

## Metodika merania núdzového osvetlenia

**Abstrakt.** Z hľadiska bezpečnosti má núdzové osvetlenie nezastupiteľný význam. Jeho úlohou je v prípade výpadku napájania hlavného osvetlenia zabezpečiť bezpečné opustenie priestorov, zamedzenie vzniku paniky, zníženie rizika úrazu prípadne nevyhnutné dokončenie činnosti. Požiadavky, ktoré musí núdzové osvetlenie spĺňať, sú uvedené v EN 1838. Akým spôsobom však merať núdzové osvetlenie a ako overiť, či sú požadované parametre splnené? Cieľom príspevku je prezentovať metodiku merania umožňujúcu hodnotenie núdzového osvetlenia v súlade s EN 1838.

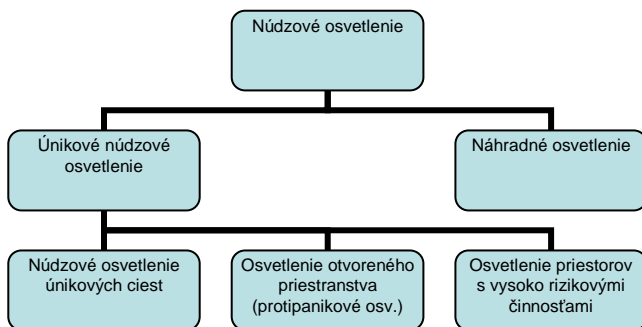
**Kľúčové slová:** núdzové osvetlenie, meranie núdzového osvetlenia, svietidlá pre núdzové osvetlenie,

### Úvod

Nie je tomu tak dávno, keď sa človek nebál napiť zo studničky v lese, keď sa deti po celodennom šantení vrátili domov zdravé i napriek tomu, že ich rodičia nevedeli kedykoľvek skontrolovať mobilným telefónom, keď vrcholom bezpečnosti bol zapnutý pás v aute... Ako plynie čas, mení sa aj svet. Hoci ľudia sú tí istí, majú svoje sny, túžby, priateľstvá, lásky, akosi stále viac však myslia na bezpečnosť, na svoje zdravie, ochranu a snažia sa minimalizovať akékoľvek známe riziká. No a rovnakú úlohu ma aj núdzové osvetlenie. Musí zabezpečiť dostatočnú viditeľnosť a tým bezpečnosť osôb v prípade výpadku napájacej sústavy normálneho osvetlenia.

### Požiadavky na núdzové osvetlenie

Požiadavky na núdzové osvetlenie uvádza predovšetkým EN 1838 [1]. Je v nej definované, kde sa núdzové osvetlenie musí realizovať a aké parametre musí spĺňať. Norma delí núdzové osvetlenie na Únikové núdzové osvetlenie a Náhradné osvetlenie.



Obr.1. Rozdelenie núdzového osvetlenia

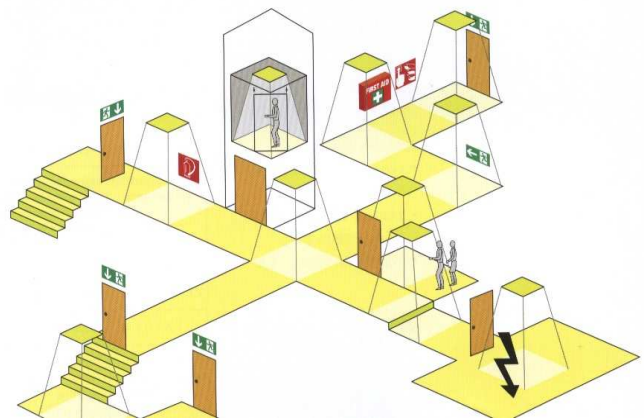
Účelom núdzového osvetlenia únikových ciest je umožniť bezpečný únik z priestoru vytvorením vhodných podmienok viditeľnosti, nasmerovať osoby do únikových ciest a na určené miesta, zabezpečiť viditeľnosť a použiteľnosť požiarnych a bezpečnostných zariadení.

Účelom osvetlenia otvoreného priestranstva (protipanikové osvetlenie) je znížiť pravdepodobnosť vzniku paniky, umožniť bezpečný pohyb osôb smerom k únikovým cestám vytvorením vhodných podmienok viditeľnosti a nasmerovaním.

Účelom osvetlenia priestorov s vysoko rizikovými činnosťami je prispieť k bezpečnosti osôb zapojených do potenciálne nebezpečného priestoru alebo situácie a umožniť im riadne zastavenie činností, aby sa vytvorili podmienky na bezpečnosť ostatných osôb.

Svietidlá pre núdzové osvetlenie sa umiestňujú pri každých vchodových dverách a na miestach kde je potrebné zvýrazniť potenciálne nebezpečenstvo alebo bezpečnostné zariadenie, napríklad:

- Pri všetkých dverách používaných v stave núdze,
- V blízkosti (rozumie sa do 2 m) schodísk,
- V blízkosti každej zmeny úrovne,
- V blízkosti núdzových východov a bezpečnostných značiek,
- Pri každej zmene smeru,
- Na križovatkách chodieb,
- V blízkosti každého konečného východu,
- V blízkosti každého miesta prvej pomoci,
- V blízkosti každého požiarného zariadenia a hlásiča požiaru.

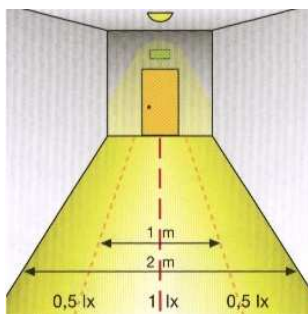


Obr.2. Príklad rozmiestnenia svietidiel núdzového osvetlenia

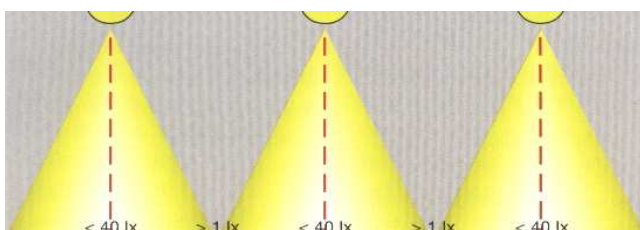
### Núdzové osvetlenie únikových ciest

Pri núdzovom osvetlení únikových ciest sa požadujú najmä:

- minimálna intenzita osvetlenia kdekolvek v osi únikovej cesty  $E_{min} \geq 1 \text{ lx}$ ,
- minimálna intenzita osvetlenia v stredovom páse so šírkou aspoň 1/2 šírky únikovej cesty  $E_{min} \geq 0,5 \text{ lx}$ ,
- rovnomernosť definovaná ako pomer maximálnej a minimálnej osvetlenosti v osi únikovej cesty menej ako 40:1,
- index podania farieb  $R_a \geq 40$ ,
- čas trvania únikového osvetlenia  $\geq 1 \text{ h}$ ,
- intenzita osvetlenia musí dosiahnuť minimálne 50% do 5 s a 100% do 60 s požadovaných hodnôt.



Obr.3. Minimálna osvetlenosť únikových ciest



Obr.4. Požadovaná rovnomernosť osvetlenia únikových ciest

### Núdzové osvetlenie otvoreného priestranstva

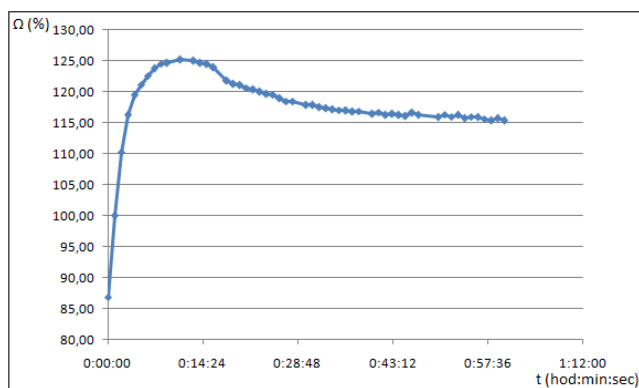
Pri núdzovom osvetlení otvoreného priestranstva sú požiadavky na osvetlenie takmer rovnaké ako pri osvetlení únikových ciest. Rozdiel je iba v tom, že sa hodnotí vodorovná osvetlenosť celého priestoru okrem 0,5 m od obvodu miestnosti.

Vodorovná osvetlenosť na úrovni podlahy má byť minimálne  $E_{min} \geq 0,5$  lx.

### Meranie núdzového osvetlenia

Prvoradá požiadavka pre meranie núdzového osvetlenia je zabezpečiť overený luxmeter, ktorý dokáže merať osvetlenosť aj na úrovni desiatín luxu. Intenzity osvetlenia uvedené v STN EN 1838 sú minimálne osvetlenosti, ktoré je potrebné dosiahnuť kedykoľvek v priebehu času trvania núdzového osvetlenia ktorý je minimálne 1 h, ale reálne, najmä pri veľkých objektoch môže byť aj niekoľko hodín.

Intenzita osvetlenia sa však pri núdzovom osvetlení v priebehu svietenia mení. Veľkosť tejto zmeny závisí od druhu použitých svetelných zdrojov (žiarivky, kompaktné žiarivky, LED, žiarovky a pod.), od spôsobu napájania (NiCd alebo NiMH akumulátory zabudované v svietidlách, napájanie z centrálnej akumulátorovne, menič v kombinácii s dieselagregátom a pod.). Priebeh svetelného toku núdzového svietidla s 9W kompaktnou žiarivkou a akumulátorom NiCd 4,8V/2,1 Ah vidno na nasledovnom obrázku.



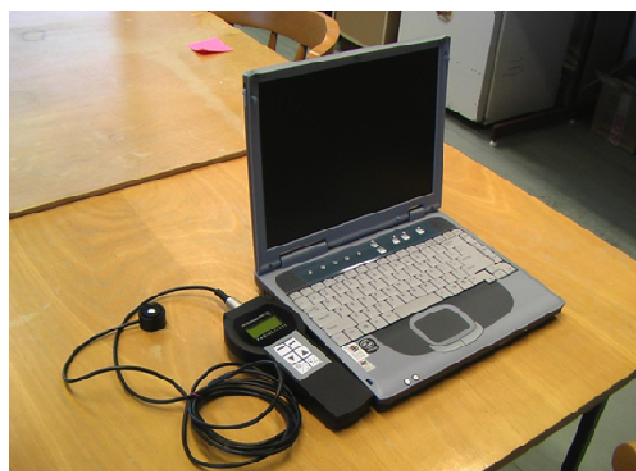
Obr.5. Zmena svetelného toku núdzového svietidla počas svietenia

Ak má meranie preukázať splnenie požiadaviek normy STN EN 1838, bolo by potrebné kompletne meranie v celom objekte vykonať presne v čase 1 h po výpadku napájania, ani skôr, ani neskôr. To však technicky nie je možné.

Preto navrhujeme pre meranie núdzového osvetlenia voliť nasledovnú metodiku.

### Metodika merania núdzového osvetlenia

Pre objektívne meranie núdzového osvetlenia odporúčame použitie dvoch rovnakých luxmetrov s možnosťou pripojenia na počítač. Každý luxmeter je pripojený na samostatný notebook, pričom jeden bude slúžiť ako porovnávací a bude umiestnený počas celého merania na jednom mieste v blízkosti vybraného núdzového svietidla a druhý bude slúžiť na samotné meranie núdzového osvetlenia. Oba počítače musia mať zosynchronizovaný čas a použitý software musí súčasne s nameranou hodnotou osvetlenosti zaznamenávať aj aktuálny čas.



Obr.6. Luxmeter prepojitelný s počítačom

Merací program porovnávacieho luxmetra bude zaznamenávať namerané hodnoty osvetlenosti kontinuálne v intervale napr. 1 s počas celého času, po ktorý má byť funkčné núdzové osvetlenie. Z nameraných údajov sa potom vykreslí priebeh zmeny svetelného toku svietidiel pre núdzové osvetlenie.

Takto namerané údaje sa následne prepočítajú na percentuálne vyjadrenie, pričom ako 100% sa bude brať najnižšia z nasledujúcich troch hodnôt:

- intenzita osvetlenia nameraná v čase  $t = 5$  s po nábehu núdzového osvetlenia vynásobená dvomi,
- intenzita osvetlenia nameraná v čase  $t = 60$  s,
- intenzita osvetlenia na konci minimálneho času, po ktorý má byť funkčné núdzové osvetlenie (napr. 1 hodina).

Núdzové osvetlenie únikových ciest alebo otvorených priestranstiev sa môže merať ihneď po nábehu núdzového osvetlenia druhým luxmetrom. Je vhodné vykonať merania vo všetkých požadovaných priestoroch v čase, pokiaľ je ešte funkčné núdzové osvetlenie (napríklad do 1 hodiny). V opačnom prípade by bolo potrebné nechať akumulátory znovu nabiť na plnú kapacitu a v meraniach pokračovať napríklad až na nasledujúci deň.



Ku každej nameranej hodnote osvetlenosti je potrebné zaznamenať aj aktuálny čas, kedy bolo meranie vykonané (na to slúži druhý notebook s vhodným programom).

Po dokončení merania sa namerané dáta z oboch notebookov zosynchronizujú a intenzita osvetlenia nameraná druhým luxmetrom v jednotlivých priestoroch sa vynásobí príslušnou percentuálnou hodnotou z priebehu poklesu svetelného toku nameraného porovnávacím luxmetrom.

Takto prepočítané hodnoty je možné porovnať s požiadavkami normy STN EN 1838.

Použitím tejto metodiky je možné získať objektívne výsledky z merania núdzového osvetlenia a garantovať, že osvetlenie vyhovuje požadovaným parametrom.

Môže nastať situácia, že osvetľovacia sústava núdzového osvetlenia je tvorená kombináciou rôznych druhov svetelných zdrojov, napríklad LED a kompaktných žiaroviek, ako je tomu na nasledovnom obrázku.



Obr.6. Núdzové osvetlenie kombináciou žiaroviek a LED.

V takom prípade je vhodné fotónku porovnávacieho luxmetra umiestniť v blízkosti svetelného zdroja ktorého svetelný tok sa v čase mení viac (v tomto prípade by to boli kompaktné žiarivky), alebo vykonať meranie s porovnávacím luxmetrom umiestneným v blízkosti každého druhu svetelného zdroja samostatne. Treba však počítať, že takéto meranie môže trvať aj niekoľko dní, pretože pred spustením každého porovnávacieho merania je potrebné nabiť akumulátory na plnú kapacitu.

### Záver

Uvedeným spôsobom bolo na Slovensku vykonaných už niekoľko meraní sústav núdzového osvetlenia. A hoci je meranie náročnejšie na technické vybavenie, výsledkom použitia uvedenej metodiky je možnosť garantovania súladu s požiadavkami predpisov, čo by v inom prípade mohlo byť problematické.

### Použitá literatúra

[1] STN EN 1838, Požiadavky na osvetlenie – Núdzové osvetlenie. Bratislava: SÚTN, 2001.

**Autori:** Ing. František Krasňan, PhD., Ing. Matej Janík, Slovenská technická univerzita v Bratislave, Fakulta elektrotechniky a informatiky, Illkovičova 3, 812 19 Bratislava, Slovenská republika, e-mail: frantisek.krasnan@stuba.sk, matej.janik@stuba.sk

## LED svítidla pro veřejné osvětlení

**Abstrakt.** LED svítidla pro veřejné osvětlení – fenomén posledních několika málo let, vítaný i zatracovaný. Odborná veřejnost s velkými nadějemi vzhlíží k tomuto světelnému zdroji právem jako ke světelnému zdroji nedaleké budoucnosti.

Vzájemné porovnání stávajícího, již desítky let využívaného veřejného osvětlení s vysokotlakými sodíkovými výbojkami a nově nastupujících LED svítidel je úkolem pilotních projektů, které se postupně objevují po celém území ČR. V Praze 5 byl 11. listopadu 2009 slavnostně zahájen jeden z nejrozsáhlejších pilotních projektů v ČR, který přinesl velice zajímavé poznatky. LED svítidla byla podrobena vstupnímu laboratornímu měření na katedře elektroenergetiky ČVUT, názorům přítomných občanů, dále průběžnému terénnímu měření a v neposlední řadě i pravidelné kontrole funkčnosti.

V rámci laboratorního měření na katedře elektroenergetiky ČVUT se provedlo u všech typů použitých svítidel podrobné měření fotometrických a elektrických vlastností.

Součástí projektu byla i veřejná anketa – práce seznamuje s nejzajímavějšími závěry.

Jedny z nejzajímavějších výsledků pro provozovatele veřejného osvětlení přinesly pravidelné kontroly funkčnosti, které odhalily slabé místo LED svítidel.

**Klíčová slova:** LED svítidla, měření LED svítidel, funkčnost

### Úvod

Úspory el.energie jsou v posledních letech skloňovány ve všech pádech a proto není divu, že nejen český trh je zaplavován různými výrobky slibující mnohdy až nevídané úspory. LED svítidla mezi tyto výrobky bezesporu patří. Propagační materiály jednotlivých výrobců slibují různé návratnosti vložených investičních prostředků. S předloženou kalkulací seznamující s velmi rychlou návratností je potřeba se seznámit a případně prohlédnout její pravdivost. Jedním z parametrů těchto kalkulací je bezúdržbovost, tedy nulové provozní náklady po dobu životnosti LED svítidla, která se pohybuje od 15 do 25 let. Prověření LED svítidel v reálném provozu byl impulsem k realizaci jednoho z nejrozsáhlejších pilotních projektů LED svítidel na území ČR a to v Praze 5 Smíchově, který byl slavnostně rozsvícen 11. listopadu 2009.

Výběru LED svítidel pro pilotní projekt se zúčastnilo celkem 48 firem z celého světa. Pro instalaci LED svítidel bylo v závěru vybráno celkem 6 společností, jejichž LED svítidla rozzářila 7 ulic. Cílem pilotního projektu bylo prověření všech LED svítidel jak v laboratoři, tak i v reálném provozu.

### Stávající stav a návrh LED svítidel

Pro každou komunikaci bylo na základě dodaných křivek svítivosti k LED svítidlům provedeno porovnání původní soustavy veřejného osvětlení s vysokotlakými sodíkovými výbojkami s nově navrhovanými LED svítidly.

Tab 1. Porovnání navrhovaných LED svítidel se stávajícími svítidly s vysokotlakými sodíkovými výbojkami

Původní sodíkové svítidlo	Příkon	Průměrná osvětlenost/jas	Nové LED svítidlo	Příkon	Průměrná osvětlenost/jas
SCHREDER MC12	64	0.51 [cd/m <sup>2</sup> ]	A	106	0.5 [cd/m <sup>2</sup> ]
SCHREDER MC2	83	0.6 [cd/m <sup>2</sup> ]	B	141	0.5 [cd/m <sup>2</sup> ]
MARS	83	0.8 [cd/m <sup>2</sup> ]	C	118	0.75 [cd/m <sup>2</sup> ]
SCHREDER MC2	116	1.17 [cd/m <sup>2</sup> ]	D	109.5	1.23 [cd/m <sup>2</sup> ]
SIDONIA Z1	35	12.8 [lx]	E	22.3	12.5 [lx]
SIDONIA Z1	35	3.7 [lx]	F	72.2	17.5 [lx]
SIDONIA Z1	64	9.6 [lx]	G	47.2	9.0 [lx]

### Laboratorní měření

Laboratorní měření LED svítidel bylo provedeno na katedře elektroenergetiky ČVUT pod vedením Prof. Ing. Jiřího Habela, DrSc. Obsahem laboratorního měření byla analýza fotometrických parametrů, měření spektrálních a elektrických vlastností. V rámci laboratorního měření bylo změřeno i svítidlo H, které však nebylo instalováno

z důvodu nesplnění požadované osvětlenosti pro vybranou komunikaci.

Analýza fotometrických údajů svítidel se týkala hodnocení rozložení světelného toku svítidel s využitím charakteristických svítivosti a pásmových toků. Vstupní údaje pro tuto analýzu byly převzaty z dodaných podkladů (fotometrických křivek) od výrobce.

Tab 2. Charakteristické svítivosti posuzovaných svítidel

Ozn.	I <sub>0°</sub> .sv (cd/klm)	I <sub>70°</sub> .sv (cd/klm)	I <sub>80°</sub> .sv (cd/klm)	I <sub>90°</sub> .sv (cd/klm)	I <sub>max</sub> .sv (cd/klm)	C <sub>max</sub> (°)	γ <sub>max</sub> (°)	Třída D	Třída G
A	173	297	117	1,2	397	5	50	D5	G2
B	172	271	113	1,4	392	5	50	D5	G2
C	287	287	194	47,0	337	15	54	D5	G1
D	330	1225	71	0,1	1637	15	66	D6	G3
E	178	958	11	10,5	931	5	71	D6	G3
F	207	751	199	45,0	893	30	65	D6	G1
G	144	428	140	24,4	513	25	65	D6	G2
H	45	434	118	0,0	451	45	72	D5	G2

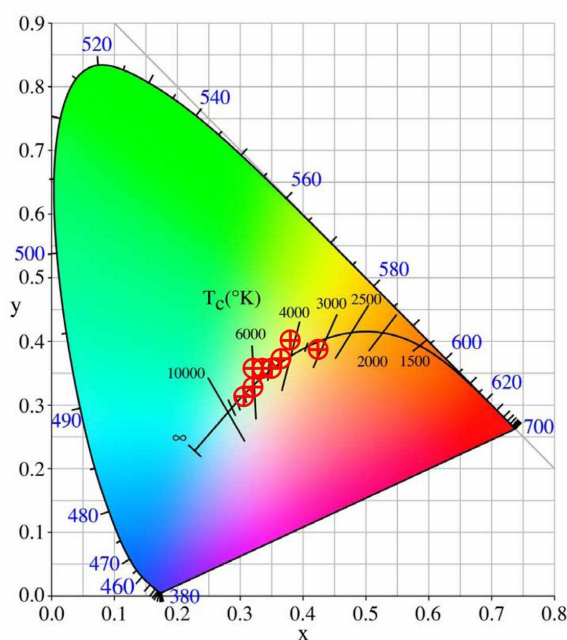
Tab 3. Podíly světelných toků do dolního a horního poloprostoru a začlenění posuzovaných svítidel do system BUG

Ozn.	Φ <sub>sv</sub> (lm)	Φ <sub>D</sub> (lm)	Φ <sub>H</sub> (lm)	DLR (%)	ULR (%)	B	U	G
A	5 053	5 053	0	100%	0%	B2	U1	G2
B	6 011	6 011	0	100%	0%	B2	U1	G2
C	8 400	8 318	82	99,0%	1,0%	B2	U3	G2
D	6 413	6 413	0,1	100,0%	0,0%	B1	U1	G1
E	1 080	1 078	2,2	99,8%	0,2%	B1	U1	G0
F	6 716	6 542	174	97,4%	2,6%	B1	U3	G2
G	3 206	3 188	18,4	99,4%	0,6%	B1	U2	G1
H	12 300	12 300	0	100,0%	0,0%	B4	U2	G2

Pro hodnocení spektrálních vlastností světelných diod (LED) posuzovaných svítidel bylo změřeno podrobné spektrální rozložení zářivého toku v rozsahu vlnových délek od 380 nm do 780 nm. Z výsledků měření byly vypočteny náhradní teploty chromatičnosti, všeobecné indexy podání barev a světelné toky pro různé adaptační podmínky (fotopické, mezopické, skotopické vidění).

Tab 4. Souřadnice x,y, náhradní teploty chromatičnosti  $T_{cn}$  a všeobecný index podání barev  $R_a$  vyzařovaného světla posuzovaných svítidel

Ozn.	x	y	$T_{cn}$ (K)	$R_a$ (-)
A	0,35	0,37	4 959	72
B	0,34	0,36	5 100	72
C	0,31	0,31	6 872	73
D	0,32	0,35	6 012	69
E	0,42	0,37	3 088	93
F	0,38	0,38	3 901	81
G	0,30	0,31	7 478	80
H	0,33	0,34	5 690	69



Obr.1. Diagram chromatičnosti v soustavě XYZ s vyznačením bodů chromatičnosti vyzařovaného světla posuzovaných svítidel

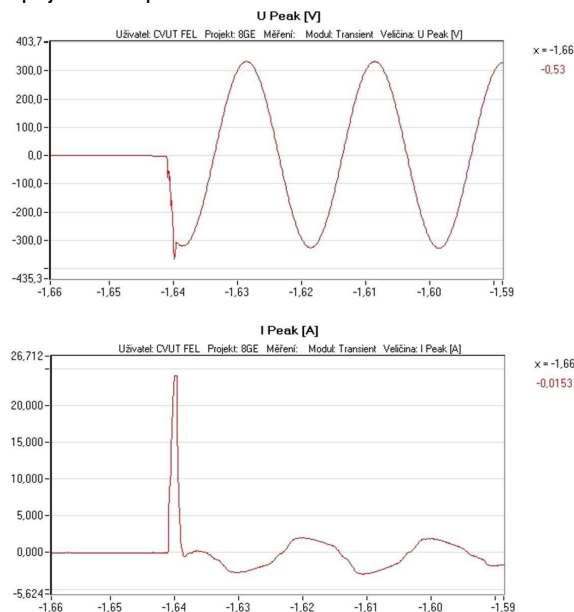
Tab 5. Světelné toky pro různé adaptační podmínky zraku pozorovatele u sledovaných svítidel a u svítidla s vysokotlakou sodíkovou výbojkou 150W

Ozn.	Noční vidění	Mezopické vidění			Denní vidění	$\Phi'_{sv}/\Phi_{sv}$ (-)	$T_{cn}$ (K)
	$\Phi'_{sv}$ (lm)	$\Phi''_{sv,L=0,5}$ (lm)	$\Phi''_{sv,L=0,3}$ (lm)	$\Phi''_{sv,L=0,1}$ (lm)	$\Phi_{sv}$ (lm)		
A	8848	5306	5912	7226	5053	1,75	4959
B	10669	6312	7033	8656	6011	1,77	5100
C	17079	8904	10248	13104	8400	2,03	6872
D	12306	6738	7700	9690	6417	1,92	6012
E	1548	1112	1199	1367	1080	1,43	3088
F	10654	6985	7656	9100	6716	1,59	3901
G	7262	3430	4008	5322	3206	2,27	7478
H	24577	13038	15129	19016	12300	2,00	5694
I	8943	14550	13050	10560	15 000	0,60	1823

Z výše uvedené tabulky je patrné, že lepší vnímání bílého světla se projevuje pouze do jasů 0,3-0,5 cd/m<sup>2</sup>. V méně osvětlených lokalitách (pod 0,5 cd/m<sup>2</sup>) je přínos bílého světla ve zvýšení bezpečnosti osvětleného prostoru.

V rámci rozboru elektrických parametrů se věnovala pozornost obvyklým provozním stavům, a to okamžiku

zapnutí, při náběhu, v ustáleném stavu a při kolísání napájecího napětí.

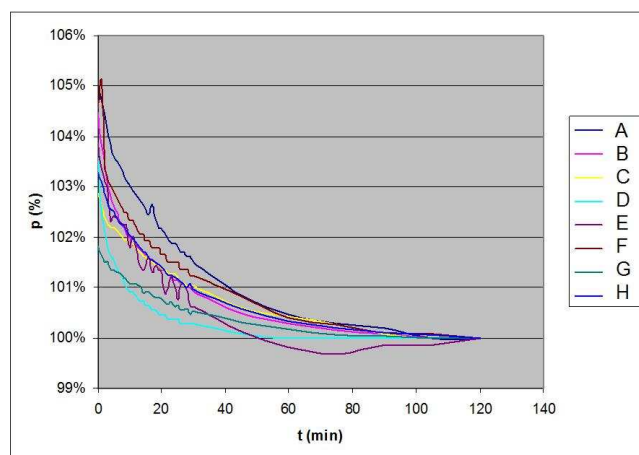


Obr.2. Vyznačení okamžiku zapnutí na sinusovém průběhu napájecího napětí a příklad průběhu proudového nárazu při zapnutí

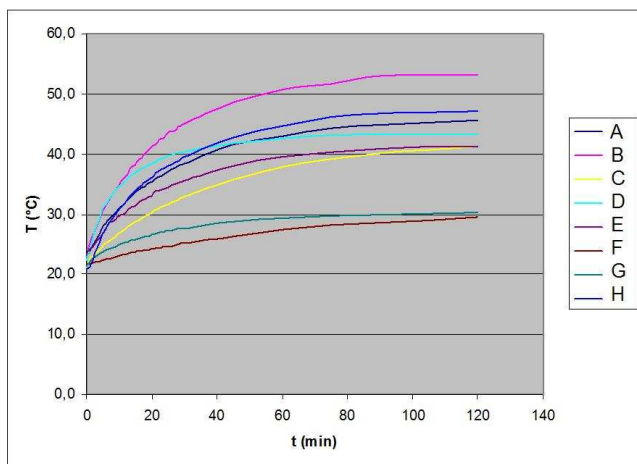
Tab 6. Hodnoty jmenovitých ( $I_{jm}$ ) a zapínacích ( $I_{zap}$ ) proudů sledovaných svítidel

Ozn.	$I_{jm}$ (A)	$I_{zap}$ (A)	$I_{zap}/I_{jm}$ (-)	$t_{nár}$ (ms)
A	0,5	24,0	49,5	2,0
B	0,7	24,4	36,8	2,0
C	0,5	24,3	45,9	2,5
D	0,5	22,0	45,1	2,0
E	0,1	0,5	4,5	2,0
F	0,3	24,0	74,3	2,0
G	0,2	0,4	1,9	1,0
H	0,9	24,0	26,1	2,0

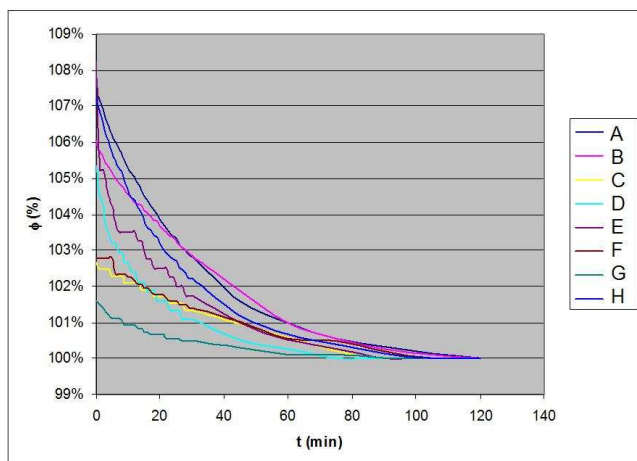
Při ustalování parametrů svítidel se sledovaly činný příkon, teplota na chladiči, světelný tok a měrný výkon svítidla. Změny sledovaných veličin v průběhu ustalování světelného toku jsou zřejmé z obr. 3 až 6.



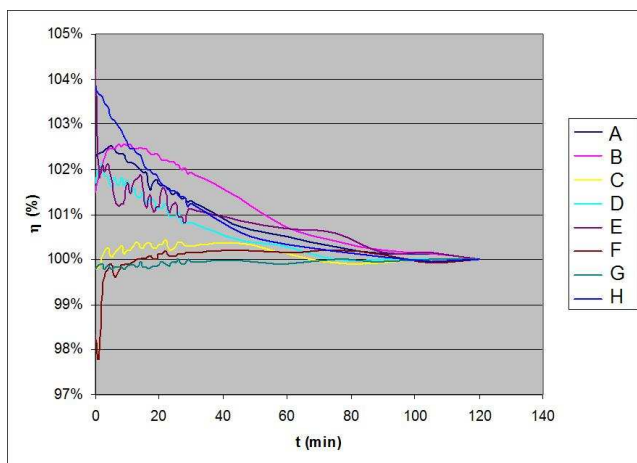
Obr.3. Průběhy procentuálních změn činného příkonu po zapnutí sledovaných svítidel



Obr.4. Průběhy teploty na chladiči při náběhu sledovaných svítidel



Obr.5. Průběhy procentuálních změn toku po zapnutí sledovaných svítidel



Obr.6. Průběhy procentuálních změn měrného výkonu svítidla po zapnutí sledovaných svítidel

Tab 7. Hodnoty el.veličin v ustáleném stavu

Ozn.	$I_{im}$ (A)	P (W)	Q (Var)	$\cos \varphi$ (-)	$\lambda$ (-)	THD I (%)
A	0,49	101	-49,00	0,935	0,901	< 25,2
B	0,66	142	-59	0,952	0,928	< 21,75
C	0,53	118	-30	0,975	0,968	< 10,75
D	0,49	111	-28	0,983	0,970	< 15,20
E	0,11	23	-11	0,914	0,901	< 11,80
F	0,32	73	-14	0,985	0,983	< 3,45
G	0,22	47	-14	0,971	0,957	< 16,3
H	0,92	204	-54	0,972	0,967	< 10,1

## Terénní měření

Na laboratorní měření logicky navázalo i měření LED svítidel za provozu, které bude probíhat až do konce roku 2011. Cílem měření bylo sledování časové proměnlivosti vybraných parametrů. Celkem bylo v období od 19.4.2010 do 25.8.2011 provedeno 5 měření.

Prvním parametrem je změna světelného toku. Pro vyloučení vlivu případné výrobní vady dvou sousedních LED svítidel v rámci dlouhodobého měření bylo zvoleno měření osvětlenosti v podélné ose celé komunikace. Pro věrohodnost měření byly měřicí body v podélné ose všech komunikací trvale označeny. Výsledné hodnoty osvětlenosti byly přepočteny podle průběhu světelného toku v závislosti na teplotě chladiče LED svítidla z laboratorních výsledků.

Tab 8. Hodnoty průměrné osvětlenosti v ose komunikace

svítidlo	1	2	3	4	5
A	7.9	8.1	7.6	6.2	7.6
B	13.8	13.4	13.3	12.9	13.3
C	19.3	18.6	18.9	17.1	16.3
D	31.9	31.9	30.3	27.7	25.5
$D_{(reg)}$	21.9	24.6	24.3	22.9	21.9
E	12.5	11.5	12.3	12.3	-
F	11.7	12.1	12.8	11.6	11.4
G	24.9	22.8	23.4	23.0	22.1

U svítidel C, D a G je patrný pokles naměřených hodnot. Z výše uvedených průměrných osvětleností v ose komunikace nelze zatím činit závazné závěry z důvodu krátké provozní doby (dosud odsvíceno 7400 hodin). Druhým parametrem bylo ověření teploty chromatičnosti v závislosti na čase. Z výsledků měření a při jisté míře odchylky měření lze prozatím konstatovat, že teplota chromatičnosti se významně nemění.

Tab 9. Hodnoty teploty chromatičnosti

svítidlo	1	2	3	4	5
A	4697	4631	4548	4533	4625
B	3136	3152	3233	3211	3174
C	6395	6344	6021	6185	6236
D	5760	5395	5705	5663	5620
E	3231	3129	3139	3581	-
F	3920	3972	3860	3952	3763
G	6261	6199	6312	6200	6248

Při měření obou parametrů bylo zajištěno vyloučení vlivu externích světelných zdrojů, které mají přímý vliv na výsledné parametry. I přes veškerá opatření je však nutno s chybou měření počítat.

Při posledním měření vykazovala svítidla E vyšší poruchovost, a proto nebylo měření realizováno.

## Veřejná anketa

Součástí slavnostního rozsvícení pilotního projektu byla i veřejná anketa. Účastníci slavnostního rozsvícení z řad odborníků i laické veřejnosti odpovídali na 11 otázek týkajících se této zásadní změny – přechodu od vysokotlakých sodíkových výbojek k LED svítidlům, které nabízejí rozmanitější světelné podmínky.

Tab 10. Výsledky veřejné ankety věnované LED svítidlům

Otázka	Možnosti	výsledek
1. Viditelnost z pohledu řidiče se	výrazně zlepšila	48.7%
	rozhodně nezlepšila	14.1%
	poněkud zlepšila	23.1%
	neumím posoudit	11.5%
2. Viditelnost z pohledu chodce se	nezlepšila	2.6%
	výrazně zlepšila	57.0%
	rozhodně nezlepšila	17.1%
	poněkud zlepšila	21.5%
3. Rozpoznáváte obličeje protijedoucích osob	neumím posoudit	1.9%
	nezlepšila	2.5%
	mnohem snadněji	52.3%
	mnohem obtížněji	9.8%
	poněkud snadněji	26.8%
4. Máte pocit, že vám nové osvětlení odpoutává pozornost?	nezlepšila	7.2%
	poněkud obtížněji	2.6%
	neumím posoudit	2.6%
	mnohem méně	35.0%
	mnohem více	15.0%
5. Máte pocit, že jsou nyní komunikace:	poněkud méně	19.4%
	nezměnilo se	20.0%
	poněkud více	6.3%
	neumím posoudit	6.3%
	příliš světlé	21.6%
6. Domníváte se, že se na komunikaci vytvářejí tmavá místa	neumím posoudit	17.6%
	tak jak mi vyhovuje	54.9%
	příliš tmavé	5.9%
	mnohem méně	38.1%
	mnohem více	13.5%
7. Zlepšila nová LED svítidla celkový vzhled okolí	poněkud méně	27.7%
	nezměnilo se	11.6%
	poněkud více	5.2%
	neumím posoudit	5.2%
	rozhodně zlepšila	59.5%
8. Dali byste při zvážení všech uvedených okolností novým LED svítidlům před původními?	rozhodně zhoršila	7.0%
	trochu zlepšila	22.8%
	nezměnilo se	6.3%
	trochu zhoršila	2.5%
	neumím posoudit	2.5%
9. Jak na vás působí bílá barva nového osvětlení?	rozhodně ano	55.6%
	rozhodně ne	6.5%
	spíše ano	25.5%
	neumím posoudit	6.5%
	spíše ne	5.9%
10. Jaké osvětlení je vám příjemnější - to původní nebo nové?	rozhodně příjemně	46.3%
	spíše nepříjemně	9.1%
	spíše příjemně	28.7%
	rozhodně nepříjemně	5.5%
	neutrálně	2.4%
11. Máte pocit, že jsou nově osvětlená místa bezpečnější než byla dříve?	neumím posoudit	2.4%
	rozhodně původní	18.1%
	spíše nové LED	51.3%
	spíše původní	8.8%
	rozhodně nové LED	14.4%
	necítím žádný rozdíl	3.8%
	neumím posoudit	3.8%
	rozhodně ano	48.8%
	spíše ne	6.3%
	spíše ano	28.1%
	rozhodně ne	1.9%
	necítím žádný rozdíl	5.0%
	neumím posoudit	5.0%

Podlé výše uvedených výsledků veřejné ankety je zřejmé, že nové veřejné osvětlení s LED svítidly je veřejností přijato kladně.

### Kontroly funkčnosti

Velice zajímavým a v určité míře i nejvíce očekávaným výsledkem byla funkčnost LED svítidel. Kontrola všech LED svítidel je součástí pravidelné noční kontroly veřejného osvětlení. Výsledky kontrol jsou zpracovány v níže uvedené tabulce, kde jsou kromě pravidelných kontrol zaznamenány i kontroly mimořádné (Z = závada, V = výměna svítidla).

Tab 11. Výsledky kontroly funkčnosti

Svítidlo	Závady na svítidlech							Výměny svítidel					
	5.2.10	5.10.10	24.1.11	21.3.11	22.3.11	17.5.11	27.7.11	3.8.11	Celkem	26.4.11	1.6.11	4.7.11	Celkem
A1									2		V		1
A2				Z		Z					V		1
A3											V		1
A4											V		1
B1			Z		Z				2		V		1
B2		Z	Z		Z				3		V		1
B3											V		1
B4			Z			Z			3		V		1
C15			Z						1				
D9		Z							1				
E2							Z	Z	2			V	1
E3							Z	Z	2				
E4	Z	Z		Z	Z	Z			5			V	1
E8			Z				Z	Z	3				
E11							Z	Z	2				
E12	Z	Z	Z		Z		Z	Z	6	V			1
E13							Z	Z	2				
E14				Z					1				
E17								Z	1				
F6			Z	Z	Z				3				

Výsledky funkčnosti již po roce provozu přinesly velice zajímavé výsledky v podobě většího počtu zjištěných závad (pohaslé, zčásti nebo zcela nesvítící LED svítidlo). V druhém roce provozu se tyto závady začaly projevovat častěji, a proto bylo přistoupeno k celkové výměně svítidel A, B a E (svítidla E jsou objednána k výměně). Druhou zajímavostí je skutečnost, že LED svítidlo v rámci kontroly funkčnosti vykazovalo nestabilní funkčnost, tj. při některých kontrolách svítidla nesvítěla a poté opět svítěla. Tento stav funkčnosti je prokázán ale je velice problematicky dokazovatelný při případných jednání s dodavatelem (zkušenost při reklamaci LED svítidel). Ukazuje se, že navzdory obavám o samotné LED bude poruchovost postížena předřadná část svítidla – elektronické předřadníky.

### Závěr

LED svítidla pro veřejné osvětlení jsou zajisté svítidly nedaleké budoucnosti. K jejich masivnímu rozšíření však uplyne určitý čas, kdy se jejich kvalita bude prověřovat právě v obdobných pilotních projektech. Výsledky z pilotních projektů přinesou výrobcům velmi cenné informace, které povedou ke zkvalitnění LED svítidel.

**Autor:** Ing. Jiří Skála, ELTODO-CITELUM, s.r.o., Novodvorská 1010/14, Praha 4, Česká Republika, e-mail: skalaj@eltodo.cz

# Racionalizace ve veřejném osvětlení v Ostravě

## Abstract.

Optimization of public lighting is a common interest of owners of lighting systems in cities. This article presents how energy savings for street lightings are organized in Ostrava.

**Keywords:** public lighting, modernization, rationalization.

## Úvod

Pokud se řekne slovo racionalizace, slovník cizích slov nám řekne, že je to: "využití rozumové metody, rozumově zdůvodněná organizace; zvýšení hospodárnosti; dodatečné odůvodňování původně jiných motivů".

Také ve veřejném osvětlení (dále VO) toto slovo znamená, udělat taková opatření, aby byly sníženy náklady na provoz a údržbu osvětlovacích soustav. Důležitým úkolem správy veřejného osvětlení je mít dobrou pasportizaci VO ve městě, umění odborně posoudit stav osvětlovací soustavy, mít připraven nejen plán běžné preventivní údržby, ale i požadavky na modernizace a obnovy soustav VO.

V Ostravě správu, provoz a údržbu VO provádí organizace Ostravské komunikace, a.s. na základě celoroční objednávky odboru dopravy magistrátu. Obnova (rekonstrukce) VO je prováděna dle jednotlivých staveb v rozsahu schváleného investičního rozpočtu města, zajišťuje investiční odbor magistrátu. Modernizace soustav VO, většinou výměnou svítidel, je prováděna v rámci preventivní údržby VO z provozních prostředků.

Požadavek na výši prostředků předkládá Správa VO pro provoz a údržbu. Požadavky na rekonstrukce a doplnění VO jsou zpracovány investičním odborem ve spolupráci s odborem dopravy a správou VO. Skutečná výše investičních i provozních nákladů je dána rozhodnutím rady a zastupitelstva statutárního města Ostravy.

## Vývoj veřejného osvětlení od roku 1998 do roku 2011

V roce 1998 byla sjednocena správa VO ve městě, kterou byla pověřena městská společnost Ostravské komunikace, a.s. Modernizaci soustav v rámci úspor el. energie byla neustále věnována velká pozornost, což se projevilo na změně skladby používaných zdrojů i svítidel VO. Dle tabulky 1 – vývoj základních parametrů VO a dále tabulky 2 – spotřeba el. energie je zřejmé, že v posledních 13 letech podstatně klesl instalovaný příkon na jedno svítidlo (světelný bod) a tento trend neustále pokračuje.

Tabulka 1 Ostrava - vývoj základních parametrů VO

Stedovaný údaj	1998	2000	2003	2005	2008	2010
Délka osvětlovaných komunikací (km)	1 470	1 480	1 486	1 496	1 504	1 553
Počet světelných míst (ks)	33 078	33 600	35 069	35 634	36 579	38 029
Počet světelných bodů (ks)	35 890	36 112	37 675	38 283	39 298	40 860
Instalovaný příkon VO (kW)	5 752	4 755	4 750	4 760	4 665	4 499
Inst. příkon na 1 sv. místo	173,9	141,5	135,5	133,6	127,5	118,3
Inst. příkon na 1 sv. bod - svítidlo	160,3	131,7	126,1	124,3	118,7	110,1
Počet zapíracích bodů s elektroměry (ks)	594,0	570,0	567,0	567,0	565,0	554,0
Celková délka vedení VO (km)	1 975	1 982	1 989	1 999	2 011	2 037
z toho: kabelové vedení (km)	1 284	1 288	1 293	1 306	1 318	1 352
venkovní vedení (km)	691	694	695	691	693	685

Tabulka 2 VO - spotřeba el. energie

Rok	Celková spotřeba el. energie [kWh]	počet světelných bodů [ks]	Inst. příkon na svítidlo [W/ks]
1998	<b>24 158 400</b>	35 890	160
2000	<b>19 665 589</b>	36 112	132
2003	<b>20 026 867</b>	37 675	126
2005	<b>19 642 215</b>	38 283	124
2008	<b>19 521 957</b>	39 298	119
2010	<b>19 270 068</b>	40 860	110

## Veřejné osvětlení k pololetí roku 2011

K 31.05.2011 byla dle pasportizace VO tato struktura svítidel se zdroji – vysokotlaké sodíkové výbojky 400 W, 250 W, 150 W, 100 W, 70 W, 50 W. Nově jsou od roku 2011 zaváděna moderní svítidla se zdroji LED.

Svítidla s výbojkami 400 W jsou ojedinělá, užitá pouze pro architekturní osvětlení významných staveb ve městě. Také zdroje 250 W jsou používány především pro architekturní osvětlení, nasvětlení přechodů pro chodce a k osvětlení vysokofrekventovaných komunikací s velkou šířkou komunikace a vysokým zatříděním dle ČSN EN 13 201-2 Osvětlení pozemních komunikací, Část 2 – Požadavky. Jedná se pouze o 1,8% z celkového počtu svítidel. Největší procento zastoupení světelných zdrojů – 50,7% je vysokotlakých sodíkových výbojek 70 W.

Tabulka 3 VO – skladba svítidel dle zdrojů na komunikacích

Skladba svítidel VO se zdroji	2010
RŮZNÁ - mimo základní svítidla VO	1 530
50 W	412
70 W	20 901
100 W	9 816
150 W	7 466
250 W	735
400 W	0
Pi (kW) - jen VO na komunikacích	4362,5
Inst. příkon na 1 km osvětlované komunikace (kW/km)	2,81

V roce 2010 byl proveden výzkum veřejného osvětlení (SEVEN, Středisko pro efektivní využívání energie, o.p.s.). Byl zaměřen na všechny obce a města v České republice. Výzkumu se zúčastnilo přes 350 obcí ze všech krajů ČR a všech velikostí.

Bylo sledováno:	ČR	Ostrava
Prům. příkon 1 sv. bodu	123,0 W	110,1 W
Prům. náklady el.energie na 1 sv. bod	1 300,00 Kč	1 081,60 Kč
Prům. celk. náklady údržby na 1 sv. bod	2 600,00 Kč	1 731,00 Kč

Z výše uvedených hodnot vyplývá, že Ostrava v posledních letech podstatně snížila instalovaný příkon na světelný bod. V příštím období je prioritou zrekonstruovat soustavy, jejichž podpěry – stožáry jsou již za dobou svého života a samozřejmě nadále provádět modernizace, především s využitím nových technologií jak svítidel, tak možnosti regulace veřejného osvětlení. V rámci modernizací a racionalizací od roku 1998 byla podstatně snížena energetická náročnost osvětlovacích soustav na území města Ostravy a sníženy náklady na údržbu. V současnosti jsou prioritou modernizace soustav VO a hlavně jejich rekonstrukce z důvodu stárí podpěr a rozvodů VO. Stožáry za hranici své životnosti v roce 2011 tvoří cca 18% z celkového počtu stožárů VO, což je 11,6% z celkového počtu světelných míst (podpěry VO jak ve správě VO, tak jiných majitelů).

### Jak probíhaly racionalizace

V letech 2006 – 2010 bylo na základě svět. tech. výpočtů a technických dokumentací v rámci preventivní údržby VO zmodernizováno 47 oblastí s 4 479 ks svítidel, u nichž došlo ke snížení inst. příkonu na jedno svítidlo.

Tabulka 4 Snížení inst. příkonu

Počet svítidel k modernizaci	4 479 ks
Nový počet svítidel včetně doplnění	4 518 ks
Původní inst. příkon	623 kW
Nový inst. příkon	487 kW
Původní inst. příkon na 1 svítidlo	139,1 W
Nový inst. příkon na 1 svítidlo	107,9 W

Přesto, že instalovaný příkon na jeden světelný bod klesl pouze o 14,6%, je vynaložená el. energie využita mnohem hospodárněji, jsou dosvětlena místa, kde bylo nedostatečně osvětlení a naopak nahrazena málo účinná svítidla.

Dále byly provedeny racionalizace oblastí, kde sice nebylo dosaženo poklesu inst. příkonu na jedno svítidlo, ale na světelné místo. Např. nahrazením 30 let starých svítidel SiStellar/6 x 250 W na sedmi frekventovaných křižovatkách města Ostravy za několikaramenné výložníky s moderními svítidly se dosáhlo úspory 49% instalovaného příkonu, což představuje roční úsporu za el. energii 140 tis. Kč včetně DPH (cenová hladina 2011).

Nemalé úspory el. energie bylo dosaženo při modernizacích architekturního nasvětlení ve městě – kostel Sv. Václava, chrám Božského Spasitele v MOB Moravská Ostrava, kostel Sv. Pavla ve Vítkovicích aj.

### Modernizace soustav VO – LED technologie

V současnosti je velký rozmach ve výrobě LED zdrojů světla. V Ostravě jsme přistoupili, kromě několika ověřovacích pilotních projektů (počet LED svítidel cca 10 ks), k modernizaci ucelené oblasti. Použitím 150 ks LED svítidel renomovaného výrobce je energetická bilance navrhovaného řešení nižší o cca 65%. Návratnost v podobě energetických úspor a úspor na prostou výměnu zdrojů je vypočtena na 4,75 let. V úsporách jsou zahrnuty náklady

spojené s nutnou výměnou již zastaralých původních svítidel, která byla za dobou svého života, za nová sodíková a s nutnými provozními náklady spojenými s výměnami sodíkových zdrojů. Z výše uvedeného vyplývá, že za další 10,25 roku dojde k úspoře nákladů na provoz osvětlovacích soustav dané oblasti cca 1,9 mil. Kč bez DPH.

Při modernizaci soustav VO není možno měnit geometrii stávající soustavy. Je nutno vybírat svítidla LED tak, aby plně vyhovovala požadavkům na zachování či zvýšení stávajících hodnot osvětlení komunikace při snížení instalovaného příkonu soustavy.

Na základě provedených světelně technických výpočtů a porovnání cenových relací LED svítidel je doporučeno v Ostravě používat v nejbližších letech LED svítidla pro komunikace třídy S6, S5 a S4.

### Regulace příkonu osvětlovacích soustav

Další možností úspor el. energie je zavedení regulace příkonu osvětlovacích soustav. V Ostravě se nyní počítá s regulací hlavně u soustav s většími příkony svítidel (třídy osvětlení ME...), které mají před sebou dobu života minimálně 5 let. Nasazení regulace je zásadní rozhodnutí s velkým dopadem na výši počáteční investice, zejména však k dosažení očekávaného a hlavně dlouhodobého ekonomického přínosu. Regulaci je možno realizovat až po důkladné analýze vhodných míst regulace, vyloučení z regulace dopravně nebezpečných míst aj.

V Ostravě je individuální regulace použita celkem u 400 svítidel, která byla osazena v letech 2008 až 2009 v městském obvodu Slezská Ostrava. Roční úspora el. energie činí 43 MWh, 103 tis. Kč včetně DPH v cenové hladině 2011.

Centrální regulace byla ve větší míře nasazena v 90-tých letech, kdy se na trhu objevily první tuzemské výrobky, protože zahraniční výrobky byly nabízeny za příliš vysoké ceny, které znemožňovaly dosažení rozumné návratnosti. Tuzemské výrobky v prvních letech přinesly očekávané úspory, později však začaly být příliš nákladné z hlediska vlastní údržby. Z tohoto důvodu byly po vyčerpání životnosti odstraněny bez náhrady. V současné době je v Ostravě centrální regulace zkušebně instalována u 2 kusů rozváděčů. Jedná se o výrobky s dobrými tuzemskými referencemi, prověřené dlouhodobým provozem v jiných městech. Úspory jsou vyčísleny na 23 MWh/rok, což při cenách el. energie roku 2011 činí 55 tis. Kč ročně.

### Závěr

I nadále jsou v Ostravě připravovány postupy racionalizací a modernizací osvětlovacích soustav. Budoucnost závisí na politických rozhodnutích, jak bude postupovat vlastník zařízení VO, statutární město Ostrava. Správa VO i my projektanti umíme tento problém řešit technicky, ale ekonomickou část problematiky VO řeší majitel.

### REFERENCES

- [1] Pasportizace veřejného osvětlení města Ostravy, Ostravské komunikace, a.s.

**Authors:** ing. Alena Muchová, PTD Muchová, s.r.o., Olešní 313/14, 712 00 Ostrava, Czech Republic, e-mail: [muchova@ptdov.cz](mailto:muchova@ptdov.cz)  
ing. Radim Gřes, PTD Muchová, s.r.o., Olešní 313/14, 712 00 Ostrava, Czech Republic, e-mail: [gres@ptdov.cz](mailto:gres@ptdov.cz)

## Optimalizace světelné a tepelné pohody interiéru budov

**Abstrakt:** Světelná a tepelná pohoda patří k základním faktorům ovlivňující vnitřní prostředí budov. Správný návrh zasklení a stínění okna znamená vždy určitý kompromis mezi světelnou a tepelnou pohodou místností. Příspěvek se zaměřuje na posouzení vlivu různých typů osvětlovacích systémů, zasklení a stínících prostředků na denní osvětlení a proslunění interiérů budov a zároveň zhodnocuje vliv na zabránění přehřívání místností v letním období.

x  
x

**Klíčová slova:** světelná pohoda, denní osvětlení, proslunění obytných budov, tepelná stabilita místností.

### Úvod

Dostatek světla ovlivňuje naši náladu, výkonnost i produktivitu práce. Celkově působí pozitivně na lidskou psychiku. Narušení světelného denního rytmu je pro lidský organismus nebezpečné a může být i příčinou různých onemocnění. Podobně tepelná pohoda v interiéru působí na spokojenost člověka a zásadním způsobem ovlivňuje fyziologické procesy lidského těla a jeho psychický stav.

Příspěvek uvádí na konkrétních případech vliv některých zásadních faktorů na světelnou a tepelnou pohodu interiéru a také upozorňuje na nutnost hledání určitého kompromisu pro zajištění optimálního stavu vnitřního prostředí.

### Světelná pohoda vnitřního prostředí

Dosažení optimální světelné pohody v interiéru podle naší legislativy znamená zajištění dostatečného množství přímého slunečního záření i oblohového záření v místnosti. Minimální požadavky pro obě složky denního světla v interiéru jsou předepsány příslušnými legislativními předpisy (stavební zákon, vyhlášky, normy). Ovšem splnění jednoho požadavku neznamená vždy automaticky i splnění druhého. Každý požadavek ovlivňuje řada faktorů, které se podílí na výsledných hodnotách posuzovaných veličin.

Proto je nezbytné v případech, kdy se hodnotí oba požadavky najednou, což platí např. pro obytné budovy, nezanedbat ani jeden z nich. Pokud rozebereme hlavní faktory ovlivňující denní světlo v interiéru, pak:

1) přímé sluneční záření je ovlivněno:

- Orientací oken na světovou stranu,
- rozměry okna,
- stíněním okna vlastní konstrukcí posuzovaného objektu (balkóny, lodžie, arkýře),
- stíněním okna okolní zástavbou.

2) oblohové záření je ovlivněno:

- rozměry okna,
- světelnými vlastnostmi okna,
- odrazivými vlastnostmi interiéru a exteriéru,
- stíněním okna vlastní konstrukcí posuzovaného objektu (balkóny, lodžie, arkýře)
- stíněním okna okolní zástavbou.

Zaměříme se na faktory, které jsou společné pro obě složky záření a tím je stínění okna vlastní konstrukcí a případnou okolní zástavbou.

V tabulce 1 je porovnáno 5 variant různých úrovní stínění okna v obytné místnosti v bytovém domě s ohledem na snížení osvětlenosti denního světla a přímého slunečního záření. Hodnocené varianty:

- A) místnost bez stínění,
- B) místnost stíněná pouze arkýřem

- C) místnost stíněná lodžii (hloubka lodžie 1,2 m),
- D) místnost stíněná lodžii a arkýřem,
- E) místnost stíněná lodžii, arkýřem a okolní zástavbou.

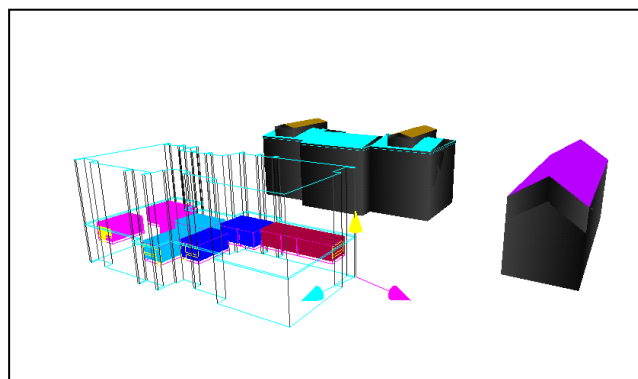
Tab. 1. Vliv zastínění interiéru místnosti na denní osvětlení a proslunění

varianta	D <sub>1</sub> [%]	D <sub>2</sub> [%]	D <sub>m</sub> [%]	Snížení osvětl. v %	Doba proslun. v min.	Snížení proslun. v %
A	2,7	2,8	2,8	-	259	-
B	2,6	2,7	2,7	3,6	230	11,2
C	1,8	2,0	1,9	32,0	223	13,9
D	1,8	2,0	1,9	32,0	197	23,9
E	1,2	1,4	1,3	53,6	121	53,3

Pro výpočet byla vybrána obytná místnost ve 2. NP bytového domu (postavený v roce 1977), kde se vyskytují všechny uvedené varianty zastínění. Výpočty byly provedeny programem WDLS a SunLis (Astra Zlín). Výpočtové modely hodnoceného bytového domu jsou uvedeny na obr. 1 a 2.

Z uvedených výsledků je patrné, že vliv lodžie a arkýře může výrazně ovlivnit světelnou pohodu. V tomto posuzovaném případě nedošlo vlivem zastínění k nedodržení normových požadavků. Místnost vyhoví na denní osvětlení i proslunění.

Požadavky na denní osvětlení v obytné budově jsou splněny tehdy, pokud vyhoví denní osvětlení ve všech obytných místnostech bytu. Byt je dostatečně prosluněn, je-li součet podlahových ploch jeho prosluněných obytných místností roven nejméně jedné třetině součtu podlahových ploch všech jeho obytných místností.

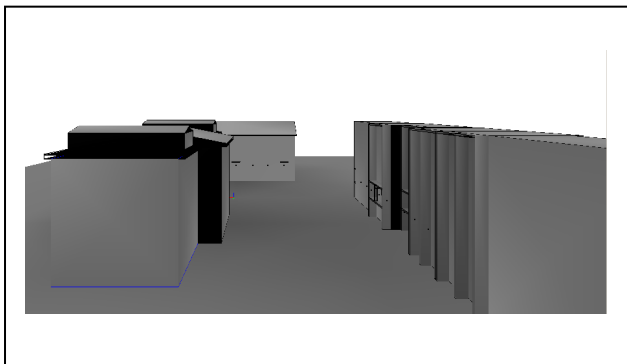


Obr. 1 Výpočtový model situace v programu SunLis

V současné výstavbě nových bytových domů se často objevují případy, kdy projektanti ve snaze splnit požadavky investora, navrhují předsazené konstrukce velkých rozměrů

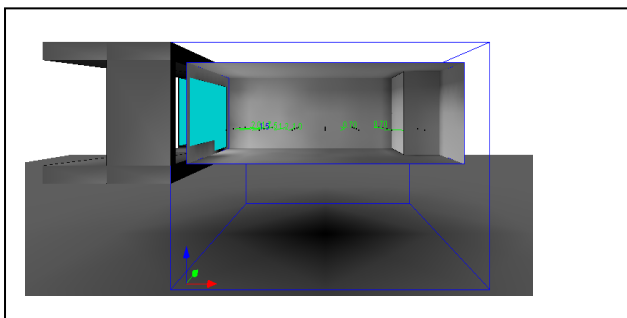


a to již může znamenat problém s dodržением požadavků na světelnou pohodu. Podobně se setkáváme i s projekty, kde ve snaze umístit na podlaží maximální počet bytových jednotek (dle přání investora) jsou např. byty orientovány s okny pouze na sever. Což znamená samozřejmě nedodržení požadavků na proslunění bytu.



Obr.2. Výpočtový model situace v programu WDLS

Uvedme si další příklad posouzení vlivu velikosti předsazené konstrukce na světelnou pohodu interiéru. Na obr. 3 je výpočtový model obytné místnosti s vyloženým balkónem a lodžii. Místnost je svými okny orientována na západ. Obytná místnost byla hodnocena na denní osvětlení a proslunění pro několik variant řešení předsazené konstrukce. V tab. 2 je uveden vliv změny šířky vertikální stěny lodžie (od 2 do 4 m) na denní osvětlení a proslunění interiéru. V tab. 3 je uveden vliv délky vyložení balkónové konstrukce (od 4 do 2 m) na denní osvětlení a proslunění interiéru.



Obr.3. Výpočtový model posuzované místnosti v programu WDLS

Tab. 2 Vliv šířky lodžie na světelnou pohodu interiéru

Šířka lodžie v m	D <sub>1</sub> [%]	D <sub>2</sub> [%]	D <sub>m</sub> [%]	Doba proslunění v min.
2,0	0,9	1,0	1,0	89
2,5	0,9	0,9	0,9	89
3,0	0,8	0,9	0,9	89
4,0	0,8	0,9	0,9	89

Tab. 3 Vliv délky vyložení balkónu na světelnou pohodu

Délka vyložení balkónu v m	D <sub>1</sub> [%]	D <sub>2</sub> [%]	D <sub>m</sub> [%]	Doba proslunění v min.
4,0	0,9	1,0	1,0	89
3,5	0,9	1,0	1,0	100
3,0	1,0	1,0	1,0	114
2,5	1,0	1,1	1,1	129
2,0	1,2	1,5	1,4	146

Z uvedených výsledků je zřejmé, že nejhorších parametrů bude dosaženo při 4m vyložení balkónové desky a 4m šířce

lodžie. Zatímco denní osvětlení vyhoví v minimálních hodnotách, požadovaný limit na proslunění nebude dodržen. Výpočet byl proveden za předpokladu velké plochy prosklení v obvodové stěně (8,2 m<sup>2</sup>).

### Tepelná pohoda vnitřního prostředí budov

Tepelná pohoda vnitřního prostředí budov se podle našich legislativních předpisů hodnotí pomocí tepelné stability místností v zimním a letním období. Zaměříme se na letní období, kdy základním kritériem pro hodnocení jsou dvě veličiny – nejvyšší denní vzestup teploty vzduchu v místnosti a nejvyšší teplota vzduchu v místnosti. Pro zajištění požadavků na tepelnou pohodu v létě je pro nevýrobní budovy stanovena maximální hodnota teploty vzduchu v místnosti 27°C.

Tepelnou pohodu místnosti v létě ovlivňuje podobně jako světelnou pohodu řada faktorů:

- orientace okna místnosti ke světovým stranám,
- rozměry okna,
- tepelné vlastnosti okna,
- akumulční vlastnosti neprůsvitných konstrukcí,
- stínění okna clonicími prostředky,
- stínění okna vlastní konstrukcí posuzovaného objektu (balkóny, lodžie, arkýře),
- stínění okna okolní zástavbou.

V případě návrhu novostavby budovy jsme schopni tyto faktory ovlivnit, v případě stávající budovy je nutné hledat dodatečné možnosti pro zabránění přehřívání místnosti v létě.

Nejčastějším řešením je volba protislunečních clon (žaluzie, rolety), méně častým řešením je úprava zasklení protislunečními fóliemi. V obou případech však platí, že omezení tepelné propustnosti zasklení, znamená zároveň omezení i světelné propustnosti. A tady, zvláště v případě použití fólií, je nutné věnovat zvýšenou pozornost při výběru vhodného typu clony, protože nelze v zájmu zlepšení jednoho požadavku na kvalitu vnitřního prostředí, omezit požadavek jiný.

V následujícím příkladu je posouzen vliv různých protislunečních opatření na tepelnou a světelnou pohodu v kanceláři. V tabulce 4 jsou uvedeny parametry původního zasklení (izolační dvojsklo) a zasklení s clonicími prostředky.

Tab. 4 Parametry zasklení a clonicích prostředků

Zasklení a clonění	Celkově propuštěná tepelná energie	Přímo přenesená tepelná energie	Odražená tepelná energie	Pohlčená tepelná energie
	[-]	[-]	[-]	[-]
Jednoduché sklo	0,85		0,08	
Izolační dvojsklo	0,76		0,08	
Sklo s interiérovou termoizolační fólií NSN60	0,42	0,35	0,31	0,34
Sklo s exteriérovou protisluneční fólií Silver 50XT	0,55	0,42	0,61	0,25
Venkovní žaluzie	0,12			

Při výběru vhodných typů clonicích prostředků byl proveden teoretický výpočet na tepelnou stabilitu místnosti v létě a zároveň na denní osvětlení v zimním období. Na základě vypočtených výsledků byly zvoleny výše uvedené typy fólií a následně byla provedena dodatečná úprava

oken ve dvou stejně velkých kancelářích (obr.4). V tabulce 5 jsou uvedeny vypočteny minimální hodnoty činitele denní osvětlenosti uvnitř kanceláří pro různé varianty úprav zasklení.

Tab. 5 Denní osvětlení místnosti s vybranými clonícími prostředky

Varianty	$D_{min}$ [%]	$D_{min,N}$ [%]	$D$ (stůl) [%]	Vyhod.
Původní stav	2,4	1,5	4,7	vyhovuje
Vnitřní okenní fólie	1,5	1,5	3,0	vyhovuje
Venkovní okenní fólie	1,3	1,5	2,6	vyhovuje pouze ve funkčně vymezené části

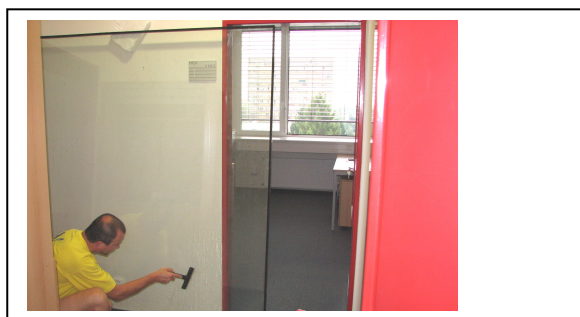
Snížením světelné propustnosti skla díky vybraným okenním fóliím došlo ke zhoršení světelné pohody vnitřního prostředí až o 45,8%. Požadavek na minimální hodnotu činitele denní osvětlenosti nebyl v případě venkovní fólie dodržen v celé místnosti, ale jen ve funkčně vymezené části. Pokud pracovní místo se nachází ve funkčně vymezené části, považuje se denní osvětlení v místnosti za vyhovující.

V zimním období bylo provedeno i orientační měření osvětlenosti v hodnocených místnostech v úrovni vodorovné srovnávací roviny 850 mm. V tabulce 6 jsou uvedeny výsledky měření. Kontrolní bod uvedený v tabulce byl umístěn v místě pracovního stolu.

Tab. 6 Výsledky orientačního měření luxmetrem

Místnost	Varianty	Den	Osvětlenost v kontrolním bodě	Osvětlenost venkovní	Činitel denní osvětlenosti
			$E$ [lx]	$E_{ext}$ [lx]	$D$ [%]
LP H505/2	Původní stav	10.1	105	2225	4,7
LP H 506/2	Vnitřní okenní fólie	10.1	57	2225	2,6
LP H507/2	Venkovní okenní fólie	10.1	42	2225	1,9

Výsledky měření osvětlenosti a vypočtená hodnota činitele denní osvětlenosti se přibližují vypočteným teoretickým hodnotám.



Obr. 4 Instalace vybraných fólií

#### Reference

- [1] ČSN 73 0580. Denní osvětlení budov - Část 1 : Základní požadavky. Praha : Český normalizační institut, 2007, změna Z1/2011.
- [2] ČSN 73 4301. Obytné budovy. Praha : Český normalizační institut, 2004 (změna Z1/2005, Z2/2009).

**Authors:** ing. Iveta Skotnicová, Ph.D., Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava Fakulta stavební, Ludvíka Poděštila 1875/17, Czech Republic, e-mail: [iveta.skotnicova@vsb.cz](mailto:iveta.skotnicova@vsb.cz)

# Porovnání klasických a polovodičových světelných zdrojů v praxi

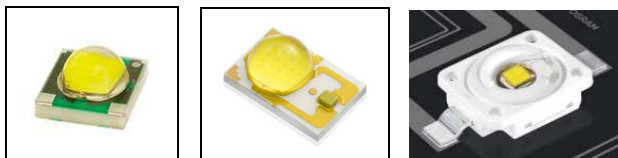
## Abstrakt

Důležitou charakteristikou dnešní doby je velmi rychlý rozvoj v oblasti technologických procesů, ovlivňujícím rychlost zavádění výsledků výzkumu a vývoje do běžné praxe. Rychlost vývoje nových výrobků v oblasti světelné techniky přináší oddělení důležitých technických údajů od prostého marketingového popisu. Trh je zaplaven velkým množstvím výrobků, na které nejsou zákazníci připraveni a u kterých scházejí informace, které by umožňovaly posoudit, zda je daný výrobek pro určitý typ použití vhodný. Příspěvek přináší informace o současném stavu v oblasti polovodičových zdrojů a porovnává technické parametry svítidel pro LED a pro klasické světelné zdroje ve vybraných aplikačních oblastech.

**Klíčová slova:** LED, OLED, downlight, spotlight

## Světelné zdroje LED a OLED

Prvním polovodičovým světelným zdrojem, který se již v oblasti všeobecného osvětlování začal používat, jsou světelné diody (LED). Světelné diody jsou v principu bodové zdroje světla, vhodné hlavně pro směrové osvětlení. Po několika letech rychlého technologického vývoje, kdy byla oblast světelných diod poměrně nepřehledná, se začala v průběhu posledních tří let stávat čitelnější. Je to dáno jednak postupně přijímanou standardizací a také zavedením světelných diod 1 W (350 mA) do nabídky většiny hlavních výrobců (obr. 1).



Obr. 1 Příklady světelných diod 1W, 350mA; zleva: XP-G (Cree), Rebel ES (Philips Lumileds), Golden dragon (Osram)

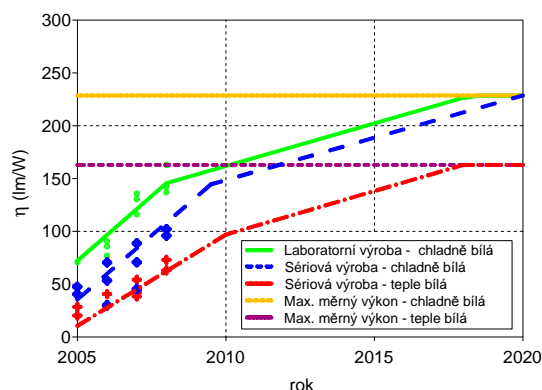
Měrný výkon světelných diod, jako jeden z ukazatelů jejich vývoje, významně roste každý rok a v letošním roce dosáhl hodnoty 146 lm/W. Dokladem rychlého vývoje je zpráva firmy Cree z května tohoto roku, ve které se uvádí, že se v laboratorních podmínkách podařilo dosáhnout měrného výkonu 231 lm/W (1W, 350mA, 4500 K) [1]. Měrné výkony vybraných bílých LED jsou uvedeny v tabulce 1.

Tab. 1 Parametry vybraných typů světelných diod 1 W (350 mA)

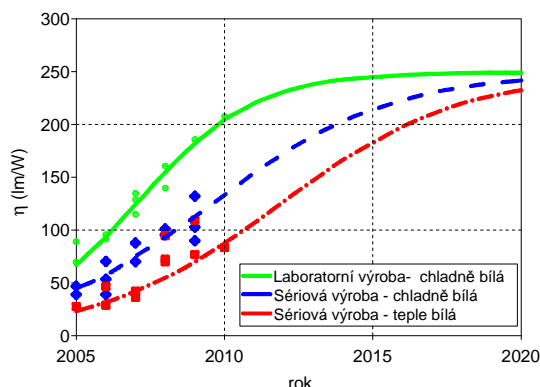
Barva světla	Výrobce	Parametry			
		$R_a$ (-)	$P_D$ (W)	$\Phi$ (lm)	$\eta$ (lm/W)
Chladně bílá	Cree	65	0.98	143	146
	Nichia	x	1.05	140	133
	Osram	x	1.12	130	116
	Philips	70	1.00	135	135
Neutrálně bílá	Seoul Sem.	73	1.16	113	98
	Cree	75	0.98	133	135
	Osram	70	1.12	108	96
	Philips	65	1.00	130	130
Teple bílá	Seoul Sem.	80	1.16	98	85
	Cree	80	0.98	112	114
	Nichia	83	1.05	120	114
	Osram	82	1.12	94	84
	Philips	90	1.00	81	81
Seoul Sem.	80	1.16	90	78	

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

světla. Na obr. 2 je odhad vývoje měrného výkonu světelných diod uváděný ve zprávě Ministerstva energetiky USA (DOE) na začátku roku 2009. 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, však ukázaly, že zmíněná maxima měrných výkonů světelných diod s různými teplotami chromatičnosti vyzařovaného světla se při aplikaci moderních výrobních technologií nemusejí významně lišit [2]. Na výsledky těchto výzkumů reagovaly prognózy vývoje (obr. 3).



Obr. 2 Prognóza vývoj měrného výkonu LED 1W, 350 mA s chladně a teple bílým barevným tónem; rok 2009 [3]



Obr. 3 Prognóza vývoj měrného výkonu LED 1W, 350 mA s chladně a teple bílým barevným tónem; rok 20010 [4]

Ukazuje se, že ani všeobecný index podání barev nemusí mít výraznější vliv na měrný výkon. V tab. 4 jsou uvedeny teoretické maximální a prakticky dosažitelné hodnoty měrných výkonů pro světelné diody vyzařující bílé světlo,

vytvárené mícháním tří základních barevných složek (RGB). Prakticky dosažitelná hodnota měrného výkonu, související s účinností přeměny elektrické energie na zářivou, odpovídá 67% teoretické hodnoty [4].

Tab. 2 Teoretické a prakticky dosažitelné měrné výkony u LED v závislosti na teplotě chromatičnosti a indexu podání barev [4].

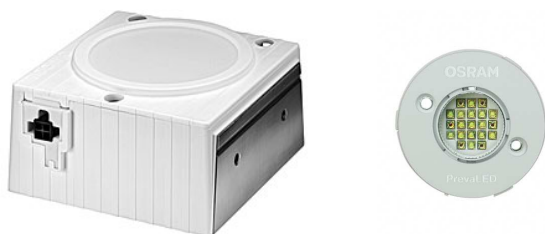
$T_{cn}$ (K)	Teoretická hodnota $\eta$ (lm/W)			Prakticky dosažitelná hodnota $\eta$ (lm/W)		
	$R_a$ (-)			$R_a$ (-)		
	70	80	90	70	80	90
2700	433	424	416	290	284	279
4100	408	399	390	261	267	261
6500	366	358	349	245	240	234

Údaje v tabulce 2 ukazují, že při teplotách chromatičnosti vyzařovaného světla v rozsahu od 2 700 K do 6 500 K se hodnoty prakticky dosažitelných měrných výkonů při stejném indexu podání barev neliší o více než 15%. Při změnách indexu podání barev v rozsahu od 70 do 90 se hodnoty prakticky dosažitelných měrných výkonů při stejné teplotě chromatičnosti 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, odhaduje se, že dosažitelná hodnota měrného výkonu se bude pohybovat okolo 250 lm/W [4].

Tab. 3 Parametry vybraných modulů LED (3 000 K)

Modul	Výrobce	Typ	$R_a$ (-)	$\Phi$ (lm)	$P_m$ (W)	$\eta$ (lm/W)
1000 lm	Philips	Fortimo	80	1100	12	92
	Cree	LMR4	90	1000	15	67
	Tridonic	Stark DLE	90	1100	14	74
2000 lm	Philips	Fortimo	80	2000	24	83
	Osram	PrevaLED	90	2100	25	84
	Cree	LMH6	90	2000	27	74
3000 lm	Tridonic	Stark DLE	90	2000	27	73
	Philips	Fortimo	80	3000	44	68
	Osram	PrevaLED	90	3000	39	77
	Cree	LMH6	90	2900	37	78
	Tridonic	Stark DLE	90	3000	41	73

Nabídka původních světelných diod 1W (350 mA) se v současné době rozšířila o typy 2W (700mA). Vedle světelných diod 1 W a 2 W, u kterých se jednotkové světelné toky pohybují od 100 lm do 280 lm, se nabídka výrobců v posledních dvou letech rozšířila o LED moduly (obr. 4), které sdružují několik diod a mají výrazně vyšší světelné toky (1000 lm, 2000 lm, 3000 lm). LED moduly se snadněji používají ve svítidlech a jejich nový způsob označování a by mohl být začátkem přechodu od identifikace světelných zdrojů pomocí příkonu k identifikaci pomocí světelného toku (tab. 3).



Obr. 4 Příklady modulů LED

Druhým zástupcem polovodičových světelných zdrojů jsou tzv. organické světelné diody (OLED). Zatímco světelné diody představují bodové zdroje světla, v případě

organických světelných diod jde o plošné zdroje světla. Organické světelné diody jsou v současné době stále ještě ve fázi výzkumu a vývoje. Řada firem již nabízí sady testovacích vzorků, ale pravděpodobně jediným sériovým výrobkem je v současné době světelný zdroj Orbeos (Osram). Přechod od vývojové fáze k sériové výrobě lze očekávat v průběhu letošního a příštího roku, kdy řada firem oznámila otevření nových výrobních závodů.

Využití LED pro venkovní a vnitřní aplikace je odlišné v souvislosti s tím, že u stávajících světelných diod jsou spektrální vlastnosti LED svázány s měrným výkonem. Se snižující se teplotou chromatičnosti ( $T_{cp}$ ) a zvyšujícím se indexem podání barev ( $R_a$ ) klesá měrný výkon ( $\eta$ ). Vzhledem k tomu, že se ve většině vnitřních aplikací požaduje, aby index podání barev byl minimálně 80, a barevný tón se zpravidla volí v rozsahu od teplé po neutrálně bílou, mají světelné diody využitelné pro interiéry menší měrný výkon v porovnání s LED pro exteriéry. Při srovnávání svítidel se světelnými diodami a běžnými světelnými zdroji je třeba zohlednit určité zpoždění mezi uvedením LED do sériové výroby a aplikací ve svítidlech.

### Vnitřní LED svítidla

Mezi prvními aplikacemi, kde se světelné diody začaly používat ve vnitřních prostorech, bylo nouzové, orientační a dekorativní osvětlení, tedy oblasti, kde se buď požadují nízké úrovně osvětlení, nebo kde primárním účelem svítidel není osvětlení určitého prostoru nebo plochy (orientace, dekorace). Další aplikační oblastí bylo místní osvětlení, kde se osvětlováný povrch nebo předmět nacházejí v blízké vzdálenosti od svítidla. V rámci tohoto použití se vyvinuly lineární pevné a pružné LED moduly s možností vytváření lineární svítící prvky libovolné délky.

Dalšími typy svítidel, kde se začínají LED nově uplatňovat, jsou směrová svítidla různého konstrukčního provedení (podhledová, stropní, lištová), kde se využívá jejich bodový charakter a směrové vyzařování. Nejběžnějšími klasickými světelnými zdroji ve směrových svítidlech jsou halogenové žárovky o příkonu od 20 do 100 W a halogenidové výbojky o příkonu od 20 do 150 W. V tabulce 4 je uvedeno porovnání směrových lištových svítidel evropských výrobců. Pro porovnání byla zvolena směrová svítidla se středně širokým svazkem ( $20^\circ - 40^\circ$ ) se zdroji s teplotou chromatičnosti 3000 K. Tabulka 4 ukazuje, že v současné době jsou již běžně dostupná směrová lištová LED svítidla, která z pohledu světelného toku odpovídají svítidlům pro halogenové žárovky 35 W až 50 W. Využití světelného toku ve středně širokém světelném svazku je přitom u LED a konvenčních světelných zdrojů podobné. Měrný výkon systému (světelný zdroj + předřadník) je u LED svítidel dvojnásobný až trojnásobný. Nejnovější typy těchto LED svítidel (A6, A7) mají světelné toky, srovnatelné s halogenidovými výbojkami 20 W, nicméně měrný výkon systému svítidla s halogenidovými výbojkami je vyšší než u svítidel s LED.

Dalšími poměrně rozšířenými typy svítidel, ve kterých se začaly uplatňovat LED, jsou přímá svítidla pro celkové osvětlení (tzv. downlight). V těchto svítidlech se jako světelné zdroje nejčastěji používají kompaktní zářivky, případně u svítidel pro rozlehlejší nebo vyšší prostory halogenidové výbojky. Pro kompaktní zářivky není tento typ svítidla příliš vhodný, jelikož významná část světelného toku je vyzařována do stísněného prostoru mezi zdrojem a reflektorem a jeho využití není, hlavně u dobře cloněných svítidel, příliš vysoké. Proto se účinnost těchto typů svítidel s dobrým cloněním (UGR~19) pro kompaktní zářivky pohybuje, podle kvality optického systému, v rozsahu od 40% do 60%.

Tab. 4 Porovnání parametrů vybraných typů směrových svítidel spotlight (20° 40°) s LED (3 000 K) a klasickými s větelnými zdroji.

Zdroj	Vzorek	P <sub>sys</sub> (W)	Φ <sub>LED</sub> (lm)	η <sub>sys</sub> (lm/W)
LED	A1	17	870	51
	A2	16	983	61
	A3	17	1000	59
	A4	32	1100	34
	A5	44	1120	25
	A6	28	1747	62
	A7	44	1958	45
HAL	B	55	1180	21
HIT	C	23	1700	74

Použití světelných diod v těchto svítidlech je z pohledu jejich rozměru a charakteru vyzařování logické. Účinnost těchto svítidel osazených LED se pak pohybuje v rozsahu od 90% do 95%. Porovnání vybraných typů přímých cloněných svítidel s leštěným reflektorem (UGR~19) osazené LED (4000K) a kompaktními žárovkami je uvedeno v tabulce 5. Svítidla pro světelné diody byly rozděleny podle světelného toku do tří výkonových skupin (1000 / 2000 / 3000 lm). U cloněných přímých svítidel pro kompaktní zářivky (UGR ~19) byly zvoleny typy s takovým výstupním světelným tokem, který přibližně odpovídal zvoleným výkonovým skupinám. Při výběru byla zvolena svítidla pro kompaktní zářivky s provozní účinností 60%. Z porovnání měrných výkonů je zřejmé, že současná svítidla typu downlight pro světelné diody mají v průměru o 40% (resp. 60%) menší příkon oproti svítidlům pro kompaktní zářivky při srovnatelném výstupním světelném toku a účinnosti svítidla 60% (resp. 40%). V současné době se svítidla downlight pro kompaktní zářivky vyrábějí až do příkonu 2x42 W. V takovémto výkonovém stupni se svítidla s LED v současné době nevyrábějí.

Tab. 5 Porovnání parametrů vybraných typů přímých svítidel, tzv. downlight (UGR~19), s LED (4 000K) a kompaktními zářivkami

Výkonová skupina	Svítidla pro LED (4 000 K)			
	Vzorek	Φ <sub>sv</sub> (lm)	P <sub>sv</sub> (W)	η <sub>sv</sub> (lm/W)
1000 lm	A1	814	17	49
	A2	1187	18	66
	A3	980	18	54
	A4	1231	15	82
	A5	1078	18	60
2000 lm	A6	1840	26	71
	A7	1889	27	70
	A8	2074	32	65
	A9	2124	34	63
	A10	1960	31	63
3000 lm	A11	2760	47	58
	A12	2596	36	72
	A13	2810	49	57
	A14	2529	27	94
Výkonová skupina	Svítidlo pro kompaktní zářivky (η = 60%)			
	Vzorek	Φ <sub>sv</sub> (lm)	P <sub>sv</sub> (W)	η <sub>sv</sub> (lm/W)
1000 lm	26W	1080	28	39
2000 lm	2x26W	2160	60	36
3000 lm	2x32W	2880	72	40

### Venkovní LED svítidla

Ve venkovním prostředí se světelné diody začaly používat podobně jako v interiérech nejprve pro orientační a dekorační účely. Dalším krokem bylo jejich využití ve svítidlech a světlometech pro architektonické osvětlení konstrukčních detailů a architektonických prvků. Přibližně v posledních dvou letech se začínají používat ve svítidlech pro veřejné osvětlení. Pro porovnání situace v této aplikační

oblasti jsou použity výsledky z pilotního projektu veřejného osvětlení ulice Zborovské v Písku. Součástí pilotního projektu byl úsek komunikace o délce 700 m. Původní osvětlovací soustavu, jejíž stáří bylo větší než 15 let, tvořila svítidla pro sodíkové výbojky 150 W. Tato svítidla byla v rámci pilotního projektu nahrazena svítidly pro světelné diody 84 x 1W (Golden dragon plus, Osram). Nová svítidla byla osazena do stejných poloh jako původní svítidla. Hodnoty technických parametrů původních i nových svítidel byly ověřeny ve světelně technické laboratoři na ČVUT FEL v Praze. Porovnání světelně technických parametrů bylo provedeno na základě měření osvětleností na úseku komunikace 30 x 6,5 m v síti kontrolních bodů 1 x 1 m. V rámci probíhajícího pilotního projektu se 2 x ročně provádí kontrolní měření. Výsledky naměřených hodnot jsou uvedeny v tabulce 6. Na základě výsledků měření i kontrolních výpočtů je možné říci, že v oblasti veřejného osvětlení v současné době existují na trhu svítidla, kterými lze při náhradě starších typů silničních svítidel pro sodíkové výbojky ušetřit okolo 30% elektrické energie. Světelné technické parametry moderních kvalitních uličních LED svítidel přibližně odpovídají parametrům kvalitních svítidel pro výbojové zdroje stejného příkonu.

Tab. 6 Souhrnné výsledky světelně technických výpočtů a měření

Osvětlovací soustava	Světelně technické parametry		
	E <sub>0</sub> (lx)	E <sub>m</sub> (lx)	r (-)
ČSN EN 13201 (ME4b)	x	10	0,4
<b>Ověřovací výpočet</b>			
Svítidla LED	20,9	13,6	0,4
<b>Měření</b>			
Svítidla HST	x	11,8	0,5
Svítidla LED, 900 h	22,7	x	0,5
Svítidla LED, 4100 h,	20,4	x	0,5

### Závěr

Vývoj v oblasti polovodičových světelných zdrojů bude ještě intenzivně několik let pokračovat a světelné diody i organické světelné diody budou pronikat do stále většího počtu aplikačních oblastí. Vzhledem k tomu, že polovodičové zdroje budou s největší pravděpodobností světelnými zdroji s největším měrným výkonem, nejdelší dobou života, velmi dobrými spektrálními vlastnostmi a snadnou regulací, bude obtížné najít konkrétní výhody, které by podpořily existenci jiných světelných zdrojů. Již v dnešní době se konkurenční výhody zúžily téměř jen na cenu a velikost světelného toku koncentrovaného do malého prostoru.

### ODKAZY

- [1] Internetový portál [www.osvetle.cz](http://www.osvetle.cz)
- [2] Ohno Y., Improving the color spectrum to increase LED efficacy, 2010 DOE SSL Transformations in Lighting Workshop, Raleigh, NC, February 2. – 4., 2010,
- [3] Navigant Consulting, Inc., Radcliffe Advisors, Inc. a SSSL Inc., Solid-State Lighting Research and Development: Multi-year program plan FY'09-FY'15, March 2009
- [4] 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

**Authors:** prof. ing. Jiří Habel, DrSc., Ing. Petr Žák, Ph.D., České vysoké učení technické v Praze, Technická 2, 166 27, Praha, Czech Republic, e-mail: [habel@fel.cvut.cz](mailto:habel@fel.cvut.cz)

## Selected problems of workplaces lighting in situ conditions

**Abstract.** The article deals with the workplaces lighting in the phase of building operation. In introductory part, there are mentioned risks, which affect the quality of lighting in various stages of life cycle of building – the workplace. There are examples of modelling and measurement of lighting intensity in the work area while shading by one’s own body part.

**Keywords:** workplace, lighting, operation, shading.

### Introduction – description of the risks

The issue of quality of lighting in the workplaces during the operation is a part of the whole life cycle of lighting of building interiors. A number of changes occur during individual cycles from planning the function of building to renovation. These changes affect important parameter – the value of maintained lighting intensity  $E'_m$ , or daylight factor D in the workplace. Impact of shading of the light sources by person and its characteristics will be the subject of evaluation from many risks mentioned in Fig.1, which affect the light-technical parameters.

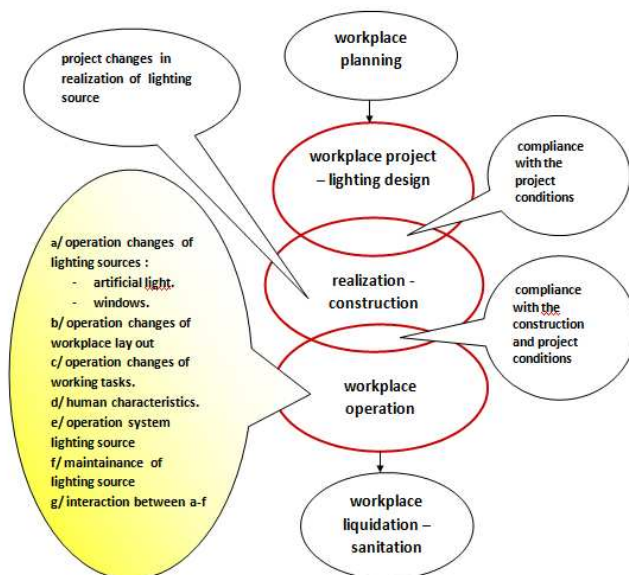


Fig.1 – Life cycle of the lighting systems in the workplaces

The mentioned risks describe changes in the operation to the designed solution. They can be divided into [1]:

- Planned changes with a positive contribution to the quality of lighting,
- Planned changes with negative result – they do not improve the quality of lighting,
- Unplanned changes with a positive contribution to the quality of lighting,
- Unplanned changes with negative result – they do not improve the quality of lighting.

If there is no improvement and achievement of minimum standard requirements, the renovation of lighting systems, which take into account ecology-energy savings, is necessary. [2]

The differences achieved between projected  $E_d$  and actual detected values  $E_o$  in comparison to the minimum standard requirements on the artificial lighting intensity in the

workplaces  $E'_m$  can be expressed for individual stages of life cycle by relations:

$$(1) \Delta E = (E'_m - E_d)$$

$$(2) \Delta E = (E'_m - E_o)$$

$$(3) \Delta E = (2E'_m - E_d - E_o)$$

where:

$\Delta E$  - deficit, or increase of difference of lighting intensity value between required and planned or measured values (lx) in the workplace,

$E'_m$  - maintained lighting in the workplace according to [2], (lx),

$E_d$  - designed lighting in the workplace (lx),

$E_o$  - lighting in the workplace detected by measurement (lx)

Similarly, it is possible to express also values for daylight by the value D – daylight factor by similar relations.

In case of positive values  $\Delta E$ , it is possible to analyse the causes of breaching prescribed parameters of lighting according to points a) – g) in Fig.1.

Differences between measured and planned values within the design stage are given by the fact that modelling is not realized in details – with the impact of interior workplace equipment and person in the given workplace. In the stage of real working activity, lighting values are reduced depending on the characteristics of person (body size, leaning of body) and his/her working position during operation.

### Characteristics of person and their impact on the value of daylight factor D and intensity of artificial lighting $E_o$ in the workplaces

In the ergonomic system, person is the weakest element and he/she often deteriorates lighting working conditions on his/her own. An example is:

a/ modelling of workplace without interior equipment and people in it (design stage) for daylight (Fig. 2 - 4) or artificial lighting (Fig. 5 – 6).

b/ shading of the lighting in the workplace by one’s own body (operation stage) - its different for right-handed and left-handed people.

### Evaluation of shading of the lighting by person in design stage

Table1: Changes of the daylight factor value in the workplace depending on the degree of modelling accuracy

The degree of modelling accuracy	min.D (%)	med.D (%)	max.D (%)	Uniformity of lighting
1. construction model	1,2	2,8	11,5	0,101
2. model with interior equipment	0,5	1,9	10,6	0,078
3. model with interior equipment and workers	0,6	2,5	11,8	0,047

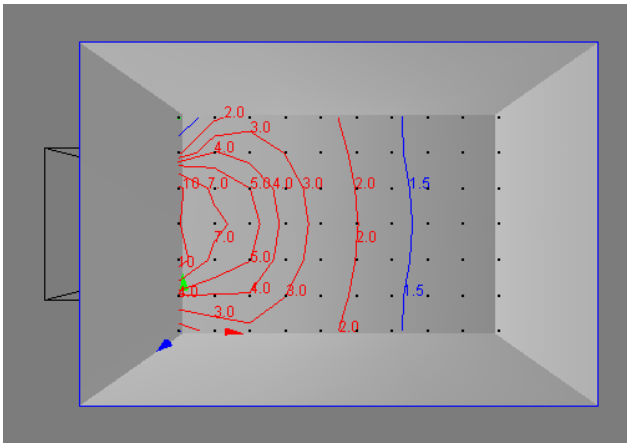


Fig. 2 : modelling of daylight in the office – 1st construction model

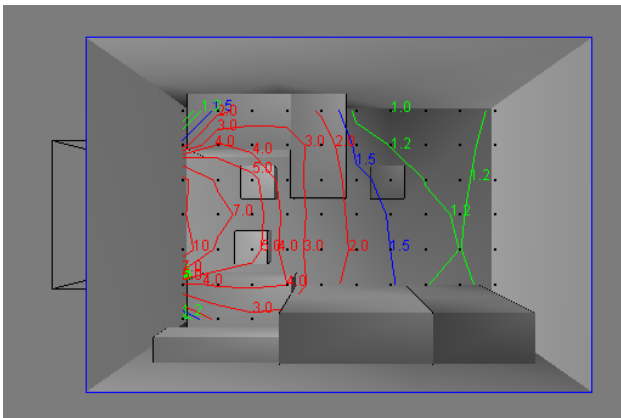


Fig.3 : modelling of daylight in the office – 2nd model with interior equipment

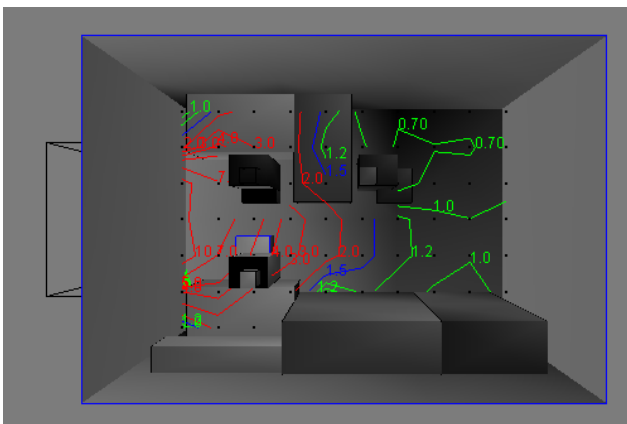


Fig.4: modelling of daylight in the office – 3rd model with interior equipment and workers (software WDLS 4.1).

Modelling for the 3rd stage of accuracy with workers points out allocation of isopod and reduction of zone with minimum required value of 1,5% in the work area in the height of 0,85 m. Impact of shading by person is also reflected in the designing of artificial lighting (Figure 5–6).

Modelling of daily and artificial lighting in the presence of person and the degree of accuracy of the results depends on the used software and its capabilities for modelling the real position of person (also with upper arms).



Fig.5: Modelling of artificial lighting (software Dialux) – 2nd model with interior equipment [4]



Fig. 6: Modelling of artificial lighting (software Dialux) – 2nd model with interior equipment and students [4]

#### Evaluation of shading of the lighting by person in the operation phase

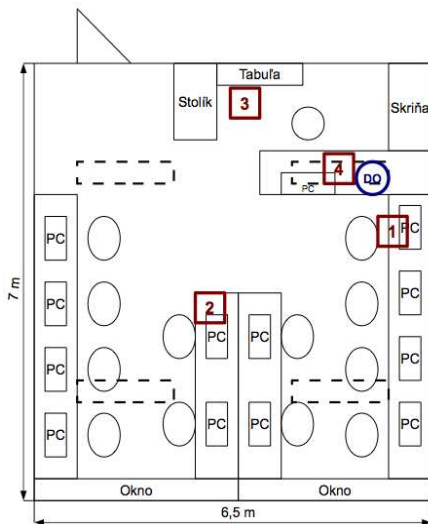
Measurements of light intensity on the workplace in situ were carried out in school area in different classrooms. An example is the computer classroom – Fig. 7, 8.



Fig. 7 – View of the computer classroom

Table 2: Measured values of associated lighting [4]

	Place of measurement according to the Figure 8 (lx)			
	PC1	PC2	tabuľa	$E_0$
Measurement in an empty room $E_0$	210	217	224	504
Measurement in the presence of students (shading) $E_0$	195	201	210	460
Reduction of value $\Delta E$ (%)	15 lx 7,14%	16 lx 7,37%	14 lx 6,25%	44 lx 8,7%



Notes:  
 DO – additional lighting  
 PC – computer  
 1 - 4 – place of measurement

Fig. 8 – View of the computer classroom

Measurement of daily lighting in relation to the lighting hole and shading by hand during writing is documented on the difference of left-handed and right-handed people (laterality). Statistically, the number of left-handers is about 10% of the population in a stable location of work areas, where the light shines from the right site; there occurs deterioration of light conditions for right-handed people.



Fig. 9: Shading by one's own hand while writing

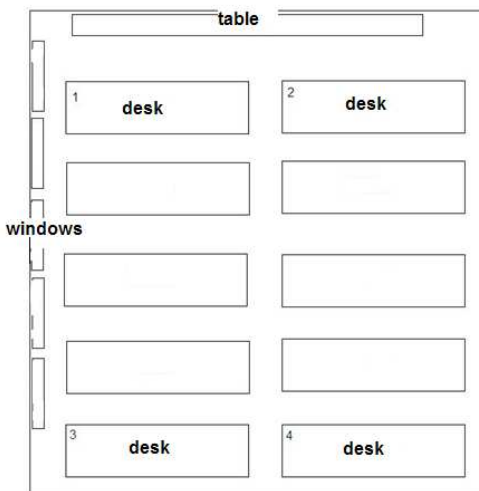


Fig. 10: Diagram of the measuring points 1 – 4 in the classroom for the daily lighting



Fig. 11: Measurement of lighting of work area for right-handed and left-handed people

Table 3: Measured values of daily lighting [5]

D <sub>0</sub> (%)	Place of measurement according to the Figure 10			
	1	2	3	4
Person – right-handed D <sub>0</sub>	11,9	4,58	4,28	8,62
Person – left-handed D <sub>0</sub>	8,23	3,18	2,28	4,18
Reduction of value Δ D <sub>0</sub> (%)	3,67 30,8%	1,4 30,56%	2,0 46,72%	4,44 51,5%

Table 4: Measured values of artificial lighting [5]

E <sub>0</sub>	Place of measurement according to the Figure 10	
	1	4
Person – right-handed E <sub>0</sub>	342	165
Person – left-handed E	186	110
Reduction of value Δ E (lx)	156 45,6%	55 33,3%

### Conclusion

The need for more detailed modelling of lighting in workplaces follows the fact that it is necessary to include not only static elements of interior or their variation in the model, but also time-varying (dynamic) model elements – people in the interior, their movements. The rate of inaccuracy of the model may affect the error during operation measurements. The difference of measured values in the same workplace without and with the presence of person represents the difference of at least 6% - reduction in values in situ conditions with person. In the replacement of right-handed person for left-handed person in the workplace when daylight comes from the left site, there is also reduction from other measurements at least 24 % depending also on the distance from the window. These values are only from presented examples, statistical evaluation would be more correct. [6] Proper design of lighting holes or sources of light must take into account:

- all elements of the interior with their characteristics,
- the possibilities of changes – flexibility of work,
- individual characteristics of person while working – shading by one's own body to the place of work task, the angle of the leaning of trunk as well as head of person in relation to the location of light sources, shading by hands while working (left-handed, right-handed) in relation to the light source depending on the size of person – his/her shading area (hair).
- number of people in the workplace.

Design of lighting should therefore forecast the possibilities of reducing lighting by shading with interior elements and person in assumed operation.



## REFERENCES

- [1] Flimel, M.: Problematika znižovania parametrov denného osvetlenia pri prevádzkovaní budov, in: Svetlo- Light 2009, hotel Grand Jasná , 21.-23.october 2009
- [2] Gašparovský, D.: Nový softvér LiteCalc 3.0 pre výpočet spotreby energie na osvetlenie komplexnou metódou, in: Kurz osvetľovací techniky XXVII, Ostrava 2009,ISBN 978-80-248-2087-3
- [3] STN EN 12464-1 36 0074 Svetlo a osvetlenie, Osvetlenie pracovných miest, Časť 1: Vnútorne pracovné miesta
- [4] Diplomová práca: Komplexné posúdenie svetlotechnickej kvality prostredia Spojenej školy v Prešove z pohľadu energetickej úspornosti, autor: Bc. Ivana Jančíková, Školiteľ: doc. Ing. Marián Flimel, CSc.
- [5] Bakalárska práca: Všeobecná ergonomická analýza pracovníkov - ľavákov, autor : Peter Lamanec, školiteľ: doc. Ing. Marián Flimel, CSc.
- [6] Šebej, P. : The resources exploitation non-parametric statistical tests on the evaluation tendency be accounted In: Aplimat. Part 2. - Bratislava : STU, 2005 S. 537-543. - ISBN 809692642X

---

**Author** : asoc prof.Ing. Marián Flimel, CSc.,  
Faculty of Manufacturing Technologies of Technical University  
of Košice with a seat in Prešov, Slovakia,  
e - mail: marian.flimel@tuke.sk

# Energy Audit of Street Lighting

**Abstract.** The paper introduces the area of energy audit of street lighting, its essentials according to the Czech legal regulations and main parts.

**Keywords:** street lighting, energy audit, energy consumption

## Introduction

In general, energy audit of lighting systems inspects the lighting systems and surveys the lighting facilities to determine levels of output, provide lighting system analysis, and specify energy consumption, the possible reduction or optimisation. Energy audit of street lighting represents the energy audit of street lighting systems. The energy audit of street lighting surveys the whole street lighting system including the economical aspects and provide possible measures for improving the system.

The structure of the energy audit used for this paper is consistent with Czech legislation. The Czech energy audit legislation is united, sophisticated and unique in the depth of provided details in comparison to other countries. The Czech energy audit has to comply with the requirements of the decree no. 213/2001 [1]. This decree determines not only the format but also for whom it is mandatory. Energy audit according to this legislation could be performed only by certified auditors.

## Energy audit of street lighting

The structure of the report on energy audit is as follows: identification data, description of the initial state, evaluation of the initial state, proposal of energy savings measures and grouping of measures into project options, economic evaluation, environmental impact evaluation, conclusion of the audit, recommendation of the selected project option for realization.

## The initial state

The description of the initial state of street lighting system should contain the main subject of the audit, thus the global characterization and description of the street lighting system and the local specificity. The supplier of the electrical energy is stated and there should be comprehensive description of the energy distribution (cables, distribution boards, circuit breakers, etc.), luminaires and poles.

## Evaluation of the initial state

In the terms of the evaluation of the initial state, there is the total consumption and costs of the street lighting for the last few years (usually 3 years). The baseline consumption is then set which is crucial for the assessment and setting the measures. The check measurement of the illuminance and/or luminance also should be carried out. The assessment includes the luminaires, used technologies, expediency of the luminaires, polls and electrical equipment. This part contains the conclusions of previous audit reports and other reports.

## Energy savings measures

After the assessment of the initial state of the street lighting system is done, the energy savings measures are created. Usually, they are grouped in three groups: no-cost measures (i.e. revision of the tariff rate), low-cost measures (i.e. more accurate switching) and high-cost measures (reconstruction, replacement of the luminaires). There could be several measures; they usually form 2 project options. Every project option has its own savings potential (expressed in kWh, costs, etc.).

## Economic evaluation

The economic evaluation figures out the payback period and internal rate of return. This is crucial for proposed project options. The energy auditor puts his decision concerning economic evaluation and the street lighting systems owner possibilities. The final decision is, of course, made by the owner.

## Environmental impact evaluation

The environmental impact evaluation is mandatory part of the Czech energy audits. However, concerning the street lighting, only conversion of electrical consumption to the given emissions coefficients is done (according to the State Environmental Fund of the Czech Republic).

## Energy audit outputs

There are some mandatory parts in energy audit outputs. Firstly, there is a summary of the evaluation of the initial state. Secondly, the auditor has to present the saving potential and recommendation of the project option with appropriate explanation. Finally, the record list with identification data and output form has to be stated.

## Conclusions

The energy audit of street lighting is advisable for the assessment of the state of street lighting system and for the quantification of energy savings. The energy audit is the economical expression of the saving and upgrading projects. The energy audit of street lighting is especially advisable for old bad-maintained systems.

## REFERENCES

[1] Decree no. 213/2001, amendment no. 425/2004

**Authors:** Michal Staša, SEVEN, The Energy Efficiency Center, Americká 17, Praha 2, 120 00, Czech Republic, e-mail: [michal.stasa@svn.cz](mailto:michal.stasa@svn.cz)

## Assessment of disability glare in traffic

**Abstract.** Speed of vehicles running on roads is high and even small dazzle of driver may cause decreased vision, temporary blindness, or extension of reaction time and ultimately may cause an accident. The aim was to determine, if this glare rating systems are applicable in evaluation disability glare and, if not, what modifications are necessary to adjust the scale or calculation formulas.

**Keywords:** disability glare, Holladay formula, Threshold increment, Adrian

### Introduction

Topic of glare on the roads has long been a topic of research. The concept of glare is now divided into two basic categories. The first category is discomfort glare. There is still no precise definition for discomfort glare because this kind of glare is dependent on many factors such as mood or fatigue, and does not depend directly from the lamp. The second category is disability glare. There are many possible sources of glare in traffic situations. Glare can be caused by street lightning, direct glare from the vehicle headlamps or indirect glare via inside and outside mirrors. There are several different methods for assessment of disability and discomfort glare, but not every method is suitable for every application. Method for evaluation of glare will be described later in this article. The aim of this article is clearly separate discomfort glare from disability glare

### Definitions of glare

In International Lighting Vocabulary is the concept of glare divided into two groups. First group is Disability glare, defined as “glare that impairs the vision of objects without necessarily causing discomfort”. Second group is Discomfort glare, defined as “glare that causes discomfort without necessarily impairing the vision of objects”.

When we want to make precise definition of disability glare, we have to use other definition as in International Lighting Vocabulary. Disability glare can be defined as the masking effect caused by light scattered in the ocular media which produces a veiling luminance over the field of view. The magnitude of this depends on the illuminance on the driver's eye from the luminaires and the angles at which they are seen. This kind of glare is absolutely unacceptable for the situations in traffic because of speed of cars and relatively long recovery time of the human eye after exposure to a glare source [1].

Nowadays we use many different definitions of discomfort glare but there is no precise one. In general we can say that this kind of glare doesn't causes decreased vision, but just makes us to feel uncomfortable. Discomfort glare has the same physical configuration as disability glare, but it produces another type of effect. Discomfort glare can be generally associated with bright light sources (road lighting), which attack our attention and catch our gaze. It is just the subjective impression of discomfort and is a function of several factors: the observer's line-of-sight angle with respect to the glare source, the amount of illumination from the glare source and the brightness of the surrounding field to which the subject is adapted. Some research has shown that this kind of glare is based more on emotional state of the observer than on the light source itself. It depends on the mood, age, emotions and fatigue of driver.<sup>5</sup> For the evaluation of discomfort glare we usually use these methods: Glare Control Mark (renamed from

Glare Mark Evaluation), Cumulative brightness Evaluation (CBE) and Schmidt-Clausen and Bindels's Equation.

### Equivalent veiling luminance

In the mid-1920s researcher Holladay made first quantitative measurements of disability glare by using the then recently introduced equivalent veil technique. Holladay's results, later modified by Stiles and Crawford and by Adrian and Bhanju [2], could be summarized by the equation:

$$(1) \quad L_{eq} = \frac{k \cdot E_{glare}}{\theta^2}$$

where:  $L_{eq}$  - equivalent veiling luminance,  $k$  - glare coefficient,  $E_{glare}$  - glare illuminance upon the eye,  $\theta$  - glare angle

The most interesting aspect of this disability glare formula is the relationship between  $L_{eq}$  and  $E_{glare}$ , suggesting of course that the equivalent light veil is a very real light veil due to entropic light scatter. It is very important to say that this mathematical formula is valid just for angles between 1° and 30°. Adjusted relationship for larger angles will be mentioned later in this article.

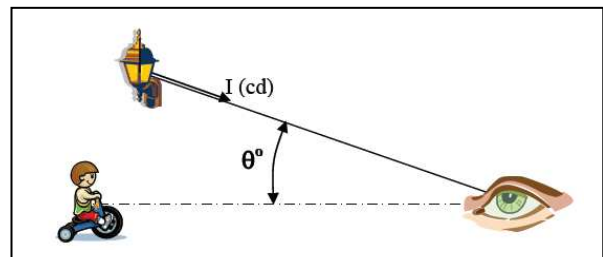


Figure 1: The equivalent veiling luminance caused by one light source<sup>9</sup>

Glare coefficient  $k$  is an age dependent coefficient (increases with age). This number is very often roughly set to be 10 but this can be misleading. In equation (2) we can see exact mathematical formula for evaluation of glare coefficient:

$$(2) \quad k = 10 \cdot \left[ 1 + \left( \frac{AGE}{70} \right)^4 \right]$$

As we can see in Figure 2, determining the glare coefficient to be 10 is incorrect especially for older people.

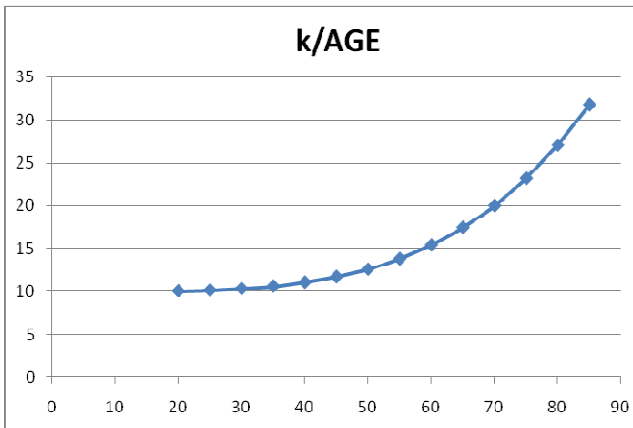


Figure 2: Dependence of glare coefficient  $k$  by age of observer

When we want to calculate equivalent veiling luminance with a full range validity domain  $0,1^\circ < \theta < 100^\circ$ , we have to make some changes in equations 1 and 2. It has been discovered that at large glare angles is equivalent veiling luminance also dependent on the eye pigmentation and we have to add a new variable to mathematical formula. Practical tests showed that at large glare angles light blue eyes are more sensitive on disability glare.

Another change that we need to do is an adjustment of the equation for very small angles (from  $0,1^\circ$  to  $1^\circ$ ). We have to supplement  $1/\theta^3$  to Age-adjusted Stiles-Holladay equation [1].

The final state is expressed in the equation 3 also called CIE General Disability Glare equation:

$$(3) \quad \left[ \frac{L_{eq}}{E_{glare}} \right]_{general} = \frac{10}{\theta^3} + \left[ 1 + \left( \frac{AGE}{62.5} \right)^4 \right] * \left[ \frac{5}{\theta^2} + \frac{0.1p}{\theta} \right] + 0.025p$$

where:  $p$  – eye pigmentation factor (ranges from 0 for black eyes, via 0,5 for brown eyes, up to 1 for light blue eyes and 1,2 for very light blue eyes)

That was discovered by researcher Adrian that impact of multiple glare sources can be evaluated as the sum of all veiling luminance from each glare source [4]. This mathematical formula is shown in equation 4:

$$(4) \quad L_{eqTotal} = \sum_{\pi} L_{eq(i)}$$

where:  $L_{eqTotal}$  – total equivalent veiling luminance,  $L_{eq(i)}$  – equivalent veiling luminance from  $i$ -th glare source

Issues around equivalent veiling luminance are complicated but summary of these problems is described in conclusion of this article.

The calculation of glare using equivalent veiling luminance method is very closely related with another method for calculation of disability glare called Threshold Increment Evaluation. In North America, a disability glare limit is used based on the veiling luminance whereas TI is used in rest of the world.

### Threshold Increment Evaluation TI

Threshold increment is a measure of the loss of visibility caused by the disability glare from the road lighting luminaires. TI evaluation method is related to road safety. Relationship between TI and road safety is unknown but there is a known relationship between visual performance and road safety. TI represents the impact of the glare source on the threshold of an object. In other words, it represents how much brighter, in percent, an object must be in order to be seen in the same conditions with a glare source present as compared to one without a glare source present [4].

For calculation of Threshold Increment we usually use one of two equations, mentioned in CIE Technical report 31-1976 [5]:

$$(5) \quad TI = \frac{\Delta L_{G1} - \Delta L_0}{\Delta L_0} \cdot 100\%$$

In this equation is relative threshold increment TI expressed as the difference of the threshold  $\Delta L_{G1}$  under glare condition and its value without glare  $\Delta L_0$  related to  $\Delta L_0$ . The relative increment may also be calculated in good approximation by the formula:

$$(6) \quad TI = 65 \cdot \frac{L_{eq}}{L_{AV}^{0.8}} \%$$

where:  $L_{AV}$  – average luminance of the road surface in range  $0,05 \text{ cd/m}^2 < L_{AV} < 5 \text{ cd/m}^2$

Average luminance of the road surface represents minimum value to be maintained throughout the life of the installation. This value depends on the light distribution of the luminaires, the luminous flux of the lamps, the geometry of the installation and on the reflection properties of the road surface. It is very important to note that calculated values should take account of luminaire and lamp maintenance factors. Calculation programs such as Calculux use modified mathematical formulas by maintenance factor. Equation 7 is valid for  $L_{AV} \leq 5$  and equation 8 is valid for  $L_{AV} > 5$ .

$$(7) \quad TI = 65 \cdot \frac{MF^{0.8} \cdot L_{eq}}{L_{AV}^{0.8}}$$

$$(8) \quad TI = 95 \cdot \frac{MF^{1.05} \cdot L_{eq}}{L_{AV}^{1.05}}$$

where: MF – maintenance factor used for calculation of average luminance

The longitudinal position of the observer at which the TI will be maximum, is dependent upon the screening angle of the vehicle's roof. This angle has been standardized by the CEN at 20 degrees above the horizontal. Threshold increment is evaluated only for luminaires within this angle. This method is valid only where the observer is located in the median plane through the lanterns parallel to the road axis ( $C_0$  plane) [5]. In Figure 3 we can see standardized position of the observer.

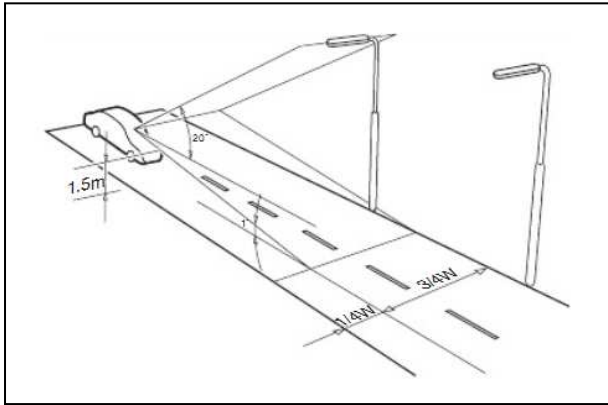


Figure 3: Standardized position of the observer

The Threshold Increment method is evaluated as a percentage. For the better visibility we need lower level of Threshold Increment. CIE states that threshold increments lower than 2 can be neglected. For the illustration we can use for evaluation following table [5].

Table 1. Verbal assessment of the various levels TI

TI (%)	Verbal assessment
> 20	Bad
10	Moderate
< 10	Good

In the 1995 was released technical CIE 115-1995 report named "Recommendations for the lighting of roads for motor and pedestrian traffic". In this technical report are different types of roads classified into lighting classes taking into account number of factors [6]. A brief overview of these factors is processed in following table.

Table 2. Lighting Classes for different road types (CIE 115-1995)

Lighting Class	Description of road
M1	1. High speed roads with separate carriageways, motorways, express roads with high traffic density and complexity of road layout 2. High speed roads, dual carriageway roads with poor traffic control and separation of different types of road user
M2	1. High speed roads with separate carriageways, motorways, express roads with medium traffic density and complexity of road layout 2. High speed roads, dual carriageway roads, with good traffic control and separation of different types of road user and important urban traffic routes, radial roads, district distributor roads with poor traffic control and separation of different types of road user
M3	1. High speed roads with separate carriageways, motorways, express roads with LOW traffic density and complexity of road layout 2. Important urban traffic routes, radial roads, district distributor roads with good traffic control and separation of different types of road user
M4	1. Less important roads, residential major access roads with poor traffic control and separation of different types of road user
M5	1. Less important roads, residential major access roads with good traffic control and separation of different types of road user

On the basis of data in Table 2, there were assigned limit values of threshold increment (TI) and maintained road surface luminance ( $L_{AV}$ ) to each lighting class.

Table 3. Lighting requirements for motor traffic (CIE 115-1995)

Lighting class	$L_{AV}$ (cd.m <sup>-2</sup> ) Minimum Maintained	TI (%) Maximum Initial
M1	2,00	10
M2	1,50	10
M3	1,00	10
M4	0,75	15
M5	0,50	15

### Visibility Level Concept VL

Research of VL started in the USA and nowadays is used as a criterion in American Roadway Lighting Standards. In the rest of the world is not this concept used so much as in USA but CIE suggests Visibility Concept as annex in the technical report 115-1995. There were several target visibility models but the most common was proposed by Adrian in 1989 and is called "Small Target Visibility" (STV). The idea of target visibility models in road lighting is to characterize a lighting installation in terms of how well a small target on the road can be detected by a driver at a distance where the driver uses to pick up information [7].

As we can see VL describes driver's ability to see an object more or less easy. This ability depends on several factors: the contrast of the object's surface luminance with the luminance of the background, the adaptation of the eye relative to that object, the magnitude of glare, the transient adaptation as a result of eye fixation, the visual complexity of the background and motion dynamics, the colour, size, and shape of the object, the age and visual characteristics of the motorist [6]. It is very important to note that the luminance of the target can be greater than the background (positive contrast) or vice versa (negative contrast). For both cases, a minimal luminance difference is needed to perceive the target with a certain probability level [8].

When we want to calculate VL, we must first to define characteristics of the target and observer. Standardized observer can be defined by ANSI-IESNA-RP-8-00 (there is no information about observer in CIE 115-1995) as 60 years old person and observation time was established at 0.2 second. Standardized target is 18 cm x 18 cm flat square target at a distance of 83.07 from the observer. The target reflects light in a Lambertian manner with a reflectance of 50 % (in CIE 115-1995 – 20 % diffuse reflectance) [9].

Visibility level model is based on the formula:

$$(9) \quad VL = \frac{\Delta L_{actual}}{\Delta L_{threshold}}$$

where: VL – visibility level (it has no dimensions, indicates how much the contrast of the target is above threshold contrast),  $\Delta L_{actual}$  – real difference on luminance between the target and its background,  $\Delta L_{threshold}$  – luminance difference needed between a target of a certain angular size and its background for the target to be just visible

It is not possible to show whole calculation of VL due to the scope of this article, but I will try at least to show basic formulas for evaluation of individual variables. Whole procedure of VL calculation can be found in Annex A of ANSI-IESNA-RP-8-00.

Calculation of  $\Delta L_{actual}$  is quite simple. It is just difference between luminance of the target and the background luminance:

$$(10) \quad \Delta L_{actual} = L_f - L_b$$

where:  $L_f$  – the target luminance,  $L_b$  – the background luminance

Calculation of  $\Delta L_{threshold}$  is more problematic. This evaluation was made by Adrian from empirical equation:

$$(11) \quad \Delta L_{threshold} = k \cdot \left( \frac{\sqrt{\Phi}}{\alpha} + \sqrt{L} \right)^2 \cdot \frac{\alpha(\alpha, L_f) + t_g}{t_g} \cdot F_{cp} \cdot AF$$

where:  $k$  - factor for the probability of perception ( $k=2.6$  for 100% probability),  $\Phi$  - luminous flux function,  $L$  - luminance function,  $\alpha(\alpha, L_f)$  - parameter depending on size of target and background luminance,  $t_g$  - observation time (0.2s due to RP-8-00),  $F_{cp}$  - correction factor,  $AF$  - age factor

Functions  $\Phi$  and  $L$  have been derived from Adrian's, Aulhorn's and Blackwell's data and can be calculated depending on the luminance level  $L_f$ . Correction factor  $F_{cp}$  is sometimes also called contrast polarity factor and is used to obtain the difference between  $\Delta L$  for positive and negative contrast (for positive contrast  $F_{cp}=1$ ). Calculation of  $F_{cp}$  is showed in equations 12. It is important to note that contrast polarity factor is calculate only if the target is darker than the background.

$$(12) \quad F_{cp}(\alpha, L_f) = 1 - \frac{m \cdot \alpha^{-\beta}}{2.4 \cdot \Delta L_{poz=2}}$$

$$(13) \quad \beta = 0.6(L_a)^{-0.1488}$$

$$(14) \quad L_a = L_b + L_v$$

$$(15) \quad \Delta L_{poz=2} = 2.6 \cdot \left[ \frac{\sqrt{\Phi}}{\alpha} + \sqrt{L} \right]^2 \cdot \left[ \frac{\alpha(\alpha, L_f) + 2}{2} \right]$$

where:  $L_a$  - adaptation luminance,  $L_v$  - veiling luminance (equation 1),  $m$  - coefficient depending on the  $L_a$ ,  $\alpha$  - arctan (target size / distance observer to target) x 60

Last unknown variable in equation 11 is age factor  $AF$ . This age factor can be calculated by equation 16 for people aged between 23 and 64. ANSI-IESNA-RP-8-00 states that standard observer is 60 years old so this formula is sufficient. When we need to modify this formula for older people than 60 years old then we must use equation 17 acceptable to persons aged between 64 and 75.

$$(16) \quad AF = \frac{(AGE - 19)^2}{2160} + 0.99$$

$$(17) \quad AF = \frac{(AGE - 56.6)^2}{116.3} + 1.43$$

For evaluation of this method we have to use table in ANSI-IESNA-RP-8-00 or in CIE 155-1995 where we can find minimum VL values for different road classes. For the

illustration, there are lighting requirements for M Classes (described in Table 2) according to CIE in the table 4. In general we can say that minimal visibility level necessary to guarantee traffic under good safety condition is 7.

Table 4. Visibility Level requirements (CIE 115-1995)

Lighting class	VL Minimum Maintained
M1	7,5
M2	7,0
M3	6,0
M4	5,5
M5	5,0

## Conclusion

This article was prepared as a brief overview of the methods currently used for evaluation of disability glare in traffic situations. At the end I have to say that any above mentioned method is not perfect and suitable for any situation arising in traffic.

Holladay's equivalent veiling luminance and related threshold increment have several problems. First problem is that scatter sources like fog, dirty widescreen or glasses are not included into evaluation. Second very important problem is that there is just a few practical experimental tests made of evaluation of  $L_{eq}$  and TI especially for large angle range. Third problem is that evaluation formula is missing important factors such as recovery time of human eye after several exposures to the glare source.

Visibility level model is sophisticated and complex evaluation method. There were made several different studies about VL. Problem is that there are some differences in these studies like: shape and dimension of the target, observer's age and reflectance factor. So that can be problematic to compare these studies. So the main problem is that there is no enough practical measurements of VL for different conditions of road, street lighting installation and so on. There are also small differences between requirements in ANSI-IESNA-RP-8-00 and CIE 115-1995.

## Acknowledgment

This work was supported by the Operational programme "Research and Development" and European fund in project ITMS 26220220150 called „Research center of light and light technology”.

## REFERENCES

- [1] Vos, J.J., Reflections on glare. In: Lighting Research and Technology, (2002), pp. 163-176
- [2] Adrian, W., "Visibility of targets; Model for calculation", In: Lighting Research & Technology, (1989), pp. 181-188,
- [3] Gibbons, B. R. and E. J. Edwards, A Review of Disability and Discomfort Glare Research and Future Direction, (2007) pp. 2-10. Virginia Tech Transportation Institute, Blacksburg.
- [4] CIE Pub. No. 31-1976, "Glare and uniformity in road lighting installations", (1976)
- [5] LiDAC International, Calculux version 6.6. Eindhoven, (2011), Netherland
- [6] CIE Pub. No. 115-1995, "Recommendations for the lighting of roads for motor and pedestrian traffic", (1995)
- [7] Brémond, R., Quality indexes for road lighting: A review, Laboratoire Central des Ponts et Chaussées, Paris, France
- [8] Onaygil S. and Güler Ö., Visibility level in road lighting calculations, Istanbul Technical University
- [9] IES-ANSI, RP-8, "American national standard practice for roadway lighting", (1990)

**Author:** Ing. Matej Janík, Faculty of Electrical Engineering and Information Technology STU in Bratislava, Institute of Power and Applied Electrical Engineering, 12. August 2011 Slovak Republic, e-mail: matej.janik@stuba.sk

## Outdoor Lighting – Correct lighting at all times

**Abstract.** This paper presents the new approach of setting lighting levels for street and roadway lighting in the revised CIE 115. It also presents the relevant findings in an on-going PhD study where the potentials in energy saving by using a totally adaptive installation are investigated. By using Norway as an example, the total energy saving potential by implementing traffic volume and weather dependent dimming are calculated.

**Keywords:** Energy saving potential, adaptive lighting, new approach for road lighting control, CIE 115.

### Introduction

During the last decades an increasing focus on the damaging effects of CO2 emissions has led to a joint effort both from public and governmental institutions to reduce the use of electrical energy. In this aspect the CIE officially stated at their 2007 term meeting in Beijing that “This is possible through intelligent use of new technology and a scientific understanding of the varied human needs for different types of lighting in different settings” [1]. In this aspect the CIE 115 publication (Lighting of Roads for Motor and Pedestrian Traffic) [2] was revised to allow for the dynamical control of lighting classes during the varying conditions at nighttime. Aspects concerning both traffic complexity and composition and varying weather conditions and thereby surface conditions were introduced through a weighing table assessment of the current design conditions.

### CIE 115 – parameters for dynamical road lighting levels

The CIE 115 – “Lighting of roads for motor and pedestrian traffic” [2] was revised and republished in 2010. As the existing document gave the demand to design road lighting installations statically according to the worst conditions on the road, the CIE in 2003 gave the committee “TC 4-44” the task to revise the document to allow for dynamical lighting levels. A working group of 28 people (25 experts and 3 advisors) from all over the world worked for 5 years on editing the document accordingly. Both in depth theoretical discussions but also some practical research was conducted to set a solid base for the revision.

The CIE 115 [2] is built up with lighting classes for different classification of traffic; Motorized traffic (M), Conflict areas (C) and Pedestrian and low speed traffic (P).

The main revision concerned the methodology to set the correct lighting class for the roads, allowing for a dynamic variation of the lighting levels as the dependent dimensioning factors vary throughout the night time. To be able to give the guiding for a dynamical lighting demand a weighing table was established, where different varying factors was given a weighting index. Both traffic and weather dependent factors were included. All factors are summed and give the resulting lighting class for these exact conditions. As the variance can be quite large throughout the night time there was given a maximum of control variance of two lighting classes. While the lighting level is to be varied, the other quality parameters (uniformity and glare) are to be kept constant as for the highest demand class throughout dimming periods. A specific table was established for the three different basic lighting classes (M, C and P).

### Example of varying lighting class according CIE 115

As an example, figure 1 shows a process of using the weighing table for an M-class road. As it can be seen, only looking at the traffic volume during the night time, this road transfers from a M4-class road with a classified “Very high traffic volume” in the evening, through “moderate” to “low” in the late night, before it transfers to a “very high” volume again in the morning.

Parameter	Options	Weighting Value WT	IFT selected			
			M1	M2	M3	M4
Speed	Very high	-	1	1	1	1
	High	0,5				
	Moderate	0				
Traffic volume	Very high	-	1			1
	High	0,5				
	Moderate	0		0		
Traffic composition	Low	-0,5				-1
	Very low	-1				
	Mixed with high percentage of motorized	2				
Separation of carriageways	Mixed	-				
	Motorized only	0	0	0	0	0
Intersection density	No	-				
	Yes	0	0	0	0	0
Parked vehicles	High	-				
	Moderate	0	0	0	0	0
Ambient luminance	Present	0,5				
	Not present	0	0	0	0	0
Visual guidance / traffic control	High	-				
	Moderate	0	0	0	0	0
	Low	-1				
Visual guidance / traffic control	Poor	0,5				
	Moderate or Good	0	0	0	0	0
Sum of Weighing Values ΣWT			2	1	0	2
IFT selected			M4	M5	M6	M4

Fig.1. Example of used weighing table for M-class according to CIE 115.

Lighting Class	Road surface luminance				Threshold increment	Surround ratio
	Dry		Wet *			
	$L_{av}$ in cd-m <sup>-2</sup>	$U_o$	$U_L$	$U_o$	TI in %	SR
M1	2,0	0,40	0,70	0,15	10	0,5
M2	1,5	0,40	0,70	0,15	10	0,5
M3	1,0	0,40	0,60	0,15	15	0,5
M4	0,75	0,40	0,60	0,15	15	0,5
M5	0,50	0,35	0,40	0,15	15	0,5
M6	0,30	0,35	0,40	0,15	20	0,5

Fig.2. Example of resulting demands by using dynamical lighting classes according to CIE 115.

In these tables it is intentionally left out a more accurate determination of the limits of categorisation, other than saying “very high/high/low” they do not give an accurate description of the determination of these limits. This was done due to the fact that a moderate to low traffic volume in some countries might indicate a very high traffic volume in some other countries. In this respect each adapting national organization can make their own determination of classes for their country.

**Weather dependent control**

Several investigations have been done to investigate the correct way to control the lighting levels during wet surface conditions. But internationally the subject is not easy to agree upon. Already starting on the definition of the term itself; what is “wet”? Many European countries has ignored this issue and only give demands based on dry surfaces, while some of the northern countries i.e. Norway [3] and Sweden [4] includes a differential uniformity demand for respectively dry and wet surfaces. But concerning level of lighting we do not have many guidelines to consult.

To investigate the potentials of dimming according to weather, an investigation was done in parallel to the mentioned revision of CIE 115. SINTEF research institute, represented by Arve Augdal, did an investigation of snow covered surfaces on behalf of Hafslund Net in Norway [5].



Fig.3. Example of snow covered road surface

A totally snow covered surface was measured, using different configurations of height of installation and type of lighting source. To compare with dry conditions the same configurations were calculated using the standard surface used for road lighting calculations as demanded by the Norwegian Public Road Administration. It was found that with the same incoming light a multiplier factor of as high as 5,9 (results varied from 4,6-5,9) could be used for scaling the respective reflected light represented by luminance levels.

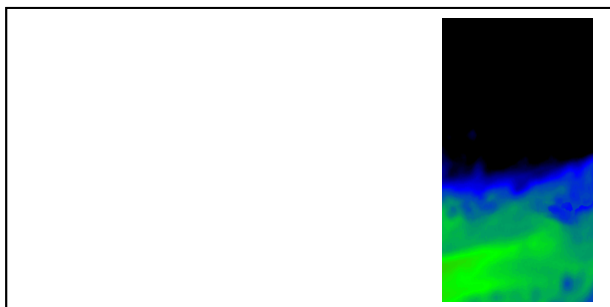


Fig.4. Example of a CCD based luminance measurement of a snow covered surface

Off course freshly fallen white snow will not be present for long, when exposed for motorized traffic. But the same study showed that on a ploughed and freshly sanded road the multiplying factor was still in the range of 3,5- 4 times the comparable dry conditions.



Fig.5. Example of a snow covered road freshly ploughed and sanded

**Traffic volume dependent control**

To design a road lighting installation according to the “worst” conditions, in most situations the installation will give too much light in large periods of the night time. Using a “city access road” in Norway as an example, a normal traffic pattern would give a “rush hour” peak between 7:30-9:30 in the morning, and 15:30-17:30 in the evening. With regard to figure 1 a categorising of these periods as “very high” traffic volume, would lead to this specific road being classified for worst conditions a maximum of  $4 \cdot 365 = 1460$  hours/year.

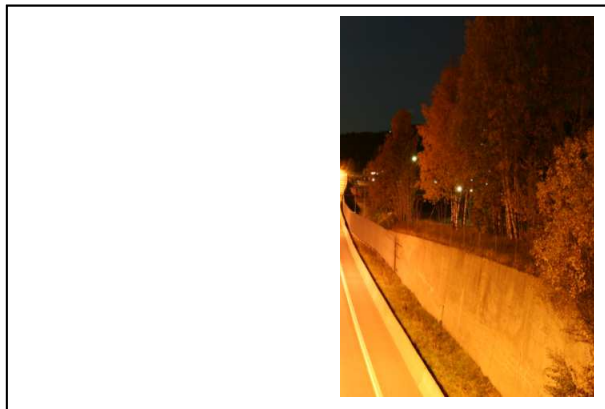


Fig.6. Example of a highly lit road designed for high traffic volume, but without traffic in the night time.

Using the geographical position of the capital of Norway as an example, only 385 of these hours are during the dark period of the day. Resulting that of the approximately 4200 hours of the year that there is a need for artificial lighting at this geographical position, there is a need for the maximum output only for 385 hours, or just below 10 % of the installations burning hours. And this is only considering the traffic volume!

**Other weather conditions**

The above calculated potentials would be wise to consider not as a given fact rather an indication of the possible potentials. If a more thorough classification is done and this is implemented for direct road lighting control, several other control parameters have to be included. Earlier in this article the conditions during “wet” surface were discussed. Another



difficult condition is when the vision is obstructed by i.e. fog. If a fully automated installation should be deployed actions would have to be taken to ensure that acceptable lighting levels were provided also during these conditions.

If real time automated luminance measurements should be deployed for the control of lighting levels, then both wet and foggy conditions would lead to a decreased flux output from the luminaires. The foggy conditions would “fool” the measurement taken 60 m away, in most situations giving a too high luminance, because it would be the lighted fog being measured instead of the road surface (see fig 7).

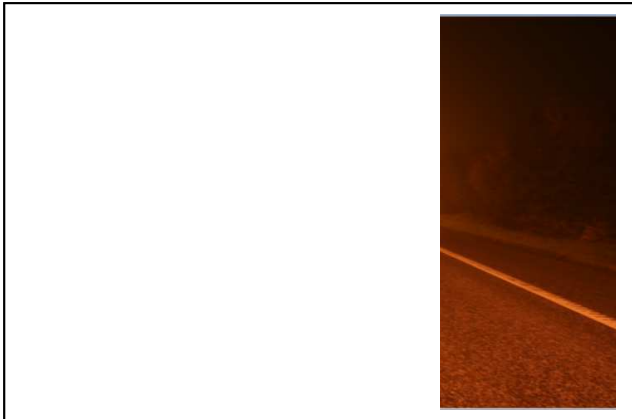


Fig.7. Example of foggy conditions

For the wet conditions the amount of water on the surface would influence the result of the measurements. A totally covered surface would in many situations give a higher luminance than the comparable dry conditions, but the surface would transform into a specular surface, giving bad uniformity. A partial wet surface, as shown in figure 8, would still give the approximately same resulting luminance as the dry surface, but the uniformity would be poor.

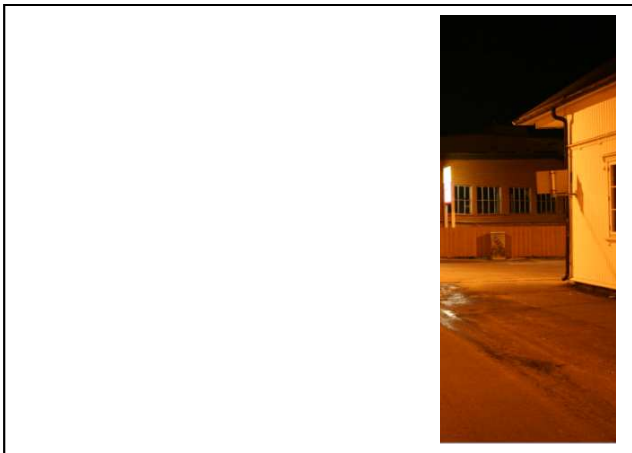


Fig.8. Example of wet conditions giving bad uniformity

### Energy saving potentials

As the previous text indicates a large set of assumptions has to be taken for a theoretical potential can be estimated. As an example in this chapter, the theoretical potential of Norway is presented.

The current lighting of Norwegian roads can be divided into categories of “responsible road keeper”. Divided into governmental, county and municipality controlled fig. 9. shows their annually electrical consumption for lighting the roads today [6].

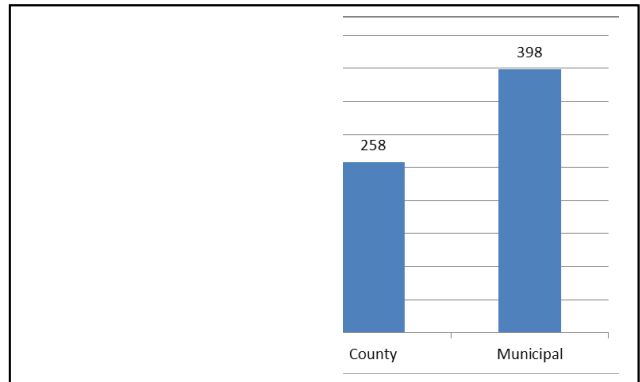


Fig.9. Yearly electrical consumption for road lighting in Norway, divided by category of responsible road keeper.

### Traffic dependent

Further on we have to assume the varying traffic volumes and thereby the need for lighting levels during the night time, in this case based on the road lighting classes.

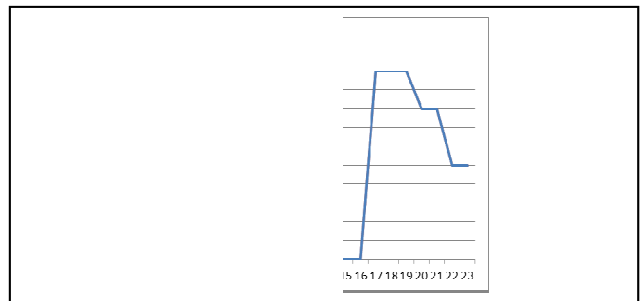


Figure 10 Traffic dependent control, lighting class M3

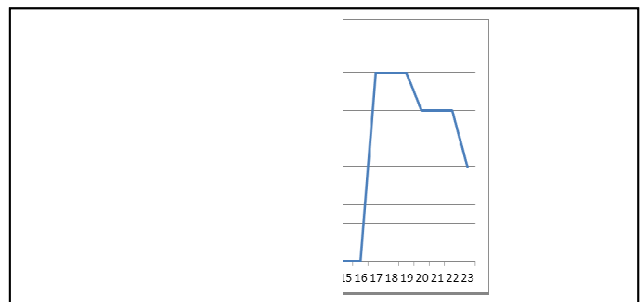


Figure 11 Traffic dependent control, lighting class M4

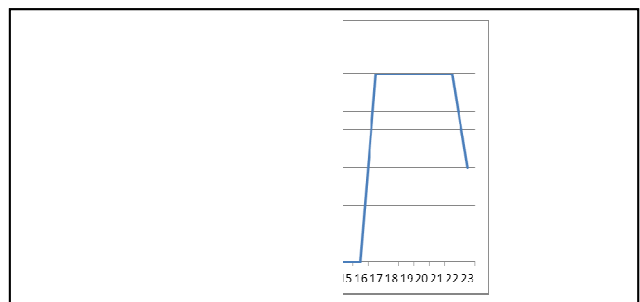


Figure 12 Traffic dependent control, lighting class M5

In order to make an estimate of the present energy saving potentials also an assumption of the lighting class must be made. For sake of simplification the assumption is made that all national primary roads are M3 lighting class roads, all county roads are M4 lighting class and all municipal roads are M5 lighting class.

### Weather dependent

An on-going PhD study has done a thorough investigation of meteorological data using the geographical location of the capitol of Norway, Oslo, as an example [7]. This investigation has also included an investigation of varying switching times based on logging of real time varying luminance's during a long period. The conclusions from this study are summed in figures 13-15.

Time for switch on/off			
	Dry	Wet	Snow
Switch on delay after sunset [min]	34	34	55
Switch off delay after sunrise [min]	34	34	55

Figure 13 Summed burning offset for test site

Average level of light			
	Dry	Wet	Snow
Stabile values in [cd/m <sup>2</sup> ]	1,2	2,2	5,4
Suggested dimming [%]	85	100	20

Figure 14 Averaged control parameters for test site

	Dry	Wet	Snowy	Total
Days	179	134	51	365
Total night time hours	2083	1561	596	4240
<b>With suggested delay</b>	1880	1409	502	<b>3791</b>

Figure 15 Summed burning hours for test site, weather dependent control

### Total energy saving potential of Norway

Using the assumptions outlined above a potential of implementing weather and traffic dependent control scheme can be derived. As this would be dependent on the possibility of dimming the luminaires dynamically, the decisions on what kind of lighting source is used, would give a large difference in the resulting energy savings. If a standard High Pressure Sodium lighting source is used, a reduction from 100 % to 50 % lighting output would only give a 30 % energy reduction. If a LED light source were used, one could for this exercise assume a 50 % energy reduction. This difference could be quite essential when evaluating the potential energy savings.

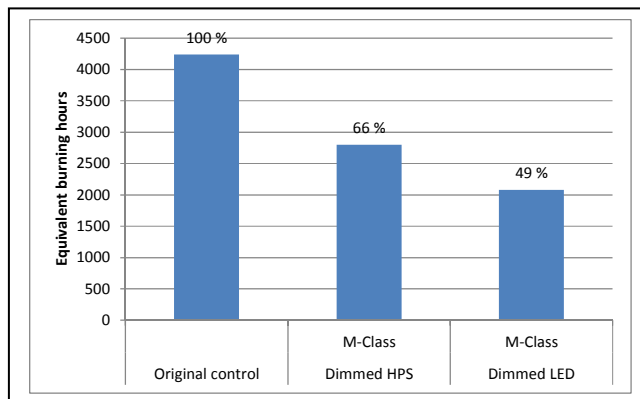


Figure 16 energy saving potential of Norway by weather and traffic volume dependent dimming

All the assumptions listed above lead to a conclusion that by implementing weather and traffic volume dependent dimming of all Norway's road lighting installations a reduction of 34 % could be done if we base the calculation on existing High Pressure sodium lamps, if all luminaires had been LED-based then an additional 17 % energy saving would be gained due to the more linear luminous efficacy when dimming.

(The paper is not suggesting that this should be done, merely stating the potential that lay in doing these actions).

### References

- [1] CIE. *Energy Conservation Requires Smart Lighting*: CIE Press release 11 July 2007.
- [2] CIE. *CIE 115 Lighting of Roads for motor and pedestrian traffic*. Vienna : CIE, 2010.
- [3] Norwegian Public Road Administration. *Håndbok 264: Prosjektering av vegbelysningsanlegg*: Statens Vegvesen, 2009.
- [4] Swedish Public Road Administration. *VV publik 2004:80, Väg och gatubelysning*. s.l. : Svenska Vägverket, 2004.
- [5] Augdal, Arve. *Test report Narvik*: Unpublished, 2006.
- [6] Larsen, Pål J. *Yearly energy consumption of outdoor lighting in Norway*: Unpublished, 2009.
- [7] Larsen, Pål J. *Energy Savings in Road Lighting*: Unpublished, 2011.

### Authors:

PhD Scholar Pål J Larsen, Norconsult AS, Pb 626 1303 Sandvika Norway, e-mail [Pal.Johannes.Larsen@Norconsult.com](mailto:Pal.Johannes.Larsen@Norconsult.com)  
 Msc. Tor Mjøs, Norconsult AS, Pb 626, 1303 Sandvika Norway, e-mail [Tor.Mjos@Norconsult.com](mailto:Tor.Mjos@Norconsult.com)

# Planning and design process of road lighting

**Abstract:** Implementation of road lighting requires usually three plans of different level. They have their own goals and accuracy. Road lighting aspects must be considered in all stages of road design, and it is also related to land-use planning.

**Key words:** road keeping, lighting policy, feasibility, planning process

## Lighting in road keeping

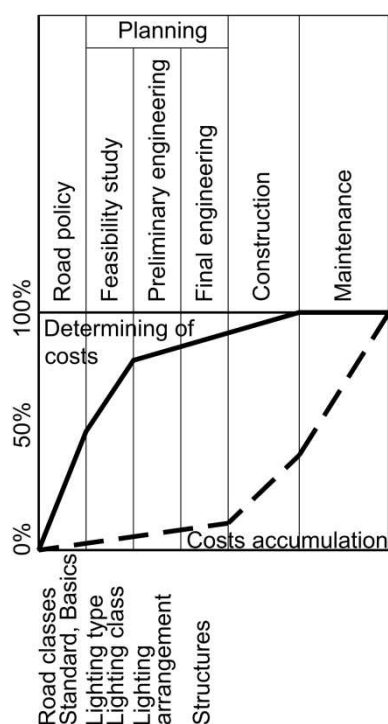
Traffic routes are important part of community, network for movements and transportation. They are significant factors in land-use planning, and their functional classes define grounds for road and street lighting. The whole field of activities and relation between the main parts are shown in table 1.

Table 1. Lighting in the processes of land use and road keeping

LAND USE	ROADS	LIGHTING
Regional plan	Road network plan	Feasibility study
Master plan	Preliminary engineering	Preliminary engineering
Local plan	Final engineering	Final engineering

Planning and design process of road lighting is long-lasting. Figure 2 describes what will happen during road policy, design, construction and maintenance. Half of the coming costs will be determined due to the functional class and standard of the road, and 40 % during the different stages of design. 90 % of costs will be accumulated during construction and maintenance.

Figure 1. Origin of costs



## Feasibility study of outdoor lighting

### Aim

In the feasibility study of lighting the long-term (>15 a) objectives and program of the road and street lighting in built-up areas, towns or urban areas are described.

Its aim is to:

- coordinate the lighting of the whole area so that it forms a logical whole
- specify streets and areas where the more specific or detailed urban lighting is needed.
- help the programming and decision-making
- be a basis and control method of subsequent plans
- present the principles of the adaptive lighting and the intelligent control.

### Working-Out

The feasibility study of lighting is worked out on the basis of the present situation and the development plan of the road network.

The planning begins by checking the present road and street lighting.

On the basis of traffic safety investigations, traffic volume data and the functional classes indicated by the development plan for the road and street network new traffic routes as well as the need for improving the present lighting are investigated. The lighting classes and lighting arrangements of roads and streets are defined by means of the methods and principles described in the national code of practice for road lighting.

Projects are put in the order of priority by taking into account the installation and maintenance costs as well as the resources that are allocated each year.

The principles of the adaptive lighting are defined.

The feasibility study of lighting is worked out in cooperation with the town or municipality and the Highway Administration. Each part must consider the plan and accept it as the basis of further design.

The next step is the following-up of the feasibility study. It is important to check that the general principles of the plan are preserved and also that plan is still current (e.g. luminaires, lamps, construction and improvement projects).

### Contents

The feasibility study consists of the following documents e.g.

- Description
  - starting points
  - objectives
  - lighting principles and urban landscape
  - lighting types
  - performance requirements
  - lighting equipment
  - next stages of design
  - construction and rehabilitation
  - maintenance

- treatment and approval
- follow-up and updating

- Drawings
  - present state of lighting: light sources
  - present state of lighting: age structure
  - lighting strategy on the urban landscape
  - lighting types
  - lighting classes

### **Preliminary engineering of lighting**

This type of plan is needed for a restricted and specific area of a town, city or community. Preliminary engineering will be worked out mainly due to environmental reasons and for city beautification in accordance with the aspects described in the national code of practice for road lighting

Design process of final engineering can be applied. Contents of plan vary depending on the object, but includes at least:

- description
- map showing principles for location of columns and luminaires
- illustrations and cross-sections of lighted surfaces, facades, buildings, statues, trees, parks etc.
- perspective pictures and photomontages
- general drawings of equipment

### **Final engineering of road lighting**

#### *Aim*

The final engineering of lighting is a plan which is based on the feasibility study or on the preliminary engineering or some other similar study. The final engineering is worked out separately for each road. It is the main document of installation and describes the final result of the work. It is also the basic document of the activity planning.

Before the design is started one must make sure that the project is necessary. The grounds and objectives of the project are to be considered. The decision to work out a plan is made on the basis of these, the previous design stage and a possible agreement on lighting.

#### *Working out*

This process comprises of five different technical sectors:

- public participation (authorities, other designers and bodies interested in)
- highway engineering
- lighting engineering
- electrical engineering
- construction and maintenance

The final engineering consists of four different sub-stages, the result of which is an intermediate goal or decision:

#### *1. Commencement of design*

After the ground and objectives have been given basic information regarding the lighting is obtained from other plans or from the present road:

- maps, longitudinal and cross-sections
- drainage plan
- plans for cables and equipment
- route guidance plan
- general drawings of bridges
- data on present lighting
- data on transformer stations and the supply of electricity

After getting acquainted with the material plan of activity can be worked out.

Because the whole planning procedure is rather long the preliminary engineering is checked so that it is up-to-date or corresponding, short examination is worked out.

#### *2. Site investigations and principal solutions*

A creative sub-stage of the final engineering at the beginning of which the main solutions are defined:

- lighting class
- lighting arrangements
- luminaires and lamps
- columns and foundations
- electrical distribution devices

By means of the above main solutions alternatives are worked out for comparison. A lighting technical dimensioning is made for each one of the alternatives. Considering the other parts of the road e.g. footpaths and cycle ways, traffic signs, signal control etc. the alternatives that are equal from the viewpoint of lighting performance are compared by means of cost calculation. Then the final choice is made.

#### *3. Design of structures*

A routine sub-stage of the final engineering. At this stage the plan for the other parts of the road are dealt with and the columns and luminaires are adjusted:

- firstly, the columns are placed at the obligatory points i.e. close to the intersections, bridges, cables, pipes, culverts, manholes etc.
- then the placing is continued on the free road sections so that the spacing is as close to the theoretical value as possible
- the foundations are chosen

The electro-technical measuring and design is made simultaneously:

- the cable and its cross-sections determined
- voltage decrease
- zero conditions
- selectivity of protection

#### *4. Finishing and treatment of the plans*

If lighting is a part of the legal highway plan which must be treated in accordance with the Road Act, and there has been accepted requests to revise the highway plan, the finishing of the final engineering of road lighting is continued:

- comparison to the other part of the road
- working drawings are made and drawn fair
- levels are calculated
- tables are made ( columns, conduits, traffic signs etc.)
- typical drawings are chosen
- specification is written
- the bill of quantities is completed
- statements of relevant authorities
- documents for the invitation of tenders are made
- the final engineering is compiled
- the design material is documented

The final engineering of lighting, which is based on the highway plan, may be approved to by the local office of Road Administration.

The final engineering of lighting must also be sent to the local electricity distribution utility for inspection.

## Contents

The final engineering for lighting consists of following parts:

- special specification
- general map 1:10 000-1:20 000
- design map 1:1 000-1:2 000
- typical cross-sections 1:100-1:200
- lists of columns and foundations
- lists of conduits
- lighting drawings of bridges 1:100-1:200
- list of traffic signs
- grouping table for loading
- main schemes of electric distribution boards
- special drawings
- typical drawings
- general specification

## REFERENCES

[1] National Code of Practice for Road Lighting. Finnish Transport Agency

[2] Djokic, L., Kostic, A., Kostic, M.: What should be considered by lighting masterplans and how. 27<sup>th</sup> Session of the CIE, South Africa 2011. PROCEEDINGS, Volume 1 Part 1, 151-159

**Author:** M.Sc. (Civ. Eng.) Pentti Hautala, SITO Oy (Finnish Consulting Engineers), Tietäjäntie 14, 02130 Espoo, Finland, e-mail: [pentti.hautala@sito.fi](mailto:pentti.hautala@sito.fi)

# Use of direct and indirect components of solar radiation in photovoltaics

**Abstract.** The electrical power of photovoltaic systems depends on the power of solar radiation incident on the active parts of the system (photovoltaic panels). The incident solar radiation consists of direct and indirect component which is caused by actual weather conditions. Due to the receiving characteristics of the solar panels it could be more efficient to turn the panels directly to the sun while the direct component of solar radiation dominates. The solar concentrators for photovoltaics are based on concentrating the direct solar radiation. This paper should describe the ratio of direct and indirect component of solar radiation in different weather conditions.

**Keywords:** direct solar radiation, radiation scattering, photovoltaic system, solar concentrator.

## Introduction

One of the most important renewable energy sources is the Sun, radiating a part of its energy towards Earth. The entire spectrum of electromagnetic radiation, including shortwave radiation, X-ray, ultraviolet, visible light and longer infrared wavelengths comes to Earth from the Sun. Part of the solar radiation, especially radiation visible by the human eye (called light), can be converted into electricity using the photoelectric effect. This transformation takes place in photovoltaic systems, using mainly silicon photocells.

Solar radiation incident on the surface of the photocell is composed of direct and indirect components (Fig. 1). Indirect component of light rises by scattering of solar radiation in the atmosphere or by reflecting from surrounding surfaces. Indirect component of solar radiation consists of nonparallel beam of light which dominates in conditions of cloudy weather, when the direct component of solar radiation is suppressed. A direct component of solar radiation consists of beam of parallel rays and prevails in cloudless weather, when the indirect radiation component becomes insignificant. The ratio of indirect and direct components of solar radiation is presented to be 1:10 when the weather is cloudless [1]. A similar ratio characterizes the electrical power of photovoltaic systems with overcast skies and within the cloudless weather.

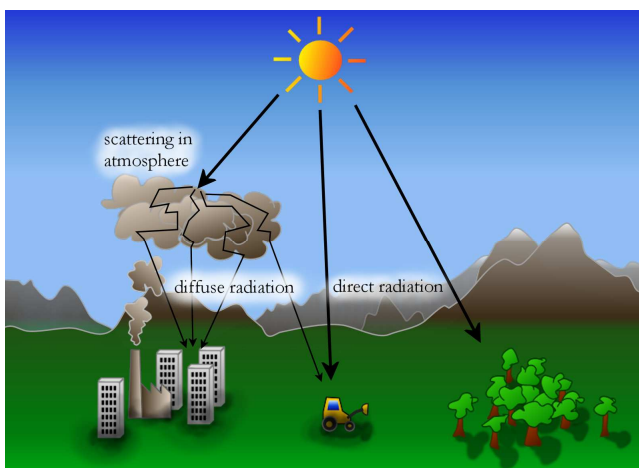


Fig.1. Originating of direct and indirect solar radiation

To project photovoltaic systems it is very important to know what the direction of the light incident on the solar cells is. The aim of this research is to analyze the direction and intensity of light reaching the earth's surface in various weather conditions.

## Types of photovoltaic systems

In photovoltaics, there are several options for mounting solar panels.

Photovoltaic panels of common solar systems are installed fixedly with its normal inclined to the direction of averaged maximum of solar radiation intensity. Because the sun reaches various ascensions during day and various declinations during year, the direct solar radiation comes to fixed solar systems with not always the best angle of incidence. When direct solar radiation strikes a fixed panel with a direction very different from the ideal, a large part of the radiation could be reflected from the panel. In situations like this, the indirect component of solar radiation could participate on the electrical power output more than the direct component of radiation.

Advanced solar systems could be equipped with system for swiveling to the sun. This allows them better use of direct solar radiation incident on solar panels at different times of day and year. Conversely these adjustable systems could generate less power than equivalent fixed systems in conditions when the indirect component of solar radiation prevails over the direct component.

In order for a better exploitation of solar systems, it is necessary to analyze the composition of the solar radiation incident on them by different positions of the sun and different weather conditions.

## Light measurements

For research on the composition of radiation incident on the solar panel is necessary to determine what part of irradiation of solar panel is the result of direct radiation and what part of irradiation is the result of indirect radiation. Because solar panels are working primarily in the area of visible light, it is possible instead of using radiometric quantities (e.g. irradiation) to work with photometric quantities (e.g. illuminance).

Assuming that solar panel is mostly flat area, it could be substituted by planar luxmeter cell with cosine receiving characteristic. Calculation of illuminance of the flat area is shown in equation (1).

$$(1) \quad E_{P\rho} = \int_0^{4\pi} \cos \beta \cdot L_{v\xi} \cdot d\Omega_{v\xi}$$

where:  $E_{P\rho}$  – illuminance of the plane  $\rho$  at the point  $P$ ,  $\beta$  – angle between the normal of the plane  $\rho$  and the direction of incident radiation,  $L_{v\xi}$  – luminance from the direction defined by angles  $v$  and  $\xi$  (see fig. 2),  $\Omega_{v\xi}$  – solid angle.

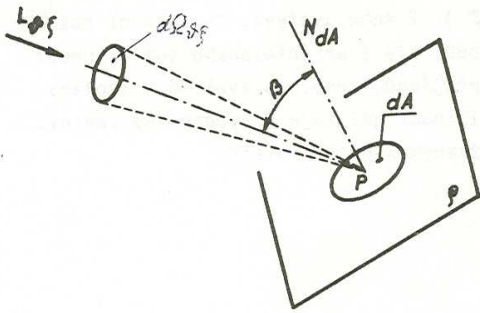


Fig.2. Illuminance of the plane calculation [2]

The solid angle determines directions of incoming light. It could be divided to solid angle  $\Omega_i$  from which come indirect light and solid angle  $\Omega_d$  from which come direct light. Analogically the indirect  $E_i$  and direct  $E_d$  part of illuminance of the plane could be measured by delimiting the according solid angle.

There are several significant values of illuminance in photovoltaics:

- a) Illuminance of the horizontal plane  $E_h$   
 $E_h$  represents total illuminance of Earth surface at defined time (see fig. 3)

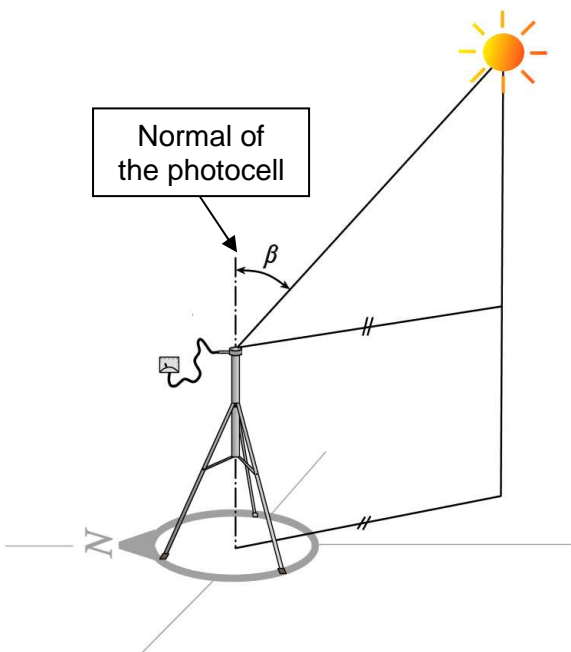


Fig.3. Illuminance  $E_h$  of the horizontal plane

- b) Illuminance  $E_s$  of the plane whose normal inclines to averaged maximum of solar radiation intensity (in Czech Rep. generally to the south with declination  $45^\circ$  above horizon) – it represents the plane of fixed placed solar systems (see fig. 4)

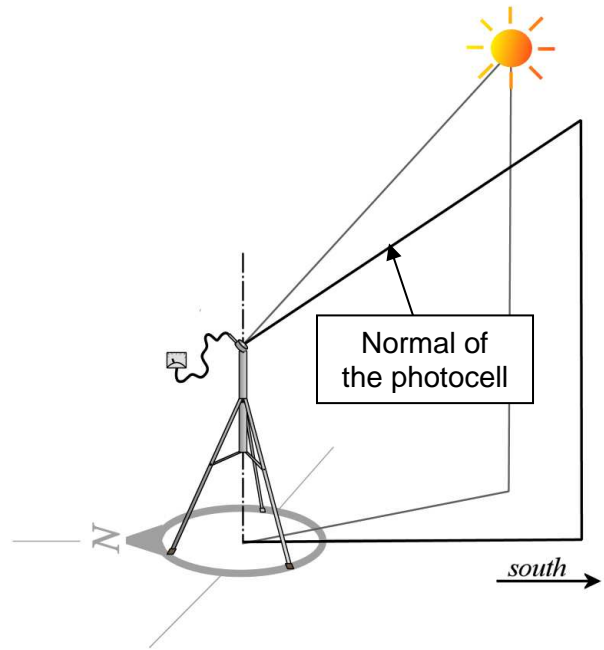


Fig.4. Illuminance  $E_s$  of the plane inclined to south

- c) Illuminance  $E_N$  of the plane whose normal inclines to the sun (see fig. 5)

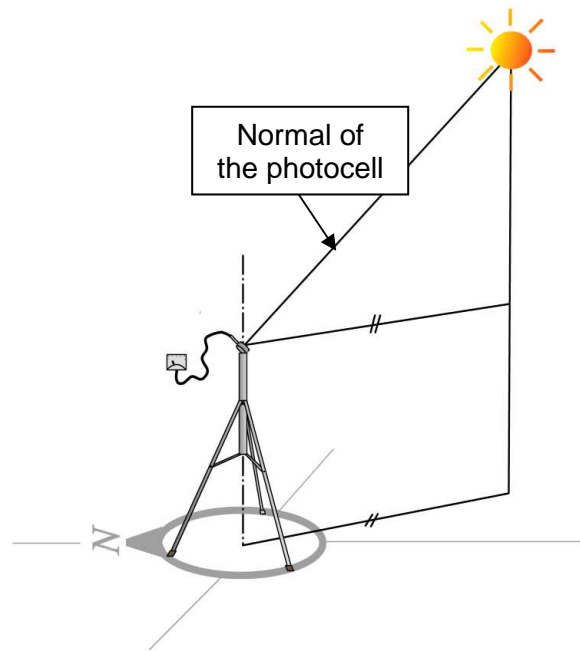


Fig.5. Illuminance  $E_N$  of the plane inclined to the sun

When measuring the illuminance  $E_N$  of the plane inclined to the sun a shield can be used to shade the sun or a shading tube to eliminate indirect light. With a shield indirect illuminance  $E_{Ni}$  is measured and with a shading tube direct illuminance  $E_{Nd}$  is measured (see fig. 6).

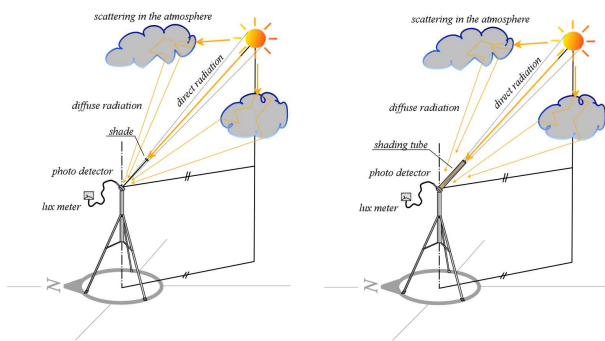


Fig.6. Indirect  $E_{Ni}$  (on the left) and direct  $E_{Nd}$  (on the right) part of illuminance of the plane inclined to the sun

### Measurements sample

A few measurements of significant values of illuminance (see above) have been done as a part of this research. The summary of measurements is shown in table 1.

Table 1. Sample measurements of illuminance of photocell

Date	25. 7. 2011	25. 7. 2011	25. 7. 2011
Time	9:33	11:45	13:09
Weather	Cloudless	Partly cloudy	Partly cloudy
$E_h$ (klx)	67.2	101.4	90.9
$E_N$ (klx)	91.5	131.7	106.2
$E_{Nd}$ (klx)	77.6	87.3	62.3
$E_{Ni}$ (klx)	13.9	44.3	43.9
$E_S$ (klx)	44.6	113.7	100.8

Measured values confirm some significant knowledge:

- Within cloudless weather, horizontal illuminance  $E_h$  is higher than illuminance  $E_S$  of the plane inclined to south while the sun reaches low ascensions (early morning, late evening); fixed solar systems inclined to the south are limited at these times
- Illuminance  $E_N$  of the plane inclined to the sun is always the highest

- Direct illuminance  $E_{Nd}$  ranks the main portion of the illuminance  $E_N$  of the plane inclined to the sun until cloudy weather

### Summary

Fixed solar systems inclined to the south cannot always use maximum of solar radiation. If ascension of the sun is low (early morning, late evening), illuminance  $E_N$  of the plane inclined to sun is higher than illuminance  $E_S$  of the plane inclined to south. Advanced solar systems with swiveling to the sun could use more solar energy within cloudless weather than fixed solar systems. In some weather conditions horizontal illuminance  $E_h$  could be higher than illuminance  $E_S$  of the plane inclined to south.

Further research will be set to project a device to measure above suggested significant values of illuminance to do particular analysis of radiation incident on solar systems.

### REFERENCES

- [1] Cihelka, J.: Solární tepelná technika, Nakladatelství T.Malina, (1994), Praha, Czech republic
- [2] Habel, J. a kol.: Světelná technika a osvětlování, FCC Public, (1995), Praha, Czech republic

*Acknowledgments: The research is supported by grant no. SGS11/121/OHK3/2T/13 offered by Czech Technical University in Prague, Faculty of Electrical Engineering.*

**Authors:** Ing. Marek Bálský, Ing. Rudolf Bayer, Czech Technical University in Prague, Faculty of Electrical Engineering, Technická 2, Praha 6, Czech Republic, e-mail: [balskmar@fel.cvut.cz](mailto:balskmar@fel.cvut.cz), [bayerrud@fel.cvut.cz](mailto:bayerrud@fel.cvut.cz)



# The influence of measured spectral band-pass width on calculation of colorimetric parameters of color objects

**Abstract.** Tristimulus values XYZ are fundamental to colorimetry and are used in the industry for such things as color specification, color matching and shade sorting. The CIE proposes methods on how XYZ are to be calculated. In this article methods for computing optimum weighing tables for any illuminant and observer combination are compared. A comprehensive set of 1-nm reflectance functions based on BCRA CCSII ceramic tile set was used for evaluation calculated colorimetric parameters. We have investigated the colorimetric differences caused by using the different methods for computing optimum weighing tables are important in case of fluorescent light sources. As further result we found that by using 1nm tables is possible to obtain high precision of tristimulus values calculation based on cubic spline interpolation of 10 nm reflectance data.

**Keywords:** colorimetry, tristimulus values, color matching functions.

## Introduction

The CIE (Committee Internationale de l'Eclairage) in 1931 adopted the color matching experiment with the three monochromatic beams resulting in the three matching functions denoted as  $\bar{x}_\lambda, \bar{y}_\lambda, \bar{z}_\lambda$ . By using the color matching functions, light stimuli having any spectral power distribution can be specified for color by three values:

$$(1) \quad \begin{aligned} X &= k \int_{360}^{780} \Phi_\lambda \bar{x}_\lambda d\lambda \\ Y &= k \int_{360}^{780} \Phi_\lambda \bar{y}_\lambda d\lambda \\ Z &= k \int_{360}^{780} \Phi_\lambda \bar{z}_\lambda d\lambda \end{aligned}$$

Where  $\Phi_\lambda$  is the spectral distribution of light stimulus and  $k$  is a normalizing constant. These integrated values are called *Tristimulus values*. For light sources and displays,  $\Phi_\lambda$  is given in quantities such as spectral irradiance and spectral radiance. If  $\Phi_\lambda$  is given in an absolute unit and  $k=683 \text{ lm/W}$  is chosen,  $Y$  yields an absolute photometric quantity such as illuminance or luminance.

For object colors,  $\Phi_\lambda$  is given by

$$(2) \quad \Phi_\lambda = E_\lambda \cdot \beta_\lambda$$

Where  $\beta_\lambda$  is the spectral reflectance or radiance factor of the object,  $E_\lambda$  is the (relative) spectral irradiance of the illumination, and a normalizing constant is computed based on following equation:

$$(3) \quad k = 100 / \int_{360}^{780} E_\lambda \bar{y}_\lambda d\lambda$$

Even through the CIE defined the tristimulus values  $XYZ$  as integrals of the continuous functions  $\Phi_\lambda, \bar{x}_\lambda, \bar{y}_\lambda$  and  $\bar{z}_\lambda$ , analytical expressions for most of these functions are not available. In 1983, CIE technical committee TC-1.3 Colorimetry recommended that the definition of the CIE tristimulus values should be based on numerical rather than analytical integration and that the integration should be carried out by numerical summation at wavelength intervals  $\Delta\lambda=1 \text{ nm}$ .

$$(4) \quad \begin{aligned} X &= k \sum_{360}^{780} \Phi_\lambda \bar{x}_\lambda \Delta\lambda \\ Y &= k \sum_{360}^{780} \Phi_\lambda \bar{y}_\lambda \Delta\lambda \\ Z &= k \sum_{360}^{780} \Phi_\lambda \bar{z}_\lambda \Delta\lambda \end{aligned}$$

Numerical estimation of colorimetric integrals is an important problem and appears in many applications. Hence calculating tristimulus values using Eq. (4) is straightforward provided that the reflectance values at 1-nm intervals are known over the full range of wavelengths.

However, they are rarely available in practice, since reflectance values are typically measured by a spectrophotometer at an interval much larger than 1 nm such as  $\Delta\lambda=10$ , or even 20 nm, and often over a smaller wavelength range than 360 to 830 nm.

The CIE has never provided precise guidelines as to how tristimulus values should be calculated in these cases, and various discrepant methods have been used. Hence it is possible to obtain significantly different tristimulus values from the same set of spectral data. The differences are normally quite small, but can be important and introduce errors that are completely avoidable.

A typical reflectance spectrophotometer measuring at 10-nm intervals uses a bandwidth of about 10 nm rather than monochromatic light. Thus if  $\beta_\lambda$  has a maximum value at a particular wavelength, the measured value will be some sort of average of this maximum value and the lower values from neighboring wavelengths. The measured value will be lower than the true value, and the same is true for any part of the reflectance curve that is convex in shape. The reverse applies for parts of the curve that are concave. The error is known as the band pass error [1].

## Methods for Correcting Band pass Error

*The Stearns and Stearns' Method.* This method can be used for light sources as well as for object color [2]. This method, referred to as the S-S method, was developed as an analytical solution of the relationship between the true spectral values and the neighboring points of measured values, with the spectral distribution within the instrument band pass modeled as quadratic with wavelength.

General expression of S-S method is written in Eq. (5):

$$(5) R_{s,0} = c_{-1} \cdot R_{m,-1} + c_0 \cdot R_m + c_{+1} \cdot R_{m,+1}$$

where  $R_s$  is true spectral radiance,  $R_m$  is measured spectral radiance and  $c_i$  are corrections coefficients. Values of this coefficients are:

$$(6) \begin{aligned} c_0 &= 1.2 \\ c_{-1} &= -0.1 \\ c_{+1} &= -0.1 \end{aligned}$$

Thus Eq. (5) is known as "Stearns correction" and values in Eq. (6) became the "Stearns coefficients" [3].

*The Venable Method.* Venable showed that for a symmetrical triangular band pass with its half-peak bandwidth equal to the measurement interval (this is thought to represent the most common situation encountered in practice) – Fig. 1, the corrected value  $R_s$  is given by following "Venable coefficients" [4]:

$$(7) \begin{aligned} c_0 &= 1.166 \\ c_{-1} &= -0.083 \\ c_{+1} &= -0.083 \end{aligned}$$

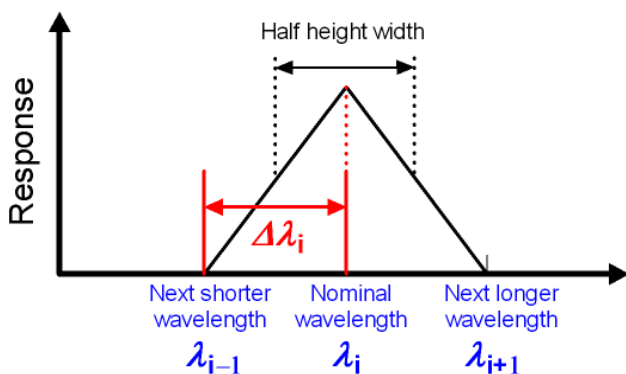


Fig.1. Symmetrical triangular band pass

Fairman [5] found that the Venable correction out-performs the Stearns correction for continuous illuminants at 10 nm intervals (A, C, D50, D55, D65 and D75), but that the opposite is true for fluorescent illuminants at 10 nm (F2, F7 and F11). He also found that the Venable correction outperforms the Stearns correction at 20-nm intervals for all the illuminants tested. Therefore, a mixed strategy was proposed, i.e., the Venable weighing tables were recommended for 20-nm interval data for all illuminants, while for 10-nm interval data the Venable weighing tables were recommended for continuous illuminants and the Stearns tables for fluorescent illuminants [1]. Deep description of mentioned and other methods for correcting band pass error is discussed in article [6].

### Materials and methods

For comparison of different method of weighting factors calculations accuracy BCRA CCSII ceramic tiles were used, at standard conditions 22°C and 60% of relative humidity. Spectral reflectance factors were measured by using of two reflectance spectrophotometers:

- Datacolor International DC3890 – measured band pass 20 nm, wavelength range than 400 to 700 nm

- Datacolor International SF600 – measured bandpass 10 nm, wavelength range than 400 to 700 nm
- Shimadzu UV 3101 PC – measured bandpass 1 nm, wavelength range than 360 to 830 nm.

For a sample under a particular illuminant and observer, three sets of tristimulus values were obtained by using the 1-nm, 10-nm, and 20-nm weighting tables. In case of 10 nm band pass where two methods of weighting tables calculation compared. The example of weighting functions calculated for illuminant A and F11 and trichromatic function  $\bar{y}_\lambda$  at 10 nm band pass shows Fig. 2 and Fig. 3:

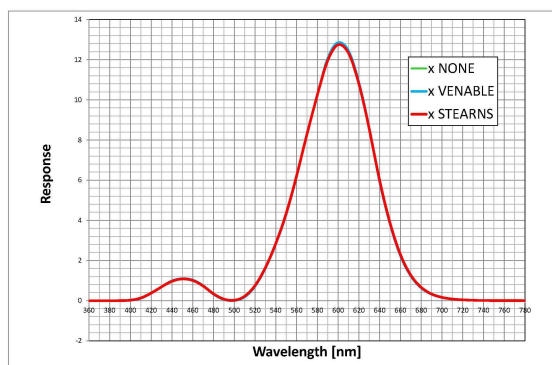


Fig.2. Weighting functions  $y$  for F11 illuminant at bandpass 10nm

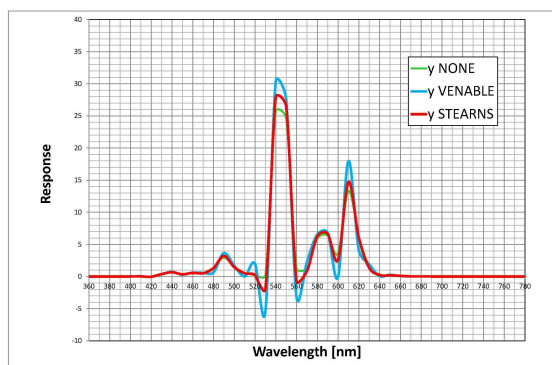


Fig.3. Weighting functions  $y$  for F11 illuminant at bandpass 10nm

### Results

Our calculations confirm Fairman investigations and show that main problem in computing correct trichromatic values of measured samples are focused on fluorescent illuminants. Fig. 3 shows that fluorescent illuminants needs for better performance more over weighted character in comparison to continuous illuminants as for example illuminant A, which is shown on Fig.2.

The CIE color coordinates  $x, y$  are shown in Fig.4 where is visible great difference between corrected and uncorrected data in case of perfect reflecting diffuser. Color difference between Stearns and Venable method for perfect reflecting diffuser is only 0.005698 units in CIELAB color space. Nevertheless it is necessary to understand, that both methods were optimized for perfect reflecting diffuser (ideal white). If we will compute color difference between both methods for different color samples we will see that this value it is not constant, but color dependent.

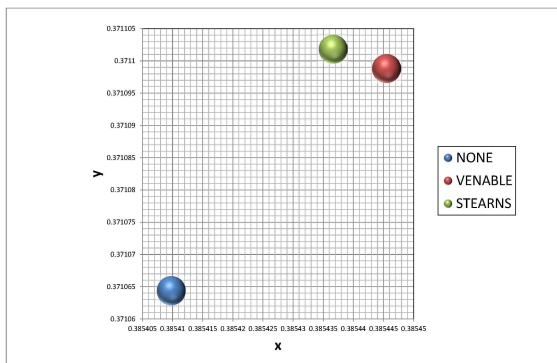


Fig.4. Colorimetric data of perfect white diffuse in CIE x,y diagram obtained based on different method of tristimulus values calculation under F11 illuminant – band pass 10 nm

In Tab. 1 are shown CIE color coordinates for 12 BCRA CCS II ceramic tiles, where is visible that error of computed data increase with color purity and brightness of measured samples.

Table 1. The CIE tristimulus values XYZ of 12 BCRA ceramic tiles under illuminant F11 at 10 nm band pass

Tile	Venable			Stearns-Stearns			dE
	X	Y	Z	X	Y	Z	
Black	4.46	4.32	2.94	4.46	4.32	2.94	0.041
White	92.85	89.54	57.53	92.87	89.55	57.63	0.112
PaleGrey	64.34	62.08	40.45	64.36	62.08	40.52	0.104
MidGrey	29.65	28.61	18.60	29.66	28.61	18.63	0.081
DeepGrey	8.97	8.69	5.62	8.97	8.69	5.63	0.057
Pink	20.34	15.82	9.47	20.37	15.85	9.50	0.063
Red	24.45	16.50	5.23	24.51	16.54	5.24	0.072
Orange	53.89	37.92	6.45	54.02	38.05	6.46	0.170
Yellow	69.62	66.85	6.98	69.63	66.82	6.91	0.294
Green	19.30	23.34	10.47	19.28	23.30	10.43	0.107
Cyan	18.82	20.86	28.25	18.81	20.86	28.31	0.114
Blue	5.85	5.23	7.27	5.86	5.23	7.30	0.128

## Discussion

Following this knowledge we try to compare other possible solution, which allows precise calculation of trichromatic values based on interpolation of 10nm band pass data of color object. It is well known that spectral shape of reflectance factor of colored object has continuous and relatively smooth character. Therefore for precise calculation is possible to use interpolation methods. Long debates were conducted in CIE technical committees how to interpolate reflectance spectra measured at wavelength intervals larger than 1 nm to the required 1nm interval data. Linear, Lagrange and cubic spline interpolation methods were under discussion, but to our best knowledge only theoretical discussions were conducted, without checking how large the difference is if the three methods are compared.

In early days of CIE colorimetry linear interpolation was the general practice, later the Lagrange (polynomial) and cubic spline interpolation methods became favored [7].

On Fig.5 are shown results for different interpolation methods on selected part reflectance spectrum of BCRA CCS II Green ceramic tile. Following this comparison is possible to recommend simple cubic spline interpolation, which allows obtaining precise colorimetric data for present day standard reflectance spectrophotometers with 10nm band pass.

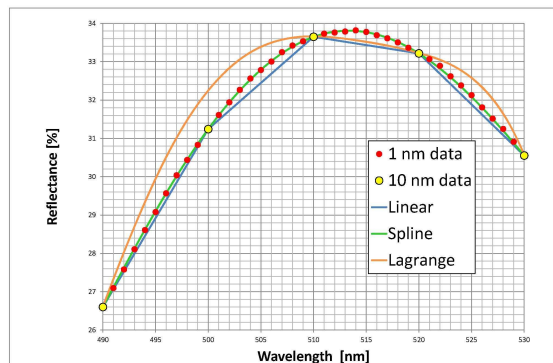


Fig.5. Spectral reflectance curve of BCRA CCS II Green ceramic tile, original sampled at every full nanometer, and 10 nm sampled spectrum interpolated to 1 nm using linear, Lagrange and cubic spline interpolation method

## Conclusion

In this article were presented results of different methods of tristimulus values calculation, colorimetric parameters. Our experiments have proven the correctness of the statement formulated in the newest CIE recommendation on colorimetry [8] that “for smoothly varying functions, for most practical purposes a bandwidth and measurement interval of 5 nm may be used. The use of bandwidths of 10 nm, or 20 nm is not recommended; it can lead to considerable loss of accuracy, and if applied, should be checked on typical spectra.”

Most of present spectrophotometers allow using real measured band pass bellow 3nm, nevertheless measured data are recomputed to 10nm interval. Based on our investigations it is possible to recommend replacement of present day software by new one, which will use for computing of colorimetric parameters narrower band pass. In other cases is possible to use cubic spline interpolation of 10nm data set as alternative method.

## REFERENCES

- [1] Li, C.J., Luo, M.R., Rigg, B: A New Method for Computing Optimum Weights for Calculating CIE Tristimulus, *Color Res Appl.* 29 (2004), No. 2, 91-103
- [2] Stearns, E.I., Stearns, R.E.: An example of a method for correcting radiance data for bandpass error, *Color Res Appl.* 13 (1988), No. 3, 257-259.
- [3] Oleari, C.: Spectral reflectance factor deconvolution and colorimetric calculations by local power expansion, *Color Res Appl* 25 (2000); No. 3, 176-185.
- [4] Venable, W.H. Accurate tristimulus values from spectral data, *Color Res Appl* 14 (1989);No. 3, 260-267.
- [5] Fairman, H. S.: Results of the ASTM field test of tristimulus weighing functions, *Color Res Appl* 20(1995); No.1, 44-49.
- [6] Fairman, H. S.: An Improved Method for Correcting Radiance Data for Bandpass Error, *Color Res Appl* 35(2010); No.5, 328-333.
- [7] Sándor, N., Ondró, T., Schanda, J.: Spectral interpolation errors, *Color Res Appl* 30(2005); No.5, 348-353.
- [8] CIE Publ. 15:2004

**Authors:** doc. ing. Michal Vik, PhD. and ing. Martina Víková, PhD.,  
Technická univerzita v Liberci, Fakulta textilní, Studentská 2,  
CZ461 17, Liberec, Czech Republic,  
e-mails: [michal.vik@tul.cz](mailto:michal.vik@tul.cz) and [martina.vikova@tul.cz](mailto:martina.vikova@tul.cz)

## Summary of present knowledge about mesopic vision

**Abstract.** This paper is an introduction to the theory of mesopic vision, from physiological specifics of the vision apparatus, to final calculations of the technical lighting quantities in mesopic adaptation conditions. Practical uses of mesopic photometry with actual examples using new LED light sources are discussed.

**Keywords:** mesopic vision, mesopic photometry

### Introduction

Mesopic vision is typically a function of both of the photosensitive sensors in eye, those being rods and cones. The ranges of sensitivity of mesopic adaptations can be described by real-life situations like night time driving, emergency lighting, lighting security and crime-prevention purposes etc. The range of mesopic adaptations is from  $0,001 \text{ c/m}^2$  to  $10 \text{ c/m}^2$ , although this definition could be easily disputed.

### System for mesopic photometry

It is not possible to define the ranges of mesopic vision precisely, because different research teams use different ranges. Because of their need to be able to use different starting conditions, different teams defined these conditions differently.

To define those can be itself a daunting task. A typical result is a compromise between two different approaches to the given problem, which lies in actual lighting conditions. The design of visual performance based systems for mesopic photometry which are able to describe the behavior and response of the human eye in the conditions of mesopic visions with sufficient accuracy depends precisely on the starting conditions.

As an example we can discuss the parameter of the size of the field of vision. If the observed object is in the axis of view and doesn't take an angle larger than  $1^\circ$ , the light information stimulates fovea, the central part of the retina containing cones only. This means the rods, much more sensitive to light, will get no light information due to their position. The decision to make then is between assuming worse conditions when the observed object is in axis, or should the off-axis view be included too? That would mean a disadvantage for the computational model in situations (axis view only) more difficult for the eye, meaning a bigger likelihood of the model giving the wrong result. This problem is discussed and a solution is offered in relevant spectral sensitivity function of the eye (Boyce, 2003).

Another parameter of the design of the starting conditions is the measuring system itself. Is measuring done by comparing of illuminations levels of the target, or is it by recognition time or by recognition threshold?

All of these questions and many more were discussed and solved during the development of mesopic systems. The technical report from CIE Recommended system for mesopic photometry based on visual performance 191:2010 introduces 4 mesopic systems (USP, MOVE, MES1, MES2) and gives out recommendations for MES2 Intermediate-system for calculating mesopic luminance levels.

Important part of calculating mesopic values by mesopic system is *P/S ratio*. *S/P ratio* is definite ratio of scotopic to photopic luminous output from the light source. If are values

of *S/P ratio* of light source are bigger than 1, then this light source is produced more luminous output in range of short wavelength of radiance. If values of *S/P ratio* are smaller than 1, this light source is produces more luminous output in range of long wavelength of radiance.

### Example of use MES2 intermediate-system

We discuss an example of use of the MES2 system and a comparison of computed photopic and mesopic values in real life situations.

As an example we can use a road traffic lighting accomplished by high pressure sodium (HPS) lamps whose *S/P ratio* is 0.68. The average road surface luminance measured by a device whose sensor is calibrated for measurements in photopic conditions is  $0,222 \text{ c/m}^2$ . This would be the luminance observed by cones only, but in mesopic vision conditions the rods are at play as well. The MES2 system allows us to compute the cooperation of both photoreceptors and find out that the subjective observed luminance is  $0,197 \text{ c/m}^2$ . The lighting conditions are thus worse than measured by the device. If the average road surface luminance value was still  $0,222 \text{ c/m}^2$  and LED light sources were used, using the MES2 system our resulting subjective observed value is  $0,244 \text{ c/m}^2$ .

Slightly more interesting is the use of MES2 for illuminance computations. For a road classified as S4 in alternative and additional lighting classes the required horizontal illuminance averaged over a road area is 5 lx.

Let us assume this requirement is meant for 5 lx subjective value observed in mesopic vision. What is the required photopic illuminance value measurable by a measuring device equipped by a chip again calibrated for the photopic curve? The answer is in table 1.

Table 1. The parameters of the sensor

Photopic illumination [lx]	Photopic computed illumination [lx]		
	HPS	LED	Induction lamp
5	5,78	4,35	4,11

The table shows that to get a mesopic impression of 5 lx, using HPS one must get a photopic value of 5,78 lx, whereas using a LED source only 4,35 lx satisfies.

This should be very interesting topic for discuss about energy savings and for design roads which are in lighting classes were horizontal illuminance averaged over a road is specified bellow 2 lx were percentage difference between sources HPS and LED are bigger.

### Mesopic photometry

A solution to the problem of mesopic photometry could be modern spectrophotometers, which besides the spectrum can record the value of luminance and

illuminance (in photopic values of course) as well. After evaluating the spectral data and identifying the *S/P ratio* we can relatively easily compute the percentage change of measured photopic quantities using charts for a given mesopic system, and so get the mesopic value for given quantity.

The future of mesopic photometry thus probably isn't in mesopic filters complementing existing devices, but in programmable devices capable of processing the measured spectrum and subsequently using defined parameters evaluating the photopic quantities as mesopic instead.

## Conclusions

Could these new methods lead to savings in public lighting? Will they increase the comfort of drivers and other users in lighting situations modified according to the computations based on MES2? And what photometry will be used to measure mesopic lighting quantities? The space for solving these questions is wide open today and CIE itself encourages the wide public to participate actively in this research.

## REFERENCES

- [1] CIE AND MESOPIC PHOTOMETRY; WWW: <<http://www.cie.co.at/index.php/LEFTMENU/About+us/CIE+Newsletter/Artikel+1+Oktober>>.
- [2] CIE 191-2010 Recommended system for mesopic photometry based on visual performance., 2010. 73 p. ISBN 9783901906886.
- [3] ČSN EN 13201-2. *Osvětlení pozemních komunikací – Část 2: Výkonnostní požadavky*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2004. 17 s.

---

**Authors:** Ing. Jan Zálešák., České vysoké učení technické v Praze, Technická 2, 166 27 Praha 6, Czech Republic, e-mail: [hzalesak&@post.cz](mailto:hzalesak&@post.cz)

## The modern way to use Daniljuk method

**Keywords:** daylight factor, graphical Daniljuk method,

### Introduction

Daylight as any physical phenomenon subject to the laws of physics (especially to laws of photometry) and each method of determining the quantity and quality of daylight must respect those laws. In this case all known methods of calculating are equivalent and may differ only in the work difficulty and accuracy of the calculation procedure and in the conclusiveness of the results. Graphical methods, which include the Daniljuk method, are relatively laborious, their accuracy is adequate for needs of practice, but they excel in their conclusiveness due to the possibility of easy control of the calculation procedure and of the outcomes.

Daniljuk method is used to determine the values of daylight factor. The method was developed in the first half of the last century in Russia. It uses graphic tools – Daniljuk diagrams – see Figure 1. The diagrams must be laboriously wedge under construction drawing to obtain the values necessary for calculation. But the work can be simplified.

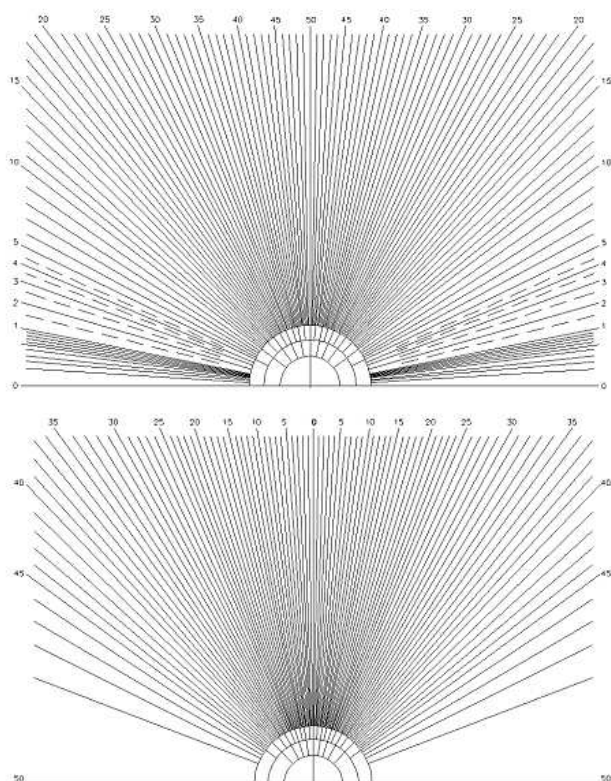


Fig.1. Daniljuk diagrams

### Substitution of the diagrams

The diagrams divide the sky hemisphere with two systems of planes. Diagram for the section is based on the beam of intersection lying in the illuminated plane parallel to a window. Floor plan circles on the hemisphere are ellipses. Diagram for the ground plan is based on the mutually parallel vertical planes perpendicular to the

window. Floor plan circles on the hemisphere are lines that define the surface of circular sections. Everything is arranged so that the floor space between two adjacent circles is always 1/100 of area circular base hemisphere – see Figure 2.

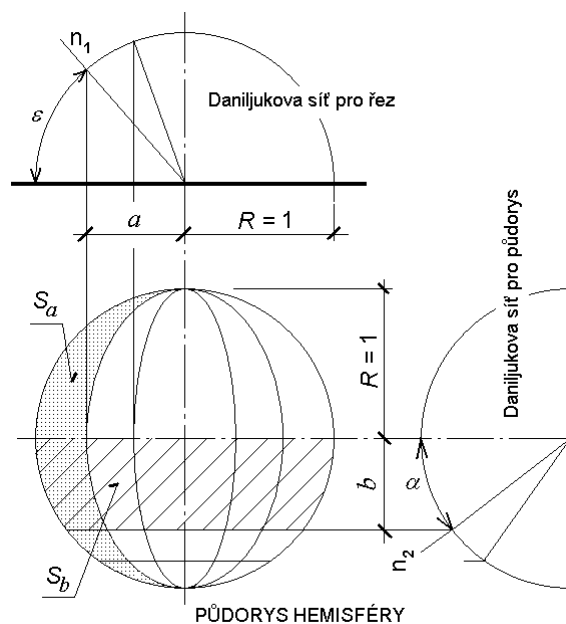


Fig.2. Hemisphere of unit radius  $R = 1$

On the Figure 2 is a hemisphere of unit radius  $R = 1$ . Area of the hemisphere base equals  $\pi$ . Area  $S_a$  ( $m^2$ ) is related to the elevation angle  $\varepsilon$  (radians) and is indicated by the grey surface. This area can be determined as the half of the difference in surface area of the circle and the ellipse with the minor semi-axis  $a = \cos \varepsilon$ .

$$(1) \quad S_a = \frac{1}{2} \pi (1 - \cos \varepsilon)$$

The relationship between elevation angle and the number  $n_1$  a part of diagram for section comes from the proportionality of the areas  $n_1/100 = S_a/\pi$

$$(2) \quad n_1 = 50(1 - \cos \varepsilon)$$

Area  $S_b$  ( $m^2$ ) of the circular band marked by hatching is associated with azimuth  $\alpha$  in the diagram for a ground floor.

$$(3) \quad S_b = \frac{1}{2} (2\alpha + \sin 2\alpha)$$

The relationship between the azimuth deflection  $\alpha$  from the perpendicular to the window and the number  $n_2$  of diagram for a ground plan follows from the proportionality of the areas  $n_2/100 = S_b/\pi$

$$(4) \quad n_2 = \frac{50}{\pi} (2\alpha + \sin 2\alpha)$$

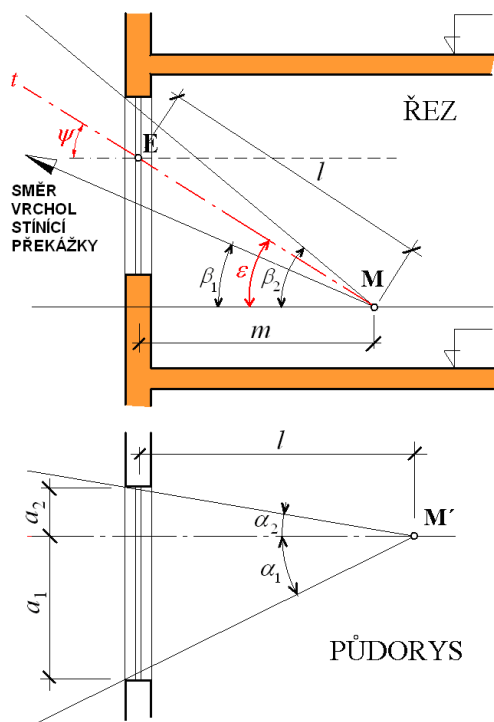


Fig.3. Vertical section and ground floor of a room with a window

#### Calculation procedure

Daniljuk method can be modified so that it is sufficient enough to measure of two angles ( $\beta_1$  and  $\beta_2$ ) and three distance  $m$  (m),  $a_1$  (m) and  $a_2$  (m) – see Figure 3. Angles  $\beta_1$  and  $\beta_2$  are defined by the horizontal line and are connected to the top of shading obstacle ( $\beta_1$ ) respectively to the lintel of the window ( $\beta_2$ ). Number  $n_1$  is determined as

$$(5) \quad n_1 = 50(\cos \beta_1 - \cos \beta_2)$$

Cosine of the angle  $\epsilon$  is determined as

$$(6) \quad \cos \epsilon = \frac{1}{2}(\cos \beta_1 + \cos \beta_2)$$

The value of  $\cos \epsilon$  is applied to the relations (12) and (13). Distance  $l$  (m) is determined as

$$(7) \quad l = \frac{m}{\cos \epsilon}$$

where  $m$  (m) is the distance from the point to the center of thickness of a window wall. Angles  $\alpha_1$  and  $\alpha_2$  are determined as

$$(8) \quad \alpha_i = \arctan \frac{a_i}{l} \quad i = 1, 2$$

Number  $n_2$  is determined as

$$(9) \quad n_{2i} = \frac{50}{\pi} (2\alpha_i + \sin 2\alpha_i) \quad i = 1, 2$$

$$(10) \quad n_2 = n_{21} + n_{22}$$

The value of the sky component of daylight factor is determined by the formula

$$(11) \quad D_s = \frac{n_1 \cdot n_2}{100} \cdot q \cdot \tau_{0\psi}$$

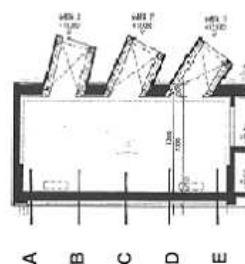
The value of the correction for the sky radiance  $q$  (-) is obtained by substituting the  $\cos \epsilon$  to the formula

$$(12) \quad q = \frac{3}{7} \left( 1 + 2\sqrt{1 - \cos^2 \epsilon} \right)$$

The value of  $\cos \epsilon$  shall also be applied to determine the direction light transmission

$$(13) \quad \tau_\psi = \frac{\cos \epsilon}{2} (3 - \cos^2 \epsilon)$$

Except measuring two angles and three distances the calculation can be made in the program Excel.



	A	B	C	D	E	
8	2,99	2,99	4,01	3,33	1,66	0,00
7	3,96	3,96	5,29	4,40	2,22	0,00
6	4,56	4,56	6,09	5,07	2,55	0,00
5	4,82	4,82	6,45	5,36	2,69	0,00
4	4,82	4,82	6,45	5,36	2,69	0,00
3	4,56	4,56	6,09	5,07	2,55	0,00
2	3,96	3,96	5,29	4,40	2,22	0,00
1	2,99	4,01	3,33	1,66	0,00	0,00
	A	B	C	D	E	

Fig.4. The calculated values of sky component daylight factor on the floor of gym

#### An example of using the method

The method may be used to verify the results of automatic calculations or to calculate atypical arrangement of daylight, when the commercially available software can be difficult to use. Such case is the calculation of daylight of the gym with skylights. The Figure 5 shows a section of the gym, which has length of 30 m and skylights. The load bearing system is integrated in the skylights and it is also 30 m long. Figure 4 shows the calculated sky components of daylight factor on the gym floor.

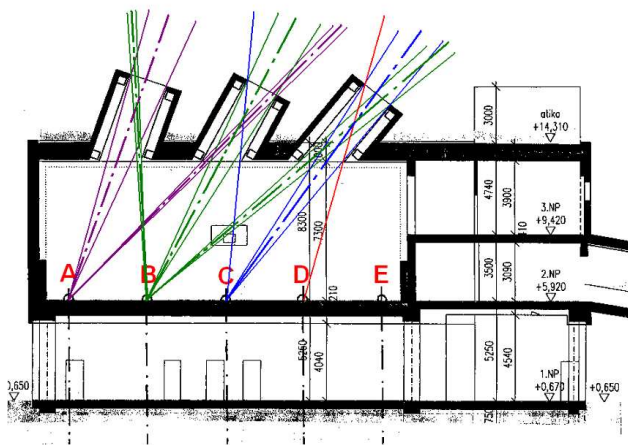


Fig.5. Section of the gym

#### REFERENCES

- [ 1 ] ČSN 730580-1 Denní osvětlení budov – základní požadavky
- [ 2 ] Kaňka, J: Stanovení činitele denní osvětlenosti roviny okna Daniljukovou metodou, SVĚTLO 2001, č.3, s. 5-6
- [ 3 ] Kaňka, J: Zvuk a denní světlo v architektuře, ČVUT 2003
- [ 4 ] Kittler, R. Kittlerová, L: Návrh a hodnotenie denného osvetlenia, ALFA Bratislava 1975

**Authors:** doc. Ing. Jan Kaňka.Ph.D., stavební fakulta ČVUT v Praze, Thákurova 7, Praha 6, Czech Republic  
 e-mail: [ooakanka@centrum.cz](mailto:ooakanka@centrum.cz)



## Závislosť svetelného toku zdrojov od teploty

**Abstrakt.** Závislosť svetelného toku kompaktných žiaroviek od teploty je všeobecne známa a bola publikovaná v mnohých príspevkoch. Ako je to však s inými svetelnými zdrojmi a najmä s tými, ktoré sa používajú v exteriéroch, je už známe menej. Sú napríklad indukčné výbojky, sodíkové výbojky alebo LED teplotne závislé? Zmení sa ich nominálny svetelný tok, ak budú použité v inštaláciách s okolitou teplotou desiatky stupňov Celzia pod nulou? A je to potrebné pri návrhu osvetlenia zohľadniť? Príspevok prezentuje výsledky merania svetelného toku vybraných svetelných zdrojov v závislosti od teploty a snaží sa dať odpoveď na otázky, ako túto teplotnú závislosť pri návrhu osvetlenia zohľadniť.

**Kľúčové slová:** svetelný zdroj, teplota okolia, meranie

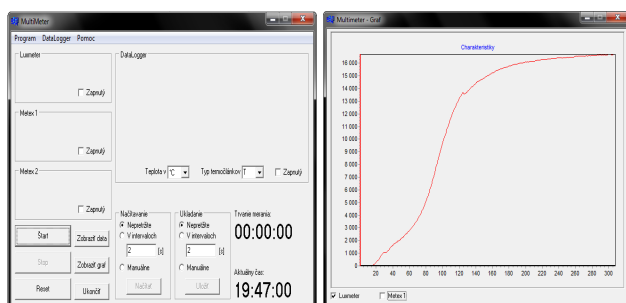
### Úvod

Široká škála svetelných zdrojov nás núti poznať detailne ich svetelnotechnické parametre. Parametre určujú oblasť použitia a nasadenie svetelných zdrojov do praxe. V katalógoch nájdeme základné vlastnosti svetelných zdrojov a stavy zdrojov v závislosti od rôznych veličín uvádzané v grafoch a tabuľkách. Článok je zameraný na meranie teplotnej závislosti svetelných zdrojov. Teplota okolia v mnohých prípadoch mení svetelný tok, pričom navrhnutá aplikácia je priamo závislá na množstve svetelného toku a zmenou teploty môže prísť k výkyvom parametrov. V príspevku ukážeme reálne merania vybraných zdrojov, ktoré sú aktuálne nasadzované do aplikácií, ako LED, indukčné a sodíkové výbojky. Bude uvedený aj príklad teplotnej závislosti svetelného zdroja inštalovaného v svietidle a uvedené predpoklady pre zohľadnenie pri návrhu osvetlenia.

### Meranie teplotnej závislosti svetelných zdrojov

V každom svetelnom zdroji prebieha termomechanický dej oteplenia, ktorý je možné počítať náhradnými schémami, či simulovať vo výpočtových programoch typu ANSYS apod. Reakcia svetelného zdroja, ako celku typu jeho komponentov na okolitú teplotu je zložitým procesom na výpočet, príp. simuláciu, preto je vhodnou voľbou experiment s rozptylom teplôt.

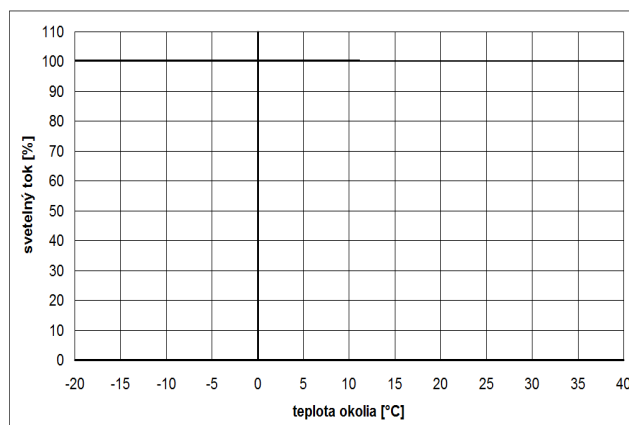
Vhodným indikátorom svetelných zdrojov na vplyv teploty je svetelný tok  $\Phi$  [lm]. Meranie sa uskutočnilo v klimatizovanej komore ILKA Feutron a na snímanie svetelného toku bol použitý luxmeter PRC Krochman Radiolux 111. Pre meranie bol vyvinutý merací softvér Multimeter, obr. 1, schopný spracovávať informácie z luxmetra, multimetra a dataloggera, keďže v súčasnosti nie je k dispozícii takto univerzálny softvér.



Obr. 1. Program Multimeter a grafický výstup programu [1]

Pre test bolo nutné zistiť teplotnú závislosť snímača luxmetra od okolitej teploty. Snímač bol umiestnený v klimatizovanej komore a bol osvetlený svetelným zdrojom, ktorý sa nachádzal mimo komory. Tým sa predišlo

k ovplyvneniu svetelného toku zdroja počas zistenia závislosti.



Obr. 2. Závislosť zobrazovanej hodnoty luxmetra od teploty prostredia sondy [1]

Z obr. 2 je vidieť, že senzor luxmetra je absolútne nezávislý na okolitej teplote v rozsahu -20 až 40 °C, čo predstavovalo interval uskutočnených meraní. Meraním sme vylúčili chybu spôsobenú okolitou teplotou na snímač.

### Kompaktná žiarivka

Kompaktné žiarivky sú v súčasnosti náhradou za žiarovky, ktoré boli v Európskej únii zakázané a ich príkon sa každoročne znižuje. Kompaktné žiarivky sú dnes najpoužívanejšími svetelnými zdrojmi v domácnostiach a obdobných aplikáciách. Na meranie bola zvolená 13W kompaktná žiarivka Tungsram F83 s externým predradníkom. Žiarivka bola meraná v dvoch polohách, päťou dole a päťou hore, nakoľko práve poloha žiarivky má pri nízkych teplotách výrazný vplyv na jej svetelný tok.

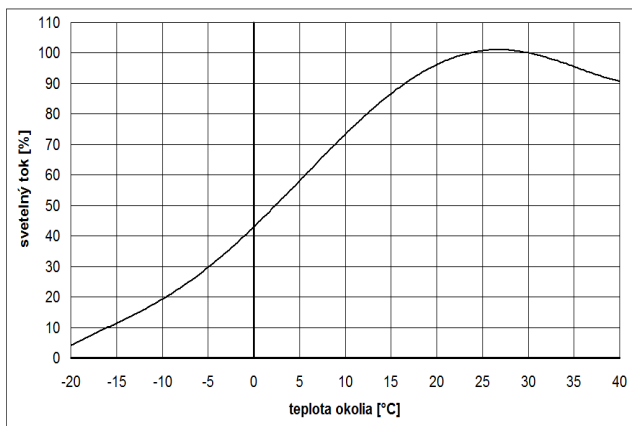
Pri meraní je dôležité nechať žiarivku pri štarte dosiahnuť plný svetelný tok, tak aby emitovaný svetelný tok bol stabilizovaný. Pri každej zmene teploty bol stanovený čas stabilizácie na 5 minút, aby sa svetelný zdroj prispôbil okolitej teplote.

Výsledky naznačujú, že strmosť rastu svetelného toku pri polohe päťou dolu je nižšia, obr.3 a pri teplote 0 °C je svetelný tok vyšší o 24 % ako pri opačnej polohe päťce. Stúpajúce teplo vznikajúce na elektródach ohrieva plynú náplň v banke, čo pri opačnej pozícii päťce je vznikajúce teplo odvedené do okolia, obr. 4.

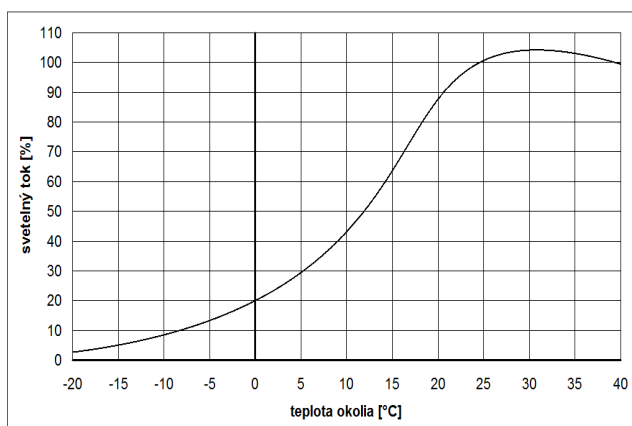
Merané závislosti indikujú, že meraná žiarivka neobsahuje amalgám india.

Pri teplote okolia 25 °C žiarivka nezávisle od polohy dosiahne 100 % svetelného toku, po prekročení 25 °C nastáva rozdiel v poklese svetelného toku. Pri polohe

päticou hore sa jeho hodnota nemení až po teplotu okolia 40 °C, naproti tomu pri polohe päticou dole nastáva pokles až o 10 %.



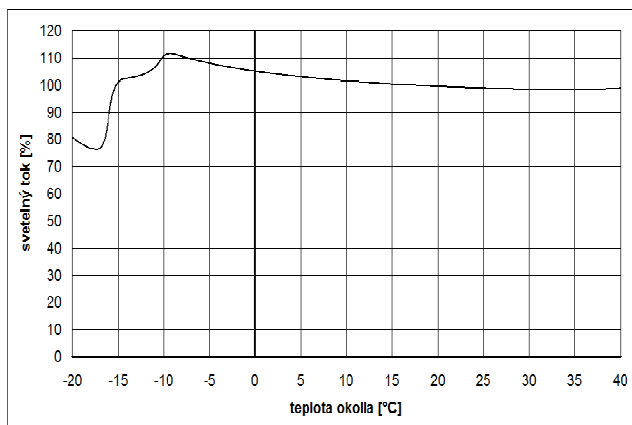
Obr. 3. Závislosť svetelného toku kompaktnéj žiarivky s päticou dole v závislosti od teploty prostredia [1]



Obr. 4. Závislosť svetelného toku kompaktnéj žiarivky s päticou hore v závislosti od teploty prostredia [1]

## LED

Trend posledných rokov v svetelnej technike LED, je všeobecne známy svojou charakteristikou v závislosti na okolitej teplote. Pre meranie bol zvolený LED svetelný zdroj s integrovanou predradnou elektronikou v päťici, označovaný ako retrofit. Po stabilizácii bola zmeraná teplotná závislosť, ktorá potvrdila známy fakt o LED technológii a to s klesajúcou teplotou okolia dochádza k rastu svetelného toku. Princiipiálne je možné povedať, že nízka okolitá teplota prispieva k ochladzovaniu P-N prechodu, a následne k zlepšeniu rekombinácie nosičov.



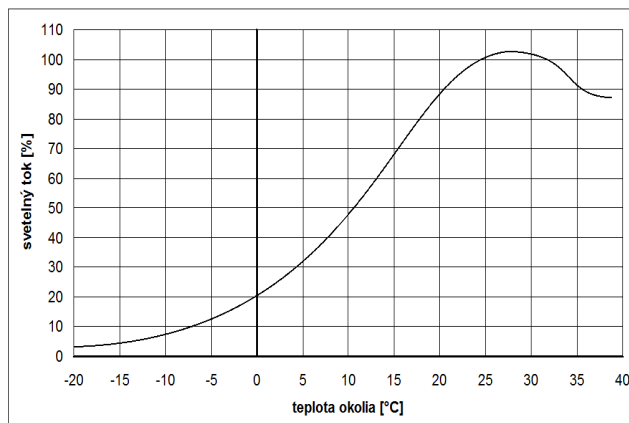
Obr. 5. Závislosť svetelného toku zdroja s LED od teploty

prostredia [1]

Pri teplote -10°C, obr. 5, nastal prudký pokles svetelného toku, čo je pripísané teplotnému limitu predradníka. Náhodnosť javu bola vylúčená opakovaným meraním. V rozsahu 15 až 40 °C sa preukázala stabilná prevádzka svetelného toku. Celkový nárast svetelného toku pri znižovaní teploty prostredia predstavoval 12 %.

## Indukčná výbojka

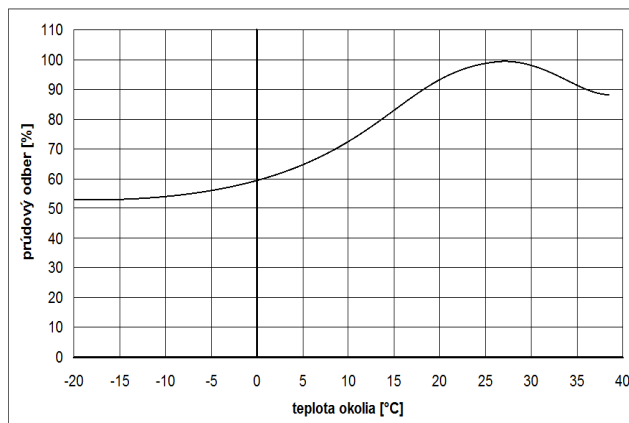
Indukčné svetelné zdroje sa čoraz častejšie využívajú v aplikáciách, ale je potrebné poznať ich vlastnosti veľmi dobre. Pre test bola zvolená indukčná výbojka Sylvania ICE 70/841 s príkonom 70W. Rovnako ako všetky výbojové svetelné zdroje aj indukčný zdroj potrebuje stabilizáciu 5 až 10 minút na dosiahnutie maximálneho svetelného toku.



Obr. 6. Závislosť svetelného toku indukčnej výbojky od teploty prostredia [1]

Graf závislosti má obdobný priebeh ako kompaktná žiarivka v polohe s päticou hore, čo je dôsledkom absencie elektród svetelného zdroja. Maximum svetelného toku bol dosiahnutý okolo teplôt 25 °C až 30 °C, obr. 6. Táto oblasť teplôt predstavuje ideálny interval pre daný svetelný zdroj. Pri znížení, resp. zvýšení okolitej teploty nastáva pokles toku.

Pre indukčné svetelné zdroje je známa závislosť vplyvu teploty plynnej náplne na svetelný tok, ale aj na odoberaný výkon z distribučnej siete. Prúdový odber svetelného zdroja dosahoval maximum pri hodnotách maxima svetelného toku. Pri nízkych teplotách okolia - 20 °C sa dosahuje cca 5% maximálneho svetelného toku s odberom prúdu cez 50 %, obr. 7.

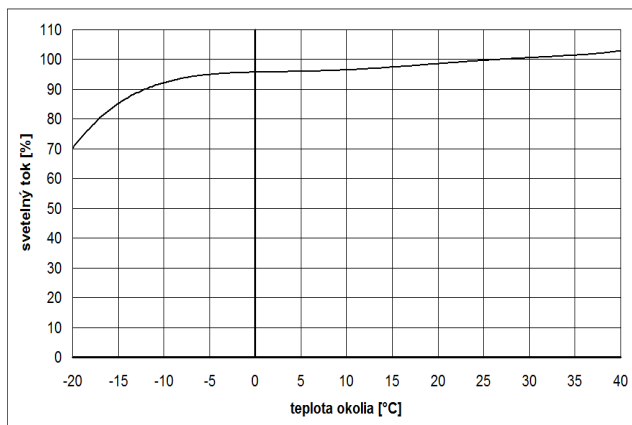


Obr. 7. Závislosť prúdového odberu indukčnej výbojky od teploty prostredia [1]

### Vysokotlaková sodíková výbojka

Často výrobcovia zdrojov uvádzajú, že vysokotlakové výbojové zdroje sú prakticky nezávislé na teplote okolia. Pre meranie bola zvolená 70 W vysokotlaková výbojka Venture HPST70W/E27. Najdôležitejším bodom pred meraním sodíkovej výbojky je ustálenie svetelného toku po štarte, ktoré trvá až 15 minút.

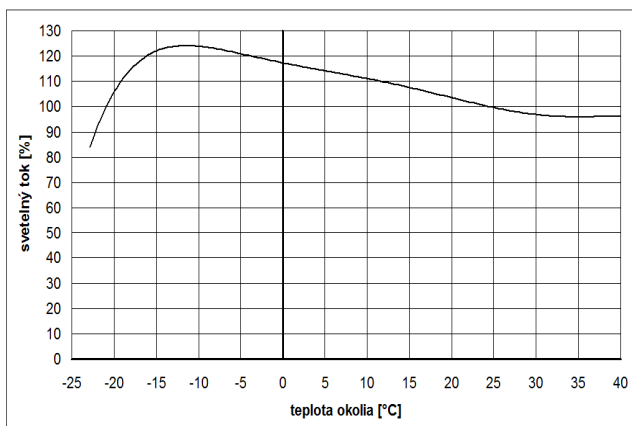
Svetelný tok v rozsahu teplôt  $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$  až  $40\text{ }^{\circ}\text{C}$  sa mení minimálne, v rozmedzí  $\pm 5\%$  oproti hodnote pri  $25\text{ }^{\circ}\text{C}$ , ale pri klesaní teploty pod  $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$  nastal výrazný pokles. Pokles svetelného toku predstavuje až 30 %.



Obr. 8. Závislosť svetelného toku vysokotlakovej sodíkovej výbojky od teploty prostredia [1]

### Meranie teplotnej závislosti svietidla

Podstatou merania bolo zistiť aká je schopnosť svietidla odstrániť vplyv teploty okolia na svetelný zdroj. Na meranie bolo použité svietidlo s lineárnou žiarivkou určené na osvetlenie komunikácií. Merané teploty boli teplota okolia a vnútorná teplota svietidla.



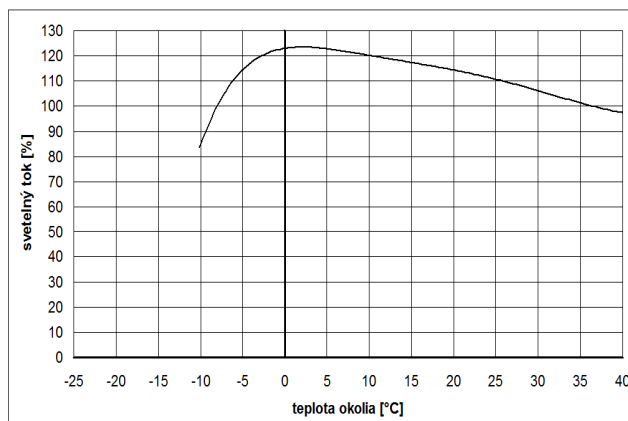
Obr. 9. Závislosť svetelného toku svietidla od teploty prostredia [1]

Pri meraní sa ako hlavný problém ukázal čas stabilizácie teploty po jej zmene. Teleso svietidla je tvorené masívnou konštrukciou, čo má za následok pomalé ochladzovanie, t.j. pomalé prispôsobenie vnútornej teploty v svietidle.

Svetelný tok svietidla pri nižších teplotách rastie, čo spôsobuje vyššia vnútorná teplota svietidla, obr.9. Predstavuje to veľkú výhodu svietidla vzhľadom na použitie v exteriéroch v zime a v noci. Z toho je jasná nielen ochranná úloha svietidla ale aj jeho tepelná izolácia od okolia a zlepšenie pracovných podmienok žiarivkového svetelného zdroja.

Rozdiel teplôt okolia a vnútra svietidla predstavoval  $10\text{ }^{\circ}\text{C}$ , kde svietidlo izolovalo odvod tepla zo svetelného zdroja do okolia. Tendencia rastu svetelného toku svetelného zdroja

v svietidle, obr. 10, je približne do hodnoty  $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Následne nastáva pokles toku.



Obr. 10. Závislosť svetelného toku svietidla od vnútornej teploty [1]

### Záver

Každý svetelnotechnický návrh musí obsahovať udržiavací činiteľ. Cieľom udržiavacieho činiteľa je zohľadniť všetky nepriaznivé aspekty, tak aby sústava vyhovovala po celú dobu prevádzky. Teplotný manažment sa musí v prípade vybraných zdrojov, napr. LED, vhodne zakomponovať do udržiavacieho činiteľa. Pri projektovaní svetelných sústav by sa mal brať do úvahy vplyv teploty, voľba vhodných svietidiel a pri výpočte osvetlenosti zvoliť dostatočnú rezervu.

Vhodnosť polohy päťice kompaktné žiarivky bude zrejma v aplikáciách s nízkou okolitou teplotou. Kompaktné žiarivky bez prímesty amalgámu sa javia ako nevhodné pre použitie v exteriéroch.

Exteriérové použitie indukčných výbojových zdrojov je možné dnes vidieť. Ich inštalácia v exteriéroch pri nízkych teplotách bez stabilizovaného prostredia v svietidle spôsobí nielen značný úbytok v množstve svetelného toku, ale aj na vplyv príkonu svietidla.

LED svetelné zdroje sú teplotne závislé, a prostredie, v ktorom sa nachádzajú ovplyvňuje ich pracovné vlastnosti. Veľmi dôležitý je odvod tepla z P-N prechodu, a preto projektant musí zvoliť vhodné riešenie. Katalógové hodnoty LED po inštalácii napr. do uzavretého svietidla nie je možné dosiahnuť, a teplota okolia môže znížiť životnosť zdroja. Pri LED svetelných zdrojoch ako náhradách za konvenčné zdroje sa musí do úvahy brať aj svietidlo, ak bolo svietidlo navrhnuté na konvenčný zdroj, tak pre LED zdroj nemusí byť vhodné.

Vysokotlaková sodíková výbojka, ktorá nemá krytie, napr. v podobe svietidla, sa stáva z hľadiska svetelného toku závislou na teplote okolia. Využitie v osvetľovacích sústavách v exteriéroch spôsobí pri nízkych teplotách zníženie toku, čo môže v aplikáciách na komunikáciách viesť v extrémnych prípadoch k zmene triedy komunikácie, čo je neprípustné. z hľadiska požiadaviek a noriem.

Svietidlo okrem IP poskytuje aj stabilizáciu svetelného toku zdroja v ňom umiestnenom a spôsobuje oneskorenú zmenu svetelného toku. To je dôležité hlavne pri extrémne nízkych teplotách okolia keď bez tepelnej izolácie by mal svetelný zdroj značne nízky až prakticky nulový svetelný tok oproti svojej nominálnej hodnote.

Teplota okolia predstavuje jeden z mnohých faktorov, ktoré majú vplyv na výsledné množstvo svetla produkované svetelnými zdrojmi, ktoré sa využije v aplikáciách.

### Podakovanie

*Táto práca bola podporená Operačným programom "Výskum a vývoj" a Európskym fondom v projekte ITMS*

26220220150 s názvom „Výskumné centrum svetla a svetelnej techniky“.

#### LITERATÚRA

[1] Varga Ľ.: Závislosť parametrov svetelných zdrojov od teploty, Záverečný projekt, FEI STU, Bratislava, 2010.

**Autori:** Ing. František Krasňan, PhD., Bc. Ľudovít Varga, Ing. Anton Rusnák, Ing. Zlatko Balaš, Slovenská technická univerzita, Fakulta elektrotechniky a informatiky, Ilkovičová 3, 921 06 Bratislava, Slovenská Republika, e-mails: anton.rusnak@stuba.sk, frantisek.krasnan@stuba.sk, zlatko.balas@stuba.sk

## Blackout – reálná hrozba nebo mýtus?

**Abstract.** V referátu jsou popsány hlavní příčiny blackoutů, s přihlédnutím ke specifickým podmínkám energetické sítě v ČR. Na příkladech ze zahraničí jsou uvedeny následky blackoutů, ke kterým došlo v posledních letech. Jsou uvedeny principy a postupy, jak je tato problematika řešena v České republice. Rovněž jsou uvedena typická řešení zabezpečení objektů kritické infrastruktury s ohledem na provozní spolehlivost

**Keywords:** blackout, elektrická energie, bezpečnost, spolehlivost, porucha

**BLACKOUT** – termín, který v poslední době často slyšíme v souvislosti s energetickou přenosovou soustavou. Co je to vlastně blackout a proč se o něm v posledních letech hovoří tak často?

Blackout je porucha elektrické rozvodné sítě, která je spojena s přerušením zásobování rozsáhlých území elektřinou. Hlavní příčiny jsou obvykle:

- Chyby v koordinaci při propojení národních energetických soustav.
- Vysoká spotřeba, v letních měsících vlivem stále rostoucího používání klimatizace, v zimě přímotopů.
- Projektování přenosových sítí s redundancí N+1 se ukazuje jako nedostatečné.
- Přenosové systémy jsou více zatíženy, zvětšuje se průhyb vodičů a možnost kontaktu s vegetací.
- Vysoká teplota vzduchu, navíc nízké průtoky a vysoká teplota vody v řekách snižují dostupný výkon u vodních i parních elektráren.
- Při vysokých teplotách je (vlivem bezvětří) minimální produkce větrných elektráren a jejich výkon je nahrazován přenosem elektřiny z jiných zdrojů, často na velké vzdálenosti.

Samozřejmě jsou výjimky, potvrzující pravidlo. K blackoutu může například dojít i z příčin, způsobených technickým stavem sítě nebo politickou situací.

Blackout je kritická událost pro celá města, regiony, státy, kontinenty. Zatímco ostatních strategických surovin mají státy zásoby na 90 dní, elektřinu skladovat nelze. Co se vyrobí, hned se spotřebuje. Co se nevyrobí, nemáme.

Blackouty jsou také jednou z příčin, proč není takový tlak na důslednou elektrifikaci železnice a proč se stále používají dieselelektrické lokomotivy.

### Blackouty ve světě

V posledních letech se mj. staly následující blackouty:

- 20. února 1998 Auckland, Nový Zéland
- 14. srpna 2003 severovýchod USA a Kanada
- 23. září 2003 Dánsko a Švédsko
- 28. září 2003 Itálie
- 12. července 2004 Řecko
- 18. srpna 2005, Bali, Indonésie
- 23. července 2006 Česká republika (k blackoutu nakonec nedošlo díky včasnému vyhlášení Stavů nouze)
- 8. září 2006 centrum Prahy – Česká republika (lokální blackout)
- 18. října 2006 Východočeský kraj – Česká republika (lokální blackout)
- 27. dubna 2007 Kolumbie
- 13.-15. října 2009 lokální blackouty v celé České republice

Ve všech (i řadě dalších) případech byly vládami příslušných států určeny vyšetřovací komise, které měly analyzovat příčiny blackoutů a vyvodit příslušná opatření. Výsledky vyšetřování mají řadu společných znaků:

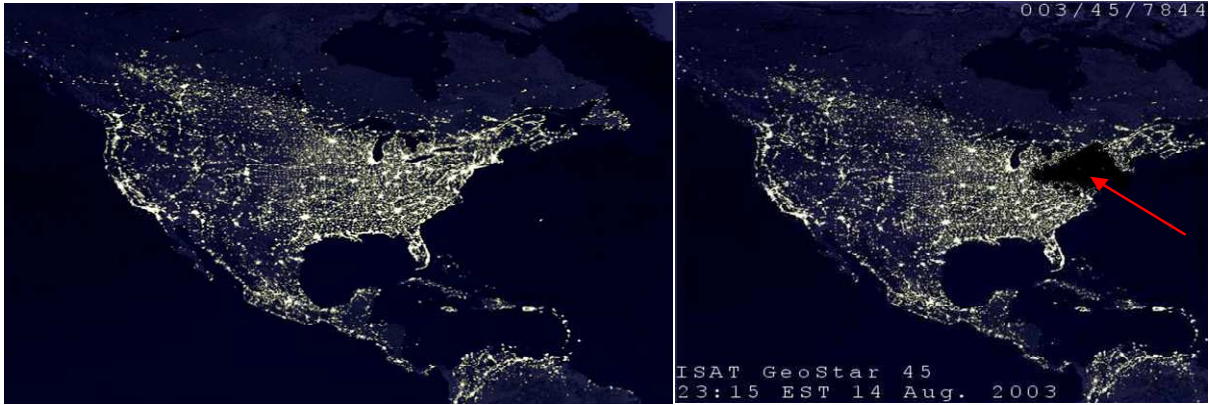
- Ve všech případech přenosové soustavy přenášely velké výkony na mezi zatížitelnosti.

- Ve všech případech (včetně situace v červenci 2006 v Česku) byla jednou z příčin nezvládnutá situace při propojení soustav sousedních států.
- Liberalizace trhu a vytvoření jednotného kontinentálního trhu změnila podmínky, za kterých se musí uskutečňovat bezpečná dodávka elektřiny.
- Zmizelo tradiční plánování výroby a přenosu elektrické energie.
- Provozovatelé jednotlivých soustav jsou na sobě více závislí, na druhé straně jsou pod komerčním tlakem rostoucího počtu odběratelů.
- Nebyla včas rozpoznána běžná porucha (např. přeskok z vodiče vedení na větev stromu), takže nebyla včas přijata opatření a došlo ke kaskádovitému šíření poruchy.
- Chyběly podpůrné programy, jako je odhad bezpečnosti provozu v reálném čase a dynamický odhad stavu soustavy, který by dispečery včas varoval.
- Nedostatek komunikace, koordinace a ve výměně dat mezi provozovateli soustav.
- Jednou z příčin výpadku v Řecku bylo omezení prostředků na údržbu soustavy v důsledku velkých investic do olympiády. Ve Švédsku bylo zase jednou z příčin odstavení jaderné elektrárny Barseback, které mělo politické důvody.
- Jedním z výsledků analýz je vypracování směrnice EU 2005/89/ES o zabezpečení dodávky elektřiny pro infrastrukturu, která platí od 28.2.2008.

### Příčiny blackoutů v zahraničí

Tak například Kolumbie dne 27.4. 2007 zažila rozsáhlý výpadek elektřiny, který postihl mimo jiné obchodní a průmyslová centra po celé zemi a vyvolal dopravní chaos v ulicích kvůli nefungujícímu signalizačnímu zařízení. Podle úřadů výpadek způsobila technická závada v jedné z hlavních rozvodů (Torca) a nikoli útok levicových povstalců, kteří v minulosti často prováděli sabotáže na ropovodech a elektrických zařízeních. Dodávky energie se začaly obnovovat po několika hodinách. Kolumbijská burza byla nucena na dvě a půl hodiny zastavit kvůli výpadku obchodování. Nefungovaly ani mobilní telefony. "Je postižena celá země," řekl tehdy v rozhlasovém vysílání prezident Álvaro Uribe. Blíže neupřesněná závada v centrálním zařízení v Torce u hlavního města od dopoledních hodin místního času (odpoledne SELČ) zasáhla 80 procent země včetně Bogoty. Závada v Torce vyřadila z provozu několik transmisních linek.

Zřejmě nejznámější blackout, Northeast Blackout v USA a Kanadě v roce 2003 začal pádem několika stromů na VVN vedení. Tuto událost operátoři nezvládli a došlo k dominovému šíření poruchy. V koncovém stavu bylo od sítě odpojeno 256 energetických zdrojů. Došlo k poruchám v zásobování vodou, zkolabovala železniční i letecká doprava, telefonní síť, internet. Jen v New Yorku byla zaznamenáno 3000 požárů (převážně od svíček). Nejvíce úmrtí vzniklo při dopravních nehodách (nefungovala světelná signalizace) a pádem zlodějů, rabujících v opuštěných domech, ze střechy nebo římsy. Došlo také k úmrtí v důsledku nadýchání zplodinami z provozu elektrocentrál.



V Itálii byla příčinou bouřka, která vyřadila linku mezi Švýcarskem a Itálií. Státní společnost ENEL ztratila

kontrolu nad situací během 4 sekund. Tisíce lidí zůstaly ve vlcích a v metru, letecká doprava byla zrušena.



V Indonésii bylo příčinou přetížení sítě, následně poruchy vyřadily 2700 MW zdrojů. Postiženo bylo 100 milionů lidí.

Nejvážnější následky měl zatím blackout v Aucklandu. V tomto městě, velikostí srovnatelném s Prahou, zasáhl sice „jenom“ 1 milion obyvatel, s důsledky blackoutu se ale město nevyrovňalo dodnes. Zpočátku jednoduchá porucha na VN kabelu ( město je zásobováno VN kabelovou sítí) vyvolala řetězec dalších poruch na kabelech ( prakticky po

každé opravě kabelu a následném připojení napětí došlo k závadě na dalších místech). Tento stav, kdy obchodní centrum města bylo zcela mimo provoz, trval 5 týdnů !!! Denně spotřebovaly nouzové agregáty 1 milion litrů nafty. Za tu dobu opustila město velká část obyvatel, ale také banky, univerzity, významné firmy... Drobným podnikatelům stát doporučil ohlásit bankrot a po zklidnění situace začít znovu.

#### **Příčiny nouzového stavu v červenci 2006 v České republice**

Především je třeba říci, že nouzový stav, vyhlášený ČEPS 25. července 2006, nebyl typickým blackoutem ve smyslu fatálního dopadu na odběratele ( někdy se pro tento stav používá termín „grayout“). Žádnému spotřebiteli v ČR nebyla dodávka elektřiny přerušena. Vlivem vyhlášených regulačních stupňů museli však velcí spotřebitelé omezit odběr. Dispečink ČEPS ten den řešil více než 1000 tísňových volání.

Co se vlastně ten den stalo?

24.červenec byl extrémně horký, průměrná denní teplota byla 27°C, v 9 hodin ráno byla teplota již 33°C. Zatížení sítě bylo o 500 MW vyšší než obvykle v tomto čase.

Tři měsíce před touto událostí, 20. května 2006, bylo při vichřici zdemolováno vedení 400 kV mezi rozvodnou Hradec ( klíčová rozvodna sítě ČEPS) a německým Etzenrichtem. Toto vedení bylo rychle nahrazeno provizorní linkou a byla zahájena oprava. Shodou okolností právě dne 25.července probíhalo přepojování z provizorního vedení na původní opravené.

Z důvodů oprav a revizí byly vypnuty další 4 přenosové trasy na území ČR.

Po 8. hodině ráno došlo k nečekanému vypnutí rozvodny Diviča ve Slovinsku (důsledek požáru v blízkosti

rozvodny) a následně k navýšení odběru z ČR do Rakouska. To vedlo k přetížení jednoho z 400 kV vedení rozvodny Hradec a jeho vypnutí. Dominovým efektem pak došlo k dalším výpadkům, čímž část sítě v ČR přešla do ostrovního provozu.

Tento ostrovní provoz byl však značně nesymetrický – zůstala v něm velká část zdrojů a vykazoval přebytek výkonu 1500 MW. Stejný rozdíl byl ve zbývající části soustavy, ale jako deficitní. Přesto se podařilo systém zregulovat a asi po 1 hodině soustavu ČR opět spojit.

Vlivem přetížení sítě v sousedních státech se ale změnil objem toku energie v ČR jak v severojižním směru, jak i od východu na západ.

Další dva výpadky, způsobené požárem vazební tlumivky v rozvodně Čechy střed a kontakt vedení se stromem v důsledku velkého průhybu, způsobily kolem poledne opět vznik ostrovního provozu, tentokrát s diferencí výkonu 2400 MW. Zvládnout tento stav se podařilo pouze po odpojení některých elektrárenských bloků. Následně byl ve 14.00 vyhlášen stav nouze, ale síť se odlehčila pouze o 600 MW. Ještě ve 14.45 došlo ke vzniku dalšího ostrovního provozu. Pak se situace vlivem snížení odběru začala stabilizovat, stav nouze byl ukončen ve 23.00.

## Spolehlivost VVN sítě v ČR

VVN sítě, provozované v ČR státním podnikem ČEPS (sítě 400 a 220kV) a krajskými distributory (dnes v rámci ČEZ-distribuce, PRE nebo EON), sledují také provozní spolehlivost. Používají parametr SEIFY (obdoba MTBF) a SEIDY (obdoba MTTR). Téměř všude jsou čidla, monitorující stav sítě. Spolehlivost se vyhodnocuje dle normy PN333430 (kvalita dodávky el. energie). Spolehlivost sítí 110 kV je vyšší (okružové uspořádání) než sítí 35/22 kV (paprskovité uspořádání).

Pokud jde o VN rozvodny, jejich spolehlivost prudce stoupá v 90. letech zavedením spinacích prvků na bázi SF<sub>6</sub>, a později vakuových prvků.

Struktura VVN sítě vznikala ve 2. polovině 20. století, a byla koncipována jako ostrovní s minimálním transferem do okolních států. Zcela jiná situace je dnes, kdy česká VVN síť funguje jako tranzitní a zhruba 12% vyrobené energie vyvážíme do zahraničí. Elektrizační soustava je řízena neviditelnou rukou trhu, a „stav nouze“ kdy se podle Energetického zákona neuplatňují sankce za nedodání elektřiny, může provozovatel vyhlásit prakticky kdy chce.

Skutečnost, že na jedné straně státem vlastněný výrobce a distributor elektřiny je odpovědný za ekonomické výsledky svým vlastníkům a stát je odpovědný za bezpečnost obyvatel, tvoří bezpečnostní mezeru. Tato mezera má být eliminována integrovaným záchranným

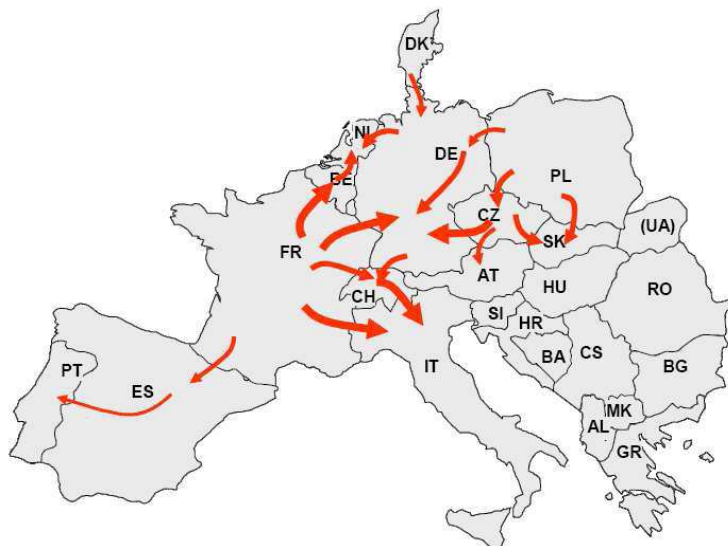
systémem ( IZS). Systém IZS však dnes nedisponuje všemi potřebnými technickými prostředky.

Jaká jsou hlavní rizika v provozu přenosové sítě?

**Koncepční rizika** se týkají především sítí 110 kV, její údržby a obnovy. Řada linek je na mezi životnosti a jsou na ně kladeny větší přenosové požadavky, než jaké byly při jejich výstavbě. Toto se týká nejen sítí v České republice, ale i zahraničních sítí. Přitom výstavba nových linek je možná pouze v rozmezí cca 7 měsíců, kdy to umožní klimatické podmínky.

**Provozní rizika** jsou důsledkem snahy o maximální využití přenosové schopnosti sítě, prakticky bez rezervy. To vede k provozním režimům, které jsou v blízkosti bezpečnostních a spolehlivostních mezí. Nestabilita také vzniká při přenosu energie mezi státy ve velkém objemu a v různých směrech. Souběh těchto okolností ve spojení s nahodilou „malou“ poruchou pak může vyústit v kritické provozní stavy. Přenosová soustava je navržena s redundancí N+1, tj. jedna porucha může být bez problému eliminována přenosem po jiném vedení. Současné tendence bezpečnostních analytiků vedou k systému N+2.

Jedním z příkladů tohoto rizika je propojení východní části Německa s Bavorskem přes energetickou soustavu ČR.



V poslední době je jako rizikový faktor označována instalace stále většího počtu obnovitelných zdrojů energie, především větrných a fotovoltaických elektráren. Jsou to zdroje, u kterých se vlivem změny povětrnostní situace náhle mění objem dodávaného výkonu a celou soustavu můžou „rozhodit“. Instalace většího počtu těchto elektráren v Německu tak přináší problémy i českým energetikům, neboť ČEZ část vyrobené elektrické energie do Německa vyváží (okamžitý dovoz elektřiny do Německa může dosáhnout hodnoty až 4000 MW).

## Konkrétní dopady dlouhodobého výpadku elektřiny v České republice

V rámci řešení státního výzkumného úkolu 2A-1TP1/065 byly vyčísleny následky dvoutýdenního výpadku ve třech krajích ( JČ, STČ a PAD). Ztráty se pohybují v rozmezí 15 – 22 miliard Kč, přičemž zhruba polovina jsou následky na zdraví a životech osob ( při vyčíslení byla použita metodika České pojišťovny). V této části nejsou uvedeny údaje na evakuaci a zaopatření obyvatel, a náklady na logistiku ( doprava pitné vody, potravin atd.).

Současně probíhá vytipování a projekční příprava lokálních zdrojů, které v případě blackoutů mohou pracovat jako ostrovní zdroje a zajistit alespoň minimální zásobování regionu elektrickou

energií. Tyto zdroje musí být vybaveny technologií pro „start do tmy“. Mezi tyto zdroje patří např. Elektrárna Opatovice, Teplárna Trmice, Elektrárna Třebovice, ECK Kladlo, Teplárna Červený Mlýn Brno a jiné.

Další oblastí, ve které probíhá intenzivní výzkum a přináší již praktické výsledky, je použití stávajících nouzových zdrojů o výkonech stovky kW až jednotky MW jako ostrovní zdroje v mikroregionech. Použití standardních elektrocentrál s diesellovými motory není ekonomicky reálné ( u nouzového zdroje není cena 1kWh tak kritická, neboť jde především o záchranu technického zařízení, dat, materiálu, případně zdraví). Zcela jiná situace je při použití alternativních paliv ( zejména po předpokládaném snížení jejich ceny) a především při využití odpadního tepla. V kontextu s avizovanými problémy českého teplárenství roste význam této varianty.

**Authors:** Ing. Karel Kuchta, CSc., IAEE Member Phoenix-Zeppelin, spol. s r.o., Energetické systémy, [karel.kuchta@p-z.cz](mailto:karel.kuchta@p-z.cz)

## Hľadajú sa nové kritériá osvetlenia interiérov

**Abstract.** Všeobecná prax svetlotechnikov sa zakladá na koncepcii viditeľnosti pracovnej úlohy, efektívnosti práce a produktivity pri čo najvhodnejšom osvetlení. Vizuálne vnímanie prostredia aj vizuálne práce sa ale dnes menia z detailov na vodorovnej pracovnej ploche na pozorovanie obrazovky, na tvary, štruktúry, farebnosť a iné prostredotvorné prvky interiérov. Veľké halové výrobné či kancelárske priestory, výstavné a komunikačné koridory s priestorovo potrebnou viditeľnosťou vyžadujú definovať priestorovo distribuovanú osvetlenosť či jasy v škále od celkovej pochmúrnosti až po výraznú úroveň vnímanej vhodnosti osvetlenia (podľa Cuttla: Perceived Adequacy of Illumination – PAI).

Aj v dennom osvetľovaní sa treba odpútať od rigidného kritéria činiteľa dennej osvetlenosti (Daylight Factor – DF), ktorý predpokladá len zamračenú zimnú oblohu, k adaptibilnejším ako je denný koeficient (podľa Tregenzu: Daylight Coefficient - DC) alebo k absolútnej osvetlenosti v luxoch za určitých exteriérových podmienok (typických oblôh). Z krízitíí minima treba hľadať celoročné dynamické charakteristiky (podľa Nabil a Mardaljevica: Useful daylight Illuminance – UDI) pre vyčíslenie úspor a ekonomiku, pre spolupôsobenie denného a umelého osvetľovania s cieľom zabezpečiť kvantitu aj kvalitu svetla v interiérovom prostredí. Pri elektrickom osvetlení sa normovali osvetlenosti na pracovnej rovine podľa viditeľnosti vizuálnej práce s priľadnutím k oslneniu zraku a jasovému rozloženiu a dnes sú úvahy o kritériách exitancie v zrakovom priestore očí (podľa Cuttla).

**Keywords:**

### Úvod

Ak sledujeme históriu kritérií osvetlenia interiérov, tak si musíme uvedomiť dve hlavné etapy, v ktorých zásadný predel tvorí prvé používanie umelých elektrických zdrojov svetla. Zhruba do začiatku 19-teho storočia bolo hlavným zdrojom osvetľovania interiérov denné svetlo predovšetkým svetlo oblohy. Už Vitruvius (10 BC, 1979) v roku 13 pred.n.l., keď písal učebnicu pre rímskych architektov, uznával ako kritický stav miestá bez oblohového svetla, t.j. kritérium dnes nazývané „no skyline“ odkiaľ z úrovne pracovnej roviny nevidieť ani kúsok oblohy. Až pred 250 rokmi Bouguer (1760) a Lambert (1760) zaviedli sviečku (kandelu – cd) ako základnú fyzikálnu jednotku svietivosti i keď v porovnaní s ňou sa jas oblohy či slnka priamo nedalo merať. Preto Bouguer používal mnohonásobné filtre skiel, náhradné mesačné svetlo a iné triky pre ich subjektívne meranie pomocou prvého tzv. Marieho (1700) jasomera/lucimetra. Zásadný prínos pre kritériá denného osvetlenia mali Lambertove zjednodušujúce koncepcie jednotkového jasu oblohy a absolútnej horizontálnej osvetlenosti vonku. Už dnes vieme, že aj konštantný jas zamračenej oblohy skutočne existuje. Lambertove (1759) znalosti z deskriptívnej geometrie a perspektívy ho priviedli k predstave priestorového uhla veľkoplošných zdrojov svetla a jeho priemetu do osvetľovanej roviny podľa cosinu uhla dopadu ( $\omega_p$ ). Logickým výsledkom týchto úvah bola matematická definícia tzv. činiteľa dennej osvetlenosti ( $D$ ), pričom pri jednotkovom jase oblohy sa exteriérová horizontálna osvetlenosť rovnala pôdorysnému kruhu hemisféry s jednotkovým polmerom ( $\pi$ ). Tak relatívna interiérová horizontálna osvetlenosť  $D = \omega_p / \pi$ . Tak sa stal tento relatívny činiteľ základným kritériom denného osvetlenia s malými úpravami až dodnes.

Podľa Cuttlea (2010) existujú tri obdobia svetlotechnickej profesie a pretože zabúda na poznatky z denného osvetľovania interiérov, začína rokom 1898, keď bol medzinárodne odsúhlasený systém fotometrie podľa návrhu Blondela (1896). V počiatkoch elektrického osvetľovania interiérov sa začalo preferovať primeraná osvetlenosť horizontálnej pracovnej roviny a jej rovnomernosť. V tomto prvom období sa iniciatívou elektropriemyslu a nových elektroinžinierov na začiatku 20-teho storočia zabúdalo na staré zásady práva na svetlo, ktoré malo dlhú tradíciu pri dennom osvetlení už podľa rímskeho práva. V súdnych sporoch sa vyžadovala minimálna osvetlenosť jej

zdôvodnenie aj relatívne jednoduché a názorné dokazovanie. V tejto tématike bol uznávaným anglickým súdnym expertom Percy Waldram (1909), ktorý navrhol vynikajúcu grafickú metódu zisťovania exteriérového zatienenia okien a výpočtu činiteľa dennej osvetlenosti v interiéri. Preto ho poverili, aby s expertnou komisiou zistili tiež minimum umelého osvetlenia pre čítanie textu v interiéroch. Výsledkom po prieskume v kanceláriách bol v r.1920 návrh, že pre tlačený text postačuje na ploche jednej štvorcovej stopy osvetlenosť jednej kandel (t.j. 10.76 lx). Už dávno predtým profesor oftalmológie vo Vroclave Cohn (1883) odporúčal pre školské interiéry 50 lx a ako minimum 10 lx. Dnes sa zdajú tieto minimá extrémne nízke, no aj neskoršie podrobné výskumy Westona (1951) v Anglicku aj Blackwella (1952) v USA zhruba potvrdili takúto krajinú osvetlenosť i keď pre rýchlejšiu a presnejšiu viditeľnosť rôznych detailov odporúčali pre normy vyššie hodnoty. Bolo zrejmé, že úspešnosť či efektívnosť zrakovej práce závisí na konfigurácii a veľkosti detailu, požadovanej rýchlosti a stupni presnosti, no predovšetkým na osvetlenosti alebo jasovom kontraste medzi detailom a jeho pozadím. Postupne nároky užívateľov a snahy o optimalizáciu zrakového prostredia, resp. na svetelnú pohodu v interéroch narastali, čo sa prejavilo aj v normách počas 20-teho storočia, ktoré predstavuje druhé obdobie svetlotechnickej profesie. Zvyšovanie noriem umelého osvetlenia v jeho časovej stálosti a rovnomernej úrovni na pracovnej rovine bolo jednoduché pričom sa využívali aj efektívnejšie zdroje i svietidlá. Naopak dynamika denného svetla slnka a oblohy s neusálymi dennými, sezónnymi a ročnými dráhami slnka a so zmenami stavu atmosféry a oblačnosti v určitej lokalite na zemskom povrchu vytvárali pri normovaní problémy.

### Normatívne požiadavky dennej osvetlenosti

Dávno pred zavedením osvetlenosti v luxoch sa ako základné kvantitatívne kritérium v teórii denného svetla zaviedla absolútna alebo percentuálna hodnota činiteľa dennej osvetlenosti podľa pôvodného návrhu Lamberta. Jeho predpoklad jednotkového a rovnakého jasu oblohy dovoľoval používať geometrické definovanie tohto kritéria na základe priestorového jasu veľkoplošných zdrojov a jeho priemetu do osvetľovanej roviny. Fotometrický systém sa od doby Marciho lucimetra zdokonaľoval jednak v subjektívnych fotometroch, no s objavom fotobuniek (Smith, 1873, Adams a Day, 1876, resp Fitts, 1883) sa



začali vyrábať objektívne fotometre, najmä luxmetre, ktorými sa dala jednoducho kontrolovať absolútna úroveň osvetlenia. Ale aj pri dennej osvetlenosti sa pomocou luxmetra v interiéri a vonku pod oblohou s voľným horizontom dal pomerom oboch záznamov v rovnakom čase dal skontrolovať činiteľ d.o., ktorý musel byť nad normou predpísaným minimom. Podmienkou ovšem bola úplne zamračená obloha pred 1955 s jednotkovým a potom s gradovaným jasom podľa CIE (1955). Tak mohla aj hygienická kontrola preverovať dodržiavanie noriem.

Horšie na tom bol projektant, ktorý sa často v čase návrhu stavby musel spoliehať na približné metódy „podľa palca“ (ešte doteraz Reinhart a LoVerso, 2010), na rôzne tabulkové a grafické pomôcky. Tak, ak bola napríklad predpísaná normou v určitom mieste interiéru minimálna hodnota č.d.o. 1 %, mala sa dodržať táto hodnota veľkosťou okien pri danej hĺbke interiéru. Obyčajne si ale nik neuvedomoval, čo to znamená v absolútnych osvetlenostiach, tj. v luxoch. Tradovalo sa síce podľa nemeckých noriem DIN (1935), že v zime okolo deviatej hodiny je vonku asi 3000 luxov (Hannauer, 1947), no podľa typizácie STÚ (1952) sa už zavádzala „vonkajšia osvetlenosť v zimnom zamračenom dni medzi 9. a 15. hodinou 4000 lx“. Toto tzv. „imenovité (srovnávací) venkovní osvětlení“ prevzala aj norma pre priemyselné budovy (ČSN 1956), neskoršia kmeňová norma (ČSN, 1967) vyzvihuje ako kritickú hodnotu zrovnávacej osvetlenosti 5000 lx v decembri o 10. a 14. hodine. Tento posun súvisel s možnosťami využívania umelého osvetlenia v ponurých zimných dňoch a s predchádzaním zbytočného predimenzovania okien. Mnohí si však hovoria, že sa táto kritická vonkajšia úroveň mení preto, aby aj denné svetlo stihala normy umelého osvetlenia, pretože pri 3000 lx vonku a pri č.d.o. 1% by vnútri bolo 30 lx, pri 4000 lx len 40 lx a pri 5000 lx vonku 50 lx v interiéri. Málo kto si však uvedomuje, že pri dynamike denného svetla situácia mení denne podľa oblačnosti a zákalu atmosféry aj s lokalitou. To znamená, že aj pri č.d.o. 1 % len v rozmedzí medzi hlavnými mestami Európskej Únie napr. Aténami na 38°s.z.š. a Helsinkami na 60°s.z.š. bude v rovnakom interiéri osvetlenosť veľmi odlišná. Vyplýva to so zmien výšky slnka pretože pri predpokladanej efektívnosti využitia extraterestriálnej horizontálnej osvetlenosti pri zamračenej oblohe CIE (1955) s gradáciou 1:3 najčastejšie 10 % budú denné chody interiérovej difúznej oblohovej osvetlenosti na zemskom povrchu v kritickom dni 22. 12. (pri deklinácii  $\delta = -23.45^\circ$ ) prebiehať v závislosti na výške slnka ( $\gamma_s$ )

$$E_{vi} = 0.01(138\ 200 \sin \gamma_s) = 1382 \sin \gamma_s \quad [\text{lx}] \quad (1)$$

kde pre Helsinki alebo Oslo bude

$$\sin \gamma_s = \sin 60^\circ \sin(-23.45^\circ) - \cos 60^\circ \cos(-23.45^\circ) \cos 15^\circ H \quad (2a)$$

ale pre Atény je

$$\sin \gamma_s = \sin 38^\circ \sin(-23.45^\circ) - \cos 38^\circ \cos(-23.45^\circ) \cos 15^\circ H \quad (2b)$$

pričom  $H$  je hodina dňa v pravom slnečnom čase.

Oba priebehy interiérovej osvetlenosti sú znázornené na obr. 1, kde je zrejme, že aj keď je započítaná oblohová osvetlenosť bez mnohonásobnej reflexie, nebude môcť v kritickom mieste vystačiť bez umelého prisvetlenia v Helsinkách. To znamená, že kritérium č.d.o. je veľmi relatívne a podstatne viazané na zamračenú oblohu bez akejkoľvek stopy postavenia slnka nad hustou a rozptýlnou vrstvou oblakov. Okrem toho nevyjadruje ani denné zmeny

v úrovni interiérovej osvetlenosti ani celoročné zmeny pri rôznych výškach a oblohových rozloženiach jasu na oblohe. Preto sa kritizuje používanie č.d.o. a ako lepšie kritérium sa navrhuje tzv. koeficient d.o.  $D_{\gamma\alpha}$  (Daylight Coefficient)

podľa Tregenzu a Watersovej (1983), ktorý je pomerom celkovej interiérovej osvetlenosti (priamej aj mnohonásobne odrazenej) v určitom mieste interiéru ku násobkom jasu oblohy v určitom jej elemente s jej uhlovou veľkosťou:

$$D_{\gamma\alpha} = \frac{\Delta E_{\gamma\alpha}}{L_{\gamma\alpha} \Delta S_{\gamma\alpha}} \quad [-] \quad (3)$$

kde  $\Delta E_{\gamma\alpha}$  je horizontálna osvetlenosť spôsobovaná oblohovým elementom s jasom  $L_{\gamma\alpha}$  v rozsahu výškového uhla  $\gamma$  a šírkového azimutálneho uhla  $\alpha$  včítane všetkej interreflexie, ktorá je normalizovaná  $L_{\gamma\alpha} \Delta S_{\gamma\alpha}$ , čo je vlastne normálová osvetlenosť na ničím nezatenenej rovine vystavenej jasom oblohového elementu. V podstate ide o rozdelenie celej oblohy na veľké množstvo malých elementov, ktoré sa dajú podľa ich veľkosti a jasu uvažovať samostatne, resp. ako náplň priestorového uhla okna. Tým sa získa výhoda, že je predpoklad, že pri zmene jasu oblohy sa nebude meniť hodnota koeficientu  $D_{\gamma\alpha}$  (Littlefair, 1992). Nevýhodou je komplikovanosť výpočtu a zbytočná námaha ak sa používa len jedna normatívna, napr. zamračená obloha, pričom výsledkom je ako u č.d.o. len relatívny údaj bez jednoduchej možnosti prepočtu na absolútnu osvetlenosť v luxoch.

Vzhľadom na snahu o energetickú bilanciu budov s úsporami pri využívaní denného svetla sú potrebné celoročné údaje zmien v lokálnej svetelnej klíme. Preto Nabil a Mrdaljevic (2005) navrhujú zaviesť tzv. využitelnú dennú osvetlenosť (Useful Daylight Illuminance)  $UDI$ , ktorá má vychádzať z ročných lokálnych podmienok s vyjadrením priebehov osvetlenosti v lx. Túto pôvodne Mardaljevic(2001) nazval príliehavejšie „ročnými profilmi denného osvetlenia“ (Annual Daylighting Profiles -  $ADP$ ), ktoré pre Britániu boli založené na myšlienke počítačovej simulácie určovania osvetlenosti z viacerých typov jasových distribúcií na oblohe podľa meraní BRE vo Watforde severne od Londýna. Medzitým podľa nášho návrhu (Kittler a kol., 1997) sa vrámci CIE normovalo 15 typických rozložení jasu na tzv. všeobecnej oblohe CIE (2003), čo o rok neskôr prijala aj ISO (2004). Vo viacerých lokalitách hlavne tam, kde boli CIE IDMP stanice sa využívali ich údaje na hľadanie najčastejších oblôh, pomocou ktorých by sa dal modelovať typický referenčný rok (napr. Tregenza, 1999 alebo Wittkopf a Soon, 2007). Okrem toho je k dispozícii pre pravouhlé okná výpočtová metóda MAM (Kittler a Darula, 2006), na základe ktorej je zdarma pre prax prístupný na <http://www.cadplan.com.au> jednoduchý program s názvom MAMModeller (Roy a kol., 2007). Tento umožňuje pre ľubovoľnú lokalitu, dátum a hodinu, typ ISO/CIE oblohy i jej zúženie, pre zadané rozmery okna, jeho zasklenia a tienenia aj posudzovaný element horizontálnej pracovnej roviny rýchlo vypočítať rozloženie jasu na okne aj osvetlenosť v luxoch. Tým tiež dáva podkaldy pre určenie  $D_{\gamma\alpha}$ , pre oslnenie zraku vplyvom jasov v okne a absolútnu osvetlenosť v interiéri.

### Normatívne kritériá pre elektrické osvetlenie

Všetky naše bývalé aj súčasné normy pre umelé osvetlenie používajú ako základné kritérium osvetlenia interiérov absolútnu osvetlenosť horizontálnej pracovnej roviny v luxoch podľa druhov zrákových prác. Už v tridsiatich rokoch 20-teho stor. v Geršunovej (1958) teórii svetelného poľa bol zárodok predstavy distribúcie svetla

v interiéroch pomocou telies jasu a osvetlenosti (skalárna osvetlenosť) a ich smerového vektora, ktorý charakterizoval prevládajúci tok svetla. Pomer vektor/skalár definoval vzhľad objektov pri smerovanom osvetlení, súčasne sa študovali podmienky viditeľnosti (Luckiesh, 1944). V Anglicku Waldram (1954, 1958) propagoval projektovanie umelého osvetlenia s dôrazom na zámerné vyzdvihovanie jasu objektov či architektonických detailov tzv. metodu návrhu vzhľadu (Designed Appearance Method).

Pretože v niektorých účelových verejných budovách (v halách, muzeách, galériách a pod.) bola horizontálna osvetlenosť neadekvátnym kritériom, v normách bývalého SSSR (SNiP, 1971) sa zaviedla tiež priemerná cylindrická osvetlenosť, ktorá približne modeluje skalárnu veličinu blízku k adaptačnému jasu pre stojacu osobu, ktorá sa pohybuje alebo otáča v interiéri. Aj európska navrhovaná norma (EN, 2002) pokračuje v tejto tradícii, keď uvádza aj kritérium cylindrickej osvetlenosti pre pracovné priestory.

Priestorovej (skalárnej) osvetlenosti sa blíži tiež kubická osvetlenosť, ktorú navrhoval Cuttle (1997), ktorá sa v normách neujala, no niektoré počítačové programy (ako napr. Calculux) z nej vychádzajú pri výpočtoch trojrozmernej osvetlenosti bodu v interiéri. Predpokladá sa, že takýmto posudzovaným bodom je oko a jeho proces pohľadu sledujú tiež metódy „ray tracing“ (sledovania lúča). Iný postup je základom „radiosity“ metód, ktoré sú nezávislé na pohľade pozorovateľa, ale vychádzajú z geometrických parametrov distribúcie zdrojov svetla a povrchov v priestore. Nevýhodou oboch týchto metódik je predpoklad difúzne odrazných povrchov v interiéri bez zrkadlových odrazov.

Ashburn (1997) prispel k projektantskej aplikácii radiosity metódy v počítačovom programe HELIOS. Software tohto programu podľa geometrického rozloženia povrchov určuje ich odraznosť a celkové rozloženie svetelných tokov na všetkých povrchoch interiériu ich spektrálnym vyžarovaním. Súčasne sa určuje rozsah viditeľnej scény s určitou polhou a orientáciou. Farebné pojednanie a rozsah jasov 10 000:1 sa vyjadruje v relatívnej „odrazovej“ hodnote svetelného vyžarovania (reflected exitance), pričom najjasnejšie zroje a povrchy sú najvýraznejšie vo farebnej reprodukcii interiériu. Tým sa dostávame k najnovšiemu kritériu, ktoré navrhuje Cuttle (2010), ktorý chce zaviesť priemerné svetelné vyžarovanie interiérových povrchov – mean room surface exitance  $M_{rs}$  v  $lm/m^2$  ako základné kritérium subjektívneho hodnotenia svetelného vzhľadu interiériu, pričom udáva navrhovaný rozsah pre miestnosti:

- s najnižšou rozumnou úrovňou rozlíšenia farieb  $M_{rs} = 10 lm / m^2$ ,
- s tmavým (pochmúrnym) vzhľadom  $M_{rs} = 30 lm / m^2$ ,
- s najnižšou úrovňou pre akceptovateľne jasný vzhľad  $M_{rs} = 100 lm / m^2$ ,
- s jasným vzhľadom  $M_{rs} = 300 lm / m^2$ ,
- s výrazne jasným vzhľadom  $M_{rs} = 1000 lm / m^2$ .

Autor ukazuje relatívne jednoduché meranie vlastne vertikálnej plošnej osvetlenosti z úrovne oka (v  $lm/m^2$ ), ktoré integruje jasy zo zrkovitého poľa  $180^\circ$  čím sa zdôrazňuje základný účel osvetlenia zabezpečiť jasné prostredie a predísť tmavým a nudným interiérom, čo nezabezpečujú normy horizontálnej osvetlenosti pracovnej roviny.

## Záver

Celkove možno konštatovať, že vzhľadom na ustálený charakter umelého osvetľovania a značnú premenlivosť a dynamiku denného osvetlenia sa historicky ich kritéria značne rozchádzajú. No v súčasnosti vzhľadom na časté ich spolupôsobenie aj potreby energetických bilancii a úspor je potrebný jednotný systém návrhu a posudzovania s ujednotením metriky a kritérií dostatočnosti aj kvality. Napriek značnému historickému a civilizačnému pokroku je riešenie noriem a kritérií v nedohľadne. Zaisť prvého kroku tohto zjednotenia by malo byť ustálenie ekonomicky výhodného spolupôsobenia denného a umelého osvetlenia pre zabezpečenie osvetlenosti zrkovitých prác pri normou stanovených podmienkach. Potom sa bude dať zvoliť primerané parametre a kritériá pre výpočet aj kvalitatívne hodnotenie a meranie rozloženia jasov v celých miestnostiach v celoročných priebehoch pri variantách spolupôsobenia základných zdrojov svetla.

## References

- [1] Adams, W.G. a Day R.E.: The action of light on selenium. Proc. Royal Society **25**, 113-117 (1876)
- [2] Ashburn, I.: Radiosity: A programmer's perspective. Wiley Publ., N.Y. (1997)
- [3] Blondel, A.: Rapport sur les unités photométriques. Congrès International des Electriciens. Geneve (1896)
- [4] Bouguer, P.: Traité d'Optique sur la gradation de la lumière. Paris (1760), Latinský preklad Richtenburg, J.: Bougeri Optice de Diversis Luminis Gradibus Dimetiendis. Wien-Praha (1762), Ruský preklad: Tolstoy, N.A. and Feofilova, P.P.: Opticheskiy traktat o gradacii sveta, s poznámkami A.A.Gershuna, Izd. Akad. vied. SSSR, Moskva (1950), Anglický preklad: Knowles Middleton, W. E.: Pierre Bouguer's optical treatise on the gradation of light. University of Toronto Press, Toronto (1961)
- [5] Blackwell, H.R.: Brightness discrimination data for the specification of quantity of illumination. Illum. Engineering **2**, 602-609 (1952)
- [6] Casey, J.: Three-dimensional illuminance: a tool for lighting design ? MSc. Thesis, Bartlett School of Archit., London (1998)
- [7] CIE – Commission Internationale de l'Éclairage: Natural Daylight, Official recommendation. Compte Rendu CIE 13th Session, 2, part 3.2, 2-4 (1955)
- [8] CIE – Commission Internationale de l'Éclairage : Spatial distribution of daylight – CIE Standard General Sky. CIE Standard S 011/E:2003, CB CIE Vienna (2003)
- [9] Cohn, H.: Die Hygiene des Auges in Schulen. Breslau (1883), Anglický preklad: The hygiene of the eye in schools. Simpkin, London (1886), Ruský preklad: Gigiena glaza v školach. Moskva (1887)
- [10] Cuttle, C.: Cubic illumination. Lighting Res. Technol., **29**, 1, 1-14 (1997)
- [11] Cuttle, C.: Towards the third stage of the lighting profession. Lighting Res. Technol., **42**, 1, 73-93 (2010)
- [12] ČSN Československá štátna norma: Denní osvětlení průmyslových budov ČSN 73 0511 (1956)
- [13] ČSN Československá štátna norma: Denní osvětlení budov ČSN 36 0035 (1967)
- [14] DIN Deutsche Industrie Normen: Leitsätze für Tagesbeleutung. DIN 5034, Dinorm, Berlin (1935)
- [15] EN – European standard: Light and lighting – Lighting of work places- Part1: Indoor work places. EN 12464-1:2002, (2002)
- [16] Fitts, C.E.: A new form of selenium cell. Amer.J. Science, **26**, 465-472 (1883)
- [17] Geršun, A.A.: Izbranye trudy po fotometriji i svetotechnike. Izd. fizičeskoj i matem. literatury, Moskva (1958)
- [18] Hannauer, K.: Normy přitopeného osvětlení průmyslových budov. Předběžný návrh, Orbis, Prague (1947)

- [19] ISO – International Standardisation Organisation: Spatial distribution of daylight – CIE Standard General Sky. ISO Standard 15409:2004 (2004)
- [20] Kähler, K.: Flächenhelligkeit des Himmels und Beleuchtungsstärke in Räumen. Meteorol. Zeitschrift, **25**, 2, 52-57 (1908)
- [21] Kittler, R., Darula, S., Perez, R.: A new generation of sky standards. Proc. LuxEuropa Conf., Amsterdam, 359-373 (1997)
- [22] 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**, 2, 109-119 (2006)
- [23] Kurian, C.P., George, V.I., Bhat, J., Radhakrishna, S.A.: ANFIS model for time series prediction of interior daylight illuminance. AIML Journ., **6**, 3, 35-40 (2006)
- [24] Lambert, J.H.: Die freye Perspektive, oder Anweisung, Jeden Perspektivischen Aufriß von freyen Stücken und ohne Grundriß zu verfertigen. Heidegger und Compagnie, Zürich (1759)
- [25] Lambert, J.H.: Photometria sive de mensura et gradibus luminis, colorum et umbrae. Augsburg (1760), Nemecký překlad: Anding, E.: Lamberts Fotometrie. Klett Publ., Leipzig (1892), Anglický překlad s poznámkami: DiLaura, D.L.: Photometry, or on the measure and gradation of light, colors and shade. Publ.IESNA, N.Y. (2001)
- [26] Littlefair, P.J.: Daylight coefficients for practical computation of internal illuminances. Lighting Res. Technol., **24**, 3, 127-135 (1992)
- [27] Luckiesh, M.: Light, vision and seeing. Van Nistrand, N.Y. (1944)
- [28] Mardaljevic, J.: The BRE-IDMP dataset: a new benchmark for the validation of illuminance prediction techniques. Lighting Res. Technol., **33**, 2, 117-136 (2001)
- [29] Marie, F.: Nouvelle découverte sur la lumière. Pour la mesurer et en compter les degrés. L. Sevestre, Paris (1700)
- [30] Moon, P. and Spencer D.E.: Illumination from a non-uniform sky. Illum. Eng., **37**, 10, 707-726 (1940)
- [31] Nabil, A. and Mardaljevic, J.: Useful daylight illuminance: a new paradigm for assessing daylight in buildings. Lighting Res. Technol., **37**, 1, 41-59 (2005)
- [32] Reinhart, C.F. and LoVerso, W.R.M.: A rules of thumb-based design sequence for diffuse daylight. Lighting res. technol., **42**, 1, 7-31 (2010)
- [33] Roy, G.G., Kittler R., Darula S.: An implementation of the Method of Aperture Meridians for the ISO/CIE Standard General Sky. Lighting Res. Technol., **39**, 3, 253-264 (2007)
- [34] Smith, W.: The action of light on selenium. J. Soc. Telegraphic Engineers, **2**, 31-33 (1873)
- [35] Tregenza, P.R. and Waters, I.M.: Daylight coefficients. Lighting Res. Technol., **15**, 2, 65-71 (1983)
- [36] Tregenza, P.: Standard skies for maritime climates. Lighting Res. Technol., **31**, 3, 97-106 (1999)
- [37] SNiP- Strojitelnye normy i pravila, II-A, 9-71 (1971)
- [38] STÚ Studijní a typisáční ústav: Typisáční sborník S – Studie o světle, STÚ Praha (1952)
- [39] Vitruvius, M.P.: De architectura libri X. Rome (13 BC, 1487), Anglický překlad: Granger, F.: Of Architecture, The ten books. Heinemann, London (1970). Český překlad: Otoupalík Deset knih o architektuře. Svoboda, Praha (1979)
- [40] Weston, H.C.: Illumination levels in building interiors. Proc. Build. Research Congress Div.3, Part III. 139-141 (1951)
- [41] Weston, H.C.: Bases for recommended values of illumination. Light and Lighting, **10**, 349-351 (1951)
- [42] Waldram, J.M.: Studies in interior lighting. Transac. IES (London) **19**, 4, 95-134 (1954)
- [43] Waldram, J.M.: Designed appearance lighting. In: Developments in Lighting -1. 113-138. Appl.Sci.Publ., London (1958)
- [44] Waldram, P.J.: The measurement of illumination, daylight and artificial: with special reference to ancient light disputes. Journ. Soc. of Architects, **3**, 131-140 (1909)
- [45] Waldram, P.J.: A standard of daylight illumination of interiors. The Illuminating Engineer, **3**, 469-472 (1909)
- [46] Waldram, P.J. and Waldram, J.M.: Window design and the measurement and predetermination of daylight illumination. Illum. Engineer, **16**, 4-5, 90-122 (1923)
- [47] Wittkopf, S. K.: A method to construct Virtual Sky Domes for the use in standard CAD-based light simulation software. Architectural Science Review, **47**, 3, 275-286 (2004)
- [48] Wittkopf, S. and Soon L.K.: Analysing sky luminance scans and predicting frequent sky patterns in Singapore. Lighting Res. Technol., **39**, 1, 31-51 (2007)

**Authors:** Doc. Ing. Richard Kittler, DrSc., Ústav stavebnictva a architektúry SAV, Bratislava. +421(0)259309250, [usarkit@savba.sk](mailto:usarkit@savba.sk)

# Indoor lighting – Energy Friendly Installations

## Abstract.

The paper gives a quick introduction to European norm EN 15193 “Energy Performance for Buildings – Requirements for Lighting”. It introduces and explains the influences of the different parameters to the annual energy consumption of the installation. More in detail, based on full scale implementation and on site metering, the different implemented measures and technologies and their respective influences is illustrated. The case study is the 17.000 head office building of Norconsult, Norway, witch over the past three years have implemented Energy Efficiency measures.

**Keywords:** Indoor lighting, energy efficiency, EN 15193, LENI

## Introduction

The focus on energy labelling of products to influence the public to buy energy friendly products, has moved on towards energy labelling of buildings. The Directive on energy performance of buildings (EPBD) [1] gives an incentive for all countries to give better guidelines and premises for energy friendly installations. For lighting the European Norm 15193 (Energy Performance of Buildings – Requirements for Lighting) has been published by the CEN as a guide for calculating the use of energy for lighting in buildings. By use of this standard the use of electrical power for lighting are estimated through stated standard parameters. But still it is allowed for more thorough investigations and measurements to adjust these assumptions. And, as experience shows, a more thorough investigation normally reveals a lower consumption, and hence a “better” energy class if used in this respect.

## EN-15193 Method of calculation

The European norm is given the name “Energy Performance for Buildings – Requirements for Lighting” [2]. It describes in detail the procedure for calculating the annual energy consumption. By introducing the LENI - Lighting Energy Numeric Indicator - it also in a simple way illustrate energy performance of the installation.

The normative part of the publication goes into detail in how to calculate the consumption, while the annexes, witch are only informative, gives examples on several measures to improve the performance.

The norm gives three options; quick or comprehensive calculation method, or energy metering. For most practical applications, the comprehensive calculation method (commonly on hour or monthly basis) is recommended.

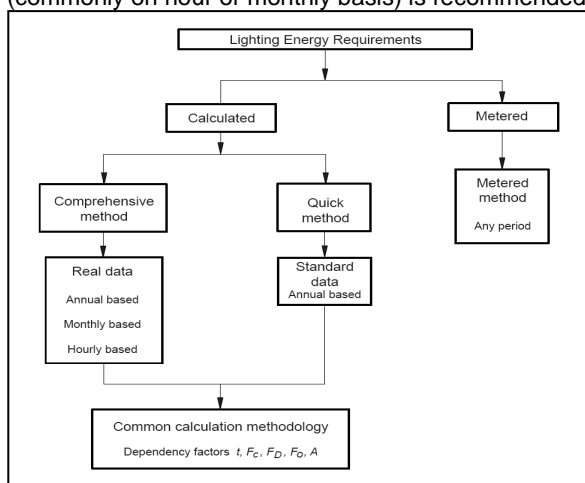


Fig.1. Calculation methods according to EN-15193.

To set up the calculation, the specific parameters of the building must be found; floor and window areas, geographical orientation of the facades, operation hours etc. Then the specific lighting parameters must be found;

- Installed power consumption
- Parasitic power consumption

Based on the above data, the annual theoretical consumption can be found.

LENI - the performance indicator is highly dependent on several additional factors influencing the energy consumption, given a dynamic installation;

- $t_D, t_N$  Operating hours ( day and night)
- $F_C$  Constant illuminance regulation
- $F_D$  Daylight utilization
- $F_O$  Occupancy situation

The LENI is expressed in annually consumption of kWh/m<sup>2</sup>.

In the annex, i.e. the table for occupancy factors for several standardised switching methods can be found:

**Table D.1 —  $F_{OC}$  values**

Systems without automatic presence or absence detection	$F_{OC}$
Manual On/Off Switch	1.00
Manual On/Off Switch + additional automatic sweeping extinction signal	0.95
Systems with automatic presence and/or absence detection	$F_{OC}$
Auto On / Dimmed	0.95
Auto On / Auto Off	0.90
Manual On / Dimmed	0.90
Manual On / Auto Off	0.80

Fig.2. Recommended values for switching modes.

But any metered valued if validated can be applied for the given area. The complete table (F.1) summarizes standard values for the individual factors.

**Annex F  
(informative)  
Benchmark values and lighting design criteria**  
Table F.1 — Benchmark default value

no	class	Parasitic Emergency Watt/m²/year	Parasitic Control Watt/m²/year	Watt/m²	h	h	no	cte	F <sub>c</sub>	F <sub>d</sub>	F <sub>o</sub>	LENI		LENI		
												Limiting value	Watt/m²/year	Limiting value	Watt/m²/year	
Office	**	1	5	15	2250	250	1	0.9	1	0.9	1	0.9	42.1	95.3	30.3	32.2
**	1	5	20	2250	250	1	0.9	1	0.9	1	0.9	54.8	45.5	49.8	41.4	
Education	**	1	5	25	2250	250	1	0.9	1	0.9	1	0.9	45.1	56.8	40.8	56.9
**	1	5	15	1800	200	1	0.9	1	0.9	1	0.8	38.9	37.2	21.9	24.8	
**	1	5	20	1800	200	1	0.9	1	0.9	1	0.8	44.9	34.4	40.9	31.4	
**	1	5	25	1800	200	1	0.9	1	0.9	1	0.9	54.9	41.8	49.9	38.1	
Hospital	**	1	5	15	3000	2000	1	0.9	0.9	0.8	1	0.8	75.0	55.8	65.0	50.7
**	1	5	25	3000	2000	1	0.9	0.9	0.8	1	0.8	115.0	91.1	104.4	82.3	
**	1	5	35	3000	2000	1	0.9	0.9	0.8	1	0.8	165.6	126.1	144.9	114.0	
Hotel	**	1	5	10	3000	2000	1	0.9	0.7	0.7	1	1	38.1	38.1	34.8	34.8
**	1	5	20	3000	2000	1	0.9	0.7	0.7	1	1	72.1	72.1	65.1	65.1	
**	1	5	30	3000	2000	1	0.9	0.7	0.7	1	1	108.1	108.1	97.6	97.6	
Restaurant	**	1	5	10	1250	1250	1	0.9	1	1	1	25.6	-	27.1	-	
**	1	5	25	1250	1250	1	0.9	1	1	1	1	67.1	-	68.6	-	
**	1	5	35	1250	1250	1	0.9	1	1	1	1	92.1	-	83.1	-	
Sport places	**	1	5	10	2000	2000	1	0.9	1	1	1	0.9	43.7	41.1	39.7	37.9
**	1	5	20	2000	2000	1	0.9	1	1	1	0.9	85.7	79.7	75.7	72.1	
**	1	5	30	2000	2000	1	0.9	1	1	1	0.9	122.7	117.7	111.7	106.3	
Retail	**	1	5	15	3000	2000	1	0.9	1	1	1	1	75.1	-	70.6	-
**	1	5	25	3000	2000	1	0.9	1	1	1	1	108.1	-	115.6	-	
**	1	5	35	3000	2000	1	0.9	1	1	1	1	178.1	-	160.6	-	
Manufacture	**	1	5	10	2500	1500	1	0.9	1	1	1	0.9	42.7	41.2	38.7	37.5
**	1	5	20	2500	1500	1	0.9	1	1	1	0.9	85.7	78.7	75.7	71.2	
**	1	5	30	2500	1500	1	0.9	1	1	1	0.9	122.7	115.2	111.7	105.0	

Fig.3. Lighting design criteria - Benchmark default values.

### Real time project – Norconsult office building

From 2007 and onwards Norconsult AS has conducted an Energy Efficiency project at the head office building in Norway (17 000 square meters). Among the measures, the lighting installation has been focused. Both office lighting and general corridor lighting (LED) has been refurbished and new control equipment as well as control strategies, have been implemented.

The project was also supported by the National Energy Efficiency fund of Norway, Enova SF, as a “Lighthouse” project [3].

The project covers following main measures undertaken:

- Renovation of building automation
- New luminaries (T5) in the offices, garage
- New luminaries (LED) in corridors, canteen
- New luminaries (LED) in toilets, occupancy
- Energy recovery for data server installations
- Several minor measures(i.e new pumps etc)

The total energy savings, 35 %, was calculated according to in-depth dynamically calculations. The main saving potentials were found to be 1) electricity for ventilation fans, 2) lighting installation, beside 3) cooling purposes (both AC and data). The total heating consumption was found not to change at all, as it balances between decreased consumption as a result of improved automation and increased demand during wintertime due to less heating from the lighting installation.

### Highest savings rate obtained in the garage

The garage is located in the basement of the building, over two floors. The original installation was continuously on 100%, even during weekends. By full retrofit of 2x58W into 1x49W and introduction of occupancy detection, the reduction was tremendous. The calculated LENI values for the old and new installations was respectively 16 and 3 (kWh/m<sup>2</sup>-year).

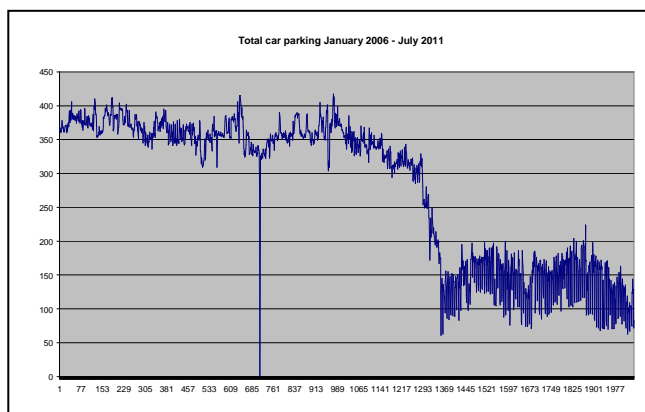


Fig.4. Development of consumption before, during, and after implementation.

Looking at the changes only related to lighting, the consumption is down 75%. Several operational strategies have been tested out, resulting in fixed dimmed level at 10% (as minimum even during night). The four zones are individually dimmed after 10 minutes inactivity.

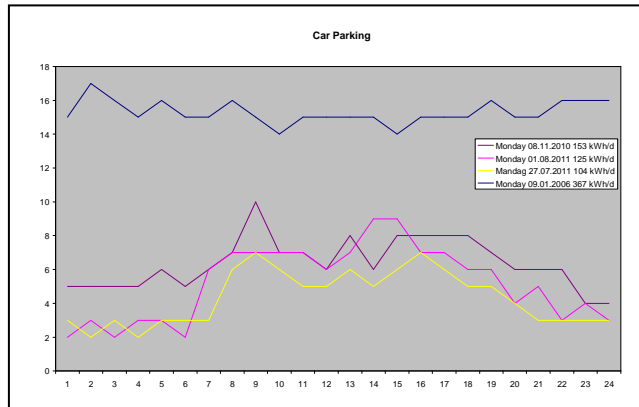


Fig.5. Development of consumption before and after implementation, all different Mondays.

As illustrated in the figure above, the baseline situation performed a relatively constant consumption (incl. some loads independent of lighting). After implementation there are differences also between “normal” days (1<sup>th</sup> of August) and holidays (27<sup>th</sup> of July) besides the changes over the working/non-working hours.

Going more into details, also differences between the weekdays occurs. One can observe that on Fridays the people leave the office earlier than during weekdays. During weekends, sometimes only the upper floor is active due to people present.

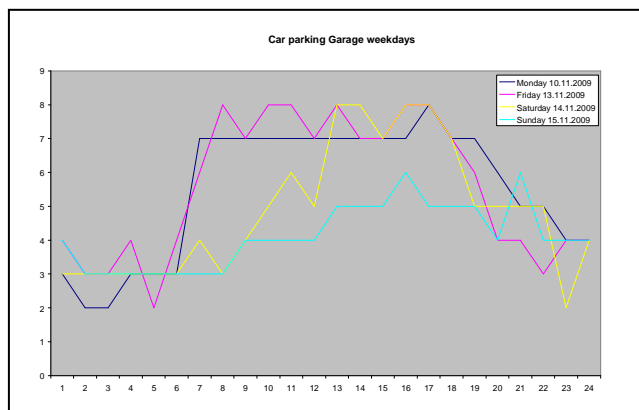


Fig.6. Energy performances for individual weekdays.

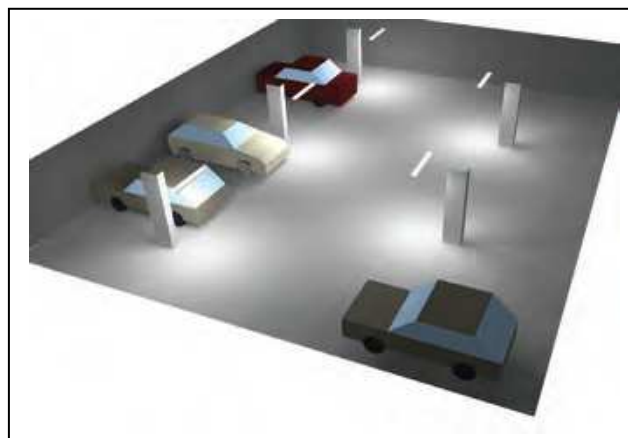


Fig.7. Lighting design for car parking in basement, lower level.

### Constant illumination, a difficult task

In the private/individual offices (approx. 600 rooms) the new 2x28W luminaires replaced the old 1x58W. The installed power is almost the same, but the lighting quality improved quite a lot. The old control system was based on manual centralized on in the morning and automatic off in the evening, with possibilities to request for additional period (one hour each time). The calculated **LENI** values for the two installations was respectively **22** and **6** (kWh/m<sup>2</sup>-year).

The new luminaires are equipped with occupancy and constant illumination functions integrated into the luminaire. Due to delivery errors, implementation was delayed. When later implementing the constant illumination function detector initiated the dimming to start too early, leading to too low illuminance levels at the working place, and hence had to be set out of operation.

Based on occupancy detection only, during week 42, the below comparison could illustrate the saving potentials without constant illumination detection.

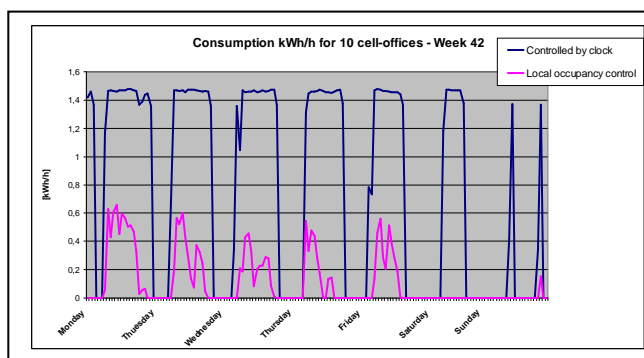


Fig.8. Energy performances for individual weekdays.

The graph clearly illustrates the situation. Most of the time, the offices are not in use. The occupant is then either working other places in the building, working outside the premises (consultancy activities) or working from home.

The lunch-period can easily be seen most days, as well as the rather low occupancy during the weekend.

### Do not forget cleaning

Luminance metering done before and after cleaning (the upper shadings of the luminaires) show from 3-17% reduction of lighting levels measured at the occupant's desk.



Fig.9. Luminance levels, private/individual offices.

### Dimmable LED's in corridors

In the corridors dimmable LED luminaires were installed. The main idea was to reduce the output after working hours. Based on some testing, the output is now also slightly reduced during daytime according to daylight levels. During "outside working hours", the LED is dimmed 80 %.

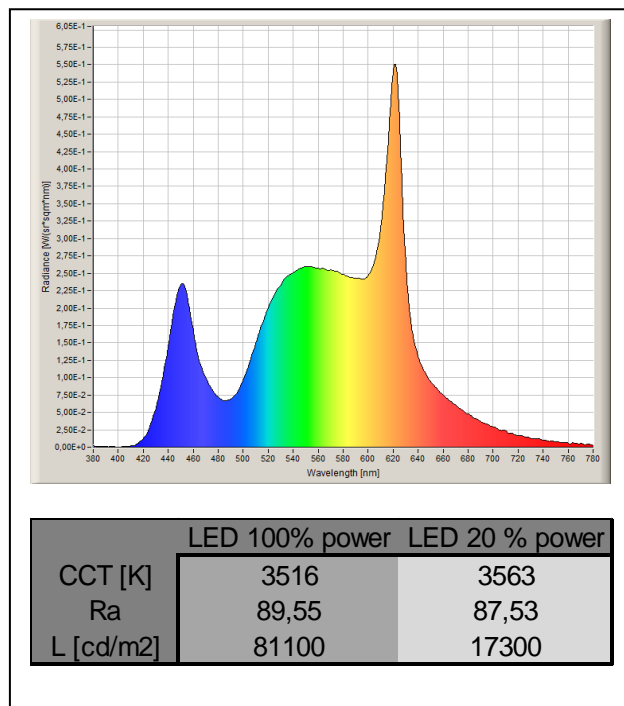


Fig.10. Colour rendering performance of LED luminaires.

The Ra index of a LED is not easy to compare with the fluorescents lamp, but it is quite good, also when dimmed. But, the Ra9 index is poor and goes down from low 49 to 36 when dimmed. The overall performance is very satisfying.

In the toilets the LED is either on/off, based on occupancy detection. The rapid 100 % output performance of the LED is the background for adapting this strategy.

It is not easy to perform metering of only lighting, as the circuits in most cases are mixed. The hourly consumption of the electricity to the whole building covers basic consumption to server installations (approx. 40 kW), PC's and other office machines, canteen, lighting etc. The heating, cooling, ventilation and the consumption in the car-park is metered separately.

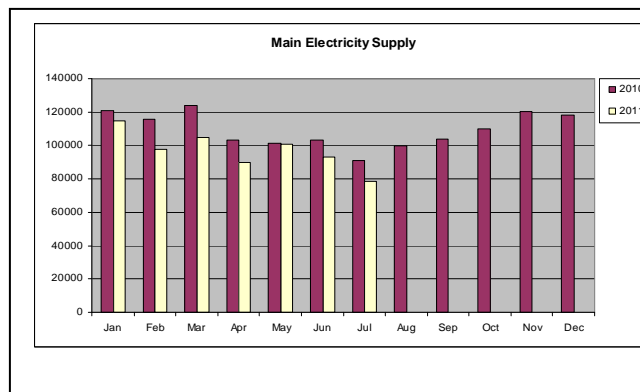


Fig.11. Development in electricity consumption, case study.

The above figure illustrates that there are some minor electricity consumption for heating purposes. But one can also clearly see that the reduction set off from Jan/Feb as the occupancy detection is implemented over this period.

In February and April, the respective winter and Easter holidays gives an immediate reduction due to occupancy detection. This is also the situation in July. During wintertime the reduction of electricity had to be compensated with additional district heating, while during early spring and late summer cooling should be avoided for a longer period.

More in details the consumption based on hourly metering shows the change of behavior and or working hours also can be seen directly from the consumption graphs below.

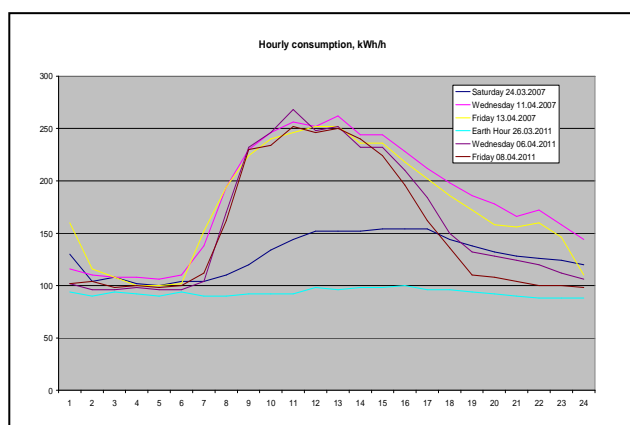


Fig.12. Development in electricity consumption, weekdays.

Due to occupancy detection the reduction is approximately 20-25%, and yields much higher values than recommended in the appendix of the EN-15193.

### EN-15193 consequences

As the in the appendix of EN -15193 is only informative, the given values for the most influencing factors are only recommendations for any calculation. If the given installation can obtain higher values, than recommended, this should also affect the calculation. EN-15193 allows also performing metering; hence the metered values for the factors should also be suitable. This will again, if as in Norway, also influence the LENI value and finally the energy certificate.

The large saving potentials as documented in this project may not directly be transferred to other office buildings. The savings is high due to high number of private/individual offices. Also the poor "baseline" situation must be considered, and gave huge savings in this case. Even so, the savings in the garage could be even higher, but is due to safety reason not utilized fully.

There are still other untapped potentials, and these will be developed over the coming years. The last updated saving figures indicate a result between 35-40% overall reduction in consumption, higher than first calculated.

### Discussions

The values set for the most important factors of the EN-15193 are crucial for the calculated energy consumption. In many practical cases, the theoretical and practical values may differ quite much. In the case of high divergence, the EN-15193 opens up for metered values. In the cases outlined in this paper, this is the situation. By utilizing real values for i.e the occupancy factor, the LENI value will change dramatically. When utilizing advanced management systems, not only the occupancy factor but also daylight factor and "time of operation (day and night)" may differ a lot. To perform investigations may not only result in a better certificate rating, but also in a better understanding of the performance of the building. This would trigger introduction of additional energy saving measures.

The informative part of the EN-15193 should, based on the case presented in this article, as well as other similar cases be revised according to a more dynamic approach for setting the values. Also dimming strategies for non-constant illumination installations should be derived. Further case studies to document the several aspects should be initiated ahead of such a revision.

### Conclusions

**By combining energy efficiency measures where both electricity savings from modern lighting installations and control systems and where at the same time heating/cooling measures are implemented, the energy performance of the building can be improved quite substantial.**

**The EN-15193 also illustrates huge differences in the LENI values for similar installations utilising various new and old technology. By verifying metered values of reduced consumption based on new automatic control systems, the overall LENI value can be improved, both theoretically and in real operation. This may in many cases lead to a higher class for the building performance certificate, as well as valuable energy cost reductions for the owner.**

**Hence the EN-15139 should be revised to incorporate in a better way the possibilities of new lighting control technology.**

### REFERENCES

- [1] EU: The Directive on energy performance of buildings (EPBD); 2003/2010
- [2] CEN: Energy Performance for Buildings – Requirements for Lighting, CEN 200
- [3] Enova SF: <http://naring.enova.no/sitepageview.aspx?sitePageID=1402>

### Authors:

Msc. Tor Mjøs, Norconsult AS, Pb 626, 1303 Sandvika Norway, e-mail [Tor.Mjos@Norconsult.com](mailto:Tor.Mjos@Norconsult.com)  
 PhD Scholar Paal J Larsen, Norconsult AS, Pb 626 1303 Sandvika Norway, e-mail [Pal.Johannes.Larsen@Norconsult.com](mailto:Pal.Johannes.Larsen@Norconsult.com)

## Parameterisation of daylight exterior conditions

**Abstract.** Natural light has played an important role in human life. It influences health and wellbeing of occupants in building interiors. To simulate daylighting and energy performance of buildings it is necessary to know daylight conditions during various situations that can occur during the day. There are several procedures for determining daylight conditions in different locations. Because natural light changes continually the various methods based on parameterisation of daylight variables were published. The quantitative and qualitative exterior daylight characteristics and their parameterisation are discussed in this paper.

**Keywords:** Daylighting, daylight conditions, parameterisation, daylight availability

### Introduction

The daylight climate with its year-round changes can be determined at an arbitrary location by many local influences, such as movements of air masses, atmospheric optical properties, cloudiness, geographical longitude and local topography. Daylight conditions in Slovakia are characteristic for the European temperate climate and especially for the Central European zone, [1]. Cloudy and overcast skies occur mainly during the winter period. Due to low solar altitudes also lower levels of exterior illuminances are available. Daily illuminance courses during spring and autumn periods are characterised by similar illuminance levels and their time changes, [2]. The highest levels of global illuminances occur during summer months. Overcast skies with low illuminance can be expected scarcely, mainly during rainy days or their parts. There are a lot of days with fast-moving clouds on the sky vault which cover and uncover the sun disk in short intervals. This causes the dynamic daylight conditions on the ground, [3]. Results of long-term measurements show us that two of the equal daily global and diffuse illuminance courses have not been found in the Bratislava CIE IDMP database.

To describe daylight conditions in a location some specific characteristics based on measured data can be applied, [4 - 7]. There are two dominant basic approaches:

- the recalculation of broadband data from radiative measurements to photometric data;
- the processing of photometric measurements.

When radiative data is used for determination of photometric variables then it is important to consider some of error due to unit conversion and different daylight conditions. This error can be very high during dynamic situations [8]. Only photometric data and variables should be applied in photometric studies and calculations.

In dependence on the purposes and tasks the instantaneous data or averaged values calculated for various intervals are used.

Both global and diffuse illuminance are generally measured at CIE IDMP stations. The instantaneous 1-minute data or 5-minute averages are available for various studies and evaluations. Walkenhorst et al. in [9] and Darula and Kittler in [10] showed that average values are very sensitive to the length of the selected interval and eliminate the variability of daylighting.

### Parameterisation of illuminances

The horizontal global  $G_v$  and diffuse  $D_v$  illuminances are commonly measured at CIE IDMP stations. If direct solar illuminance  $P_v$  is not measured then its value is calculated as difference between global and diffuse values. Availabilities of all components are very often calculated as daily or monthly occurrences using statistical

characteristics. Two examples of the occurrence of the horizontal global and diffuse illuminance measured in Bratislava in 1995 are presented in Fig. 1 and Fig. 2.

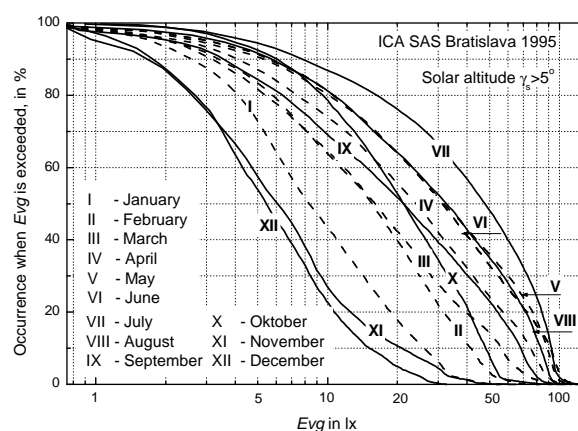


Fig. 1. Cumulative distributions of monthly horizontal global illuminance.

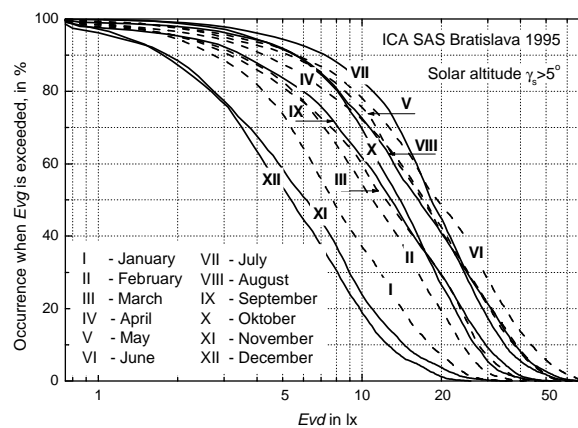


Fig. 2. Cumulative distributions of monthly horizontal diffuse illuminance.

Liu and Jordan in [11] proposed the dimensionless parameters  $kt$  and  $kd$  to be used for the interrelationship of solar radiation components as follows:

$$(1) \quad kt = G_e/E_e$$

and



$$(2) \quad kd = De/Ge$$

where:  $Ge$  – global horizontal irradiance,  $De$  – diffuse horizontal irradiance,  $Ee$  – extraterrestrial horizontal irradiance.

Original parameters  $kt$  and  $kd$  were proposed for evaluation of hourly irradiances. In Fig. 3 a relation between radiation components measured in Bratislava during July 1996 is documented. When sunshine criterion  $Pe_{\perp} > 120 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$  and instantaneous data are applied then the ratio of  $Pe/Ee = 0,1$  is working as the separator between sunny and sunless situations. The  $Pe_{\perp}$  expresses direct solar irradiance on the perpendicular plane to sun beams.

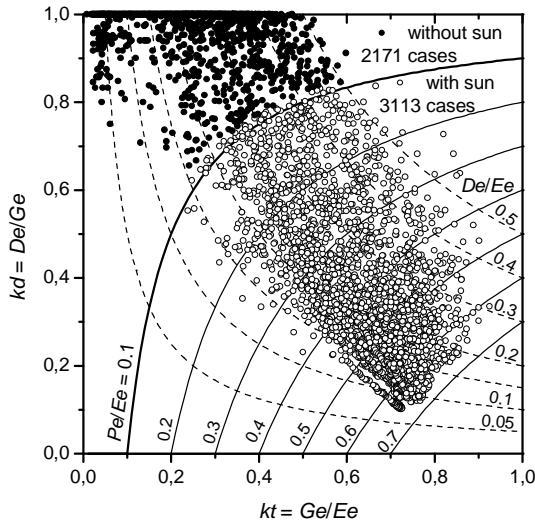


Fig. 3. Separation of sunny and sunless situation in  $kdlkt$  diagram, Bratislava 5-minute data, July 1996.

The interrelation of all three basic components  $G_v$ ,  $D_v$  and  $P_v$  can be normalised to the corresponding extraterrestrial value  $E_v$ . Fig. 4 shows the same data base used in Fig. 3 but now the illuminance values were applied

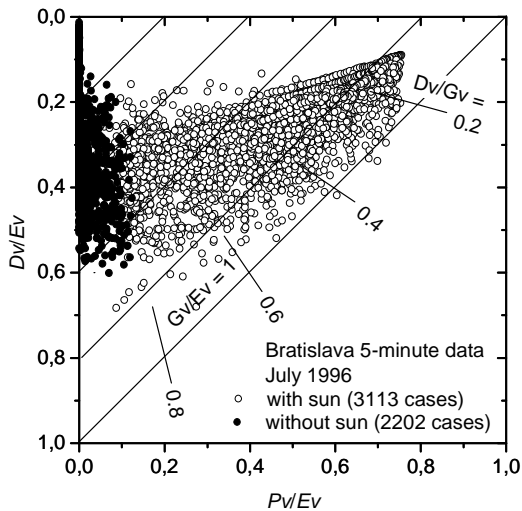


Fig. 4. Presentation of daylight situations in a PDG diagram

in a PDG diagram. The advantage of the PDG diagram is in the direct presentation of the sunlight  $P_v/E_v$  and skylight  $D_v/E_v$  efficiencies while the their sum  $G_v/E_v$  can be read on the diagonally placed scale and  $D_v/G_v$  on the radial lines.

Changes of daylight conditions during various days or months can be illustratively presented in the PDG diagram as shown in Fig. 4 and Fig. 5.

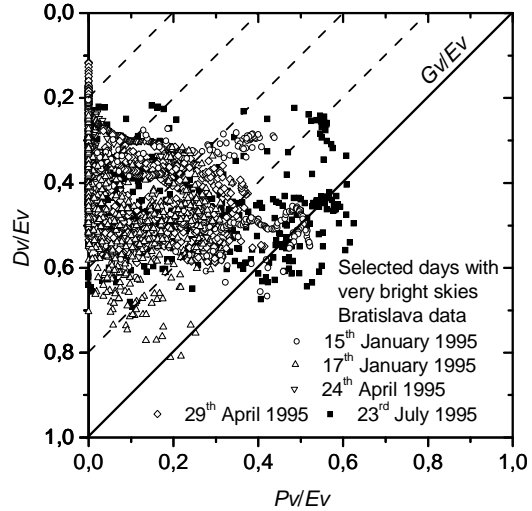


Fig. 5. Presentations of daylight situations under very bright skies during selected days.

Black dots presenting overcast skies in Fig. 4 are placed on the left site, close the y-axis, in the area bordered by  $P_v/E_v < 0,05$  and  $0 < D_v/E_v < 0,6$ . The more efficiency situations are situated more to the left and to the upper part of this diagram. An example of identification of very bright skies is presented in Fig. 5. Because the atmosphere is very turbid in this case the symbols are slightly shifted down and limited by  $P_v/E_v = 0,6$ .

#### Parameterisation of the zenith luminance

The parameter  $L_z/D_v$  is very important and can be used for classification of sky type luminance distributions. Its daily dependence on the solar altitude during homogeneous situations is continual without significant fluctuations as is shown in Fig. 6. During a densely overcast day a constant trend of  $L_z/D_v$  values is registered.

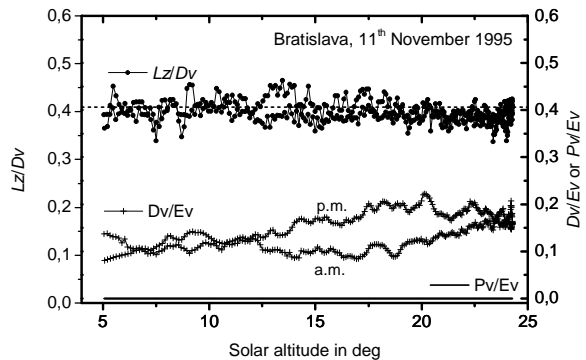


Fig. 6. Trends of  $L_z/D_v$  and  $D_v/E_v$  ratios during a densely overcast and rainy day

Cloudy days are characteristic by changes of sunny and sunless periods. Frequency and length of these periods determine the dynamics of exterior illuminance levels during these days. Also  $D_v/E_v$ ,  $P_v/E_v$ ,  $G_v/E_v$  and  $L_z/D_v$  sequences with high variability of consecutive values can be identified. An example of morning and afternoon day courses of the  $L_z/D_v$ ,  $D_v/E_v$  and  $P_v/E_v$  ratios is documented in Fig. 7. The sunless situation is documented during the morning in this selected November day. Courses of  $L_z/D_v$  and  $D_v/E_v$  continually change due to changes of the cloud layer. The situations with frequent changes of sun illuminance levels were found in the afternoon. The sensitivity of  $L_z/D_v$  and  $D_v/E_v$  parameters to  $P_v/E_v$  changes is lower and therefore an evident trend cannot be observed during this dynamic situation.

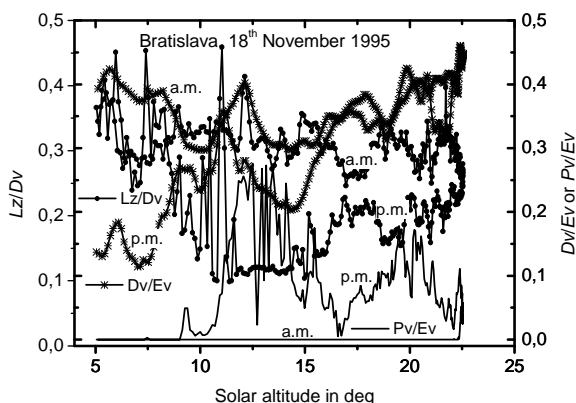


Fig. 7. Changes of  $L_z/D_v$ ,  $D_v/E_v$  and  $P_v/E_v$  ratios during a cloudy day.

The sunny and sunless situations can be selected also by the  $L_z/D_v$  parameter. Because global illuminance  $G_v$  comprises both  $D_v$  and  $P_v$  components the ratio of  $G_v/E_v$  covers all occurring daylight situations. When the relation between  $L_z/D_v$  and  $G_v/E_v$  is plotted the efficiency of daylight can be studied, as shown in Fig. 8. Low values of  $G_v/E_v$  indicate skies with higher thickness of cloud layer or skies with very high atmospheric turbidity. High values of  $G_v/E_v$  suggest occurrence of sunny situations with lower atmospheric turbidity.

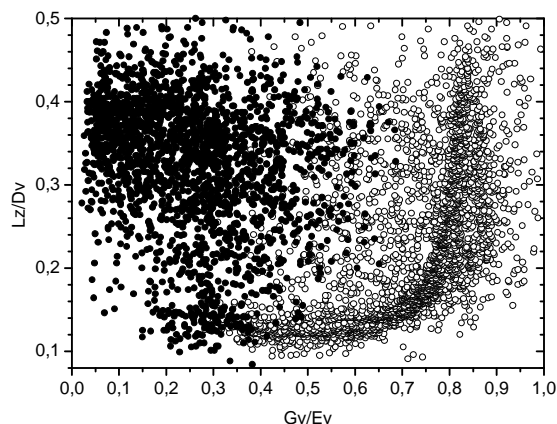


Fig. 8. Grouping of prevailing sky types, Bratislava July 1996

## Parameterisation of atmospheric turbidity

Linke turbidity factor  $T_L$  is a basic parameter describing broadband attenuation of sun radiation penetrating the atmosphere. If this attenuation is expressed in the visible range of radiation the luminous turbidity factor  $T_v$  can be determined. Similarly to the above descriptions also this parameter can be applied in the study of the optical properties of the atmosphere during situations when the sun is shining. It was found [12], that a dependence of  $T_L$  in the  $De/Ge$  exists. Value of  $De/Ge = 1$  in Fig. 9 indicates overcast skies. During this situation instantaneous or 5-minute average data of measurements cover a very wide range of  $T_L$  in this figure, probably due to the sun shining occasionally. Towards the lower values of  $De/Ge$  the range of  $T_L$  is shorter because of very high probability of occurrence of clear homogeneous skies. Results in Fig. 9 show possibility clustering of  $T_L$  after cloud ratio  $CR$ .

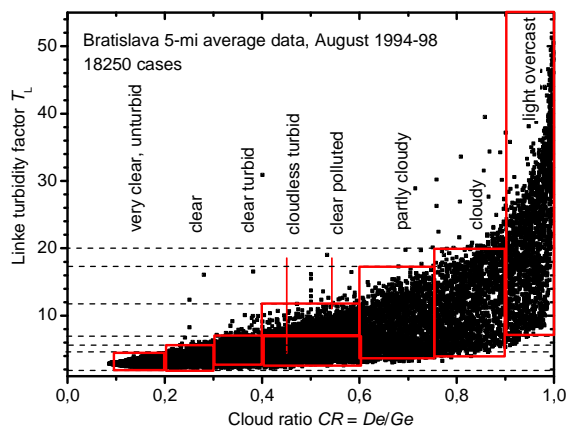


Fig. 9. Relation between Linke turbidity factor  $T_L$  and the Cloud ratio  $CR$ .

## Conclusions

Studies of general interrelations of daylight variables, daylight climate parameters or daylight availability in any locality require processing of huge databases of measurements. To better understand the influences of atmospheric properties, sunheight and cloudiness on the illuminance variability, the appropriate methods for their evaluation and presentation should be chosen. The discussion about possibilities of study of photometric variables shows that the type and quality of data and the purpose of their processing play the cardinal role. Because extraterrestrial illuminance can be calculated simply the parameterisation to this value is helpful and in daylight studies very effective.

*Acknowledgments:* The study of inhomogeneous daylight conditions was supported under the project APVV-0177-10 while application of measured data under VEGA 2/0029/11 and disseminations of knowledge orientated to students under APVV SK-CZ – 0015-09.

## REFERENCES

- [1] Kittler, R., Darula, S. Prevailing sky conditions. Identifying simple parameters for definition, *Lighting Research and Technology*, 29, (1997), No. 2, 63-68. 1
- [2] Bartzokas, A., Darula, S., Kambezidis, H., Kittler, R. Sky luminance distribution in Central Europe and the Mediterranean

during winter period, *Journal of atmospheric and solar-terrestrial physics*, 65, (2003), No. 1, 113-119.

[3] Darula, S., Kittler, R. Sunshine duration and daily courses of illuminances in Bratislava, *International Journal of Climatology*, 24, (2004), No. 14, 1777–1783.

[4] Nakamura H., Oki M., Hayashi Y., Iwata T.: Daylighting availability theory and measurements. In: Proc. International Daylighting conference. Long Beach, 1986, p. 61-66

[5] DARULA, S. Štatistické charakteristiky exteriérovej osvetlenosti v Bratislave podľa meraní počas rokov 1994 a 1995. (Statistical characteristics of exterior illuminance measured during 1994 - 1995). *Svetelná technika*, 30, (1997), No. 3-4, 42-46.

[6] KITTLER, R, DARULA, S. Parametrisation problems of the very bright cloudy sky conditions. *Solar Energy*, 62, (1998), No. 2, 93-100.

[7] KITTLER, R, DARULA, S. Parametric definition of the daylight climate. *Renewable Energy*, 26, (2002), No. 2, 177-187.

[8] DARULA, S. KITTLER, R. Uncertainties of luminous efficacy under various skies. Proc. The 4th Int. Conf. Lighting Engineering 2008, Ljubljana, p. 315-322.

[9] WALKENHORST, O., LUTHER, J., REINHART, CH., TIMMER, J. Dynamic annual daylight simulations based on one-hour and one-minute means of irradiance data. *Solar Energy*. 72, 2004, No. 5, 395.

[10] DARULA, S., KITTLER, R. Parameterisation of the four half-day skylight types. *Renewable Energy* 2. Intechweb, 2011, in print.

[11] Liu B.Y.H., Jordan R.C. The interrelation and characteristic distribution of direct, diffuse and total solar radiation. *Solar Energy*, 4, (1960), No. 3, p. 1-19.

[12] DARULA, S. The atmospheric turbidity classification for energy use. Proc. VI. Ogólnopolska. Conf. Problemy projektowania, realizacji i eksploatacji budynków o niskim zapotrzebowaniu na energie, Energodom 2002, Zakopane, p. 69-80.

---

**Authors:** Dr. Stanislav Darula, Institute of Construction and Architecture, Slovak Academy of Sciences, Dubravská cesta 9, SK-845 03 Bratislava 45, Slovakia, e-mail: [usarsdar@savba.sk](mailto:usarsdar@savba.sk)

# Meranie svetelnotechnických a elektrických parametrov lineárnej žiarivky pri použití rôznych typov predradníkov

**Abstract.** Článok sa zaoberá meraním svetelnotechnických a elektrických parametrov žiarivkového osvetlenia pri použití rôznych typov predradníkov.

**Keywords:** žiarivka; predradník; napätie, výkon, svetelný tok, intenzita osvetlenia

## Introduction

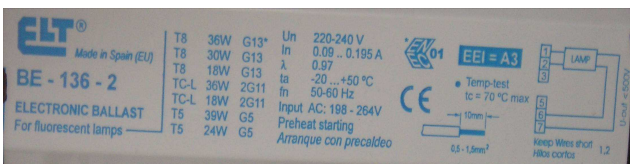
Svetelné zdroje v interiéroch, okrem teplotných, potrebujú pre svoju činnosť predradné prístroje. U výbojových svetelných zdrojov (napr. lineárne a kompaktné žiarivky) je predradník nevyhnutnou súčasťou. Počas dlhých rokov existencie výbojových zdrojov sa najčastejšie používali indukčné predradníky, aj keď ich rozmery, hmotnosť a veľkosť energetických strát pri napájaní zo siete s frekvenciou 50 Hz prinášali množstvo problémov. S rozvojom elektroniky sa objavili vhodné meniče frekvencie, ktoré sa stali základom elektronických predradníkov pracujúcich s vysokou frekvenciou. V článku je uvedený postup a výsledky meraní prevádzkových parametrov žiarivkového osvetlenia použitím rôznych typov predradníkov.

Pre porovnanie jednotlivých spôsobov prevádzky lineárnych žiariviek boli vykonané merania štandardnej MASTER TL-D 18W / 840 trojfasovej lineárnej žiarivky (ďalej len 18W trubica) v zapojení s:

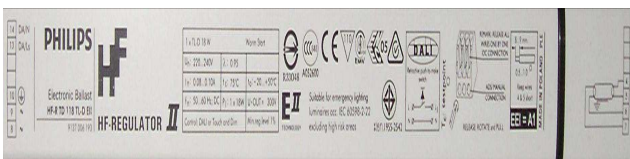
- s elektromagnetickým predradníkom bez kompenzácie (použitá tlmička značky PHILIPS – BTA 118 kategórie EEI=C) – obr. 1,
- s elektronickým predradníkom bez stmievania (použitý predradník značky ELT – BE 136-2 kategórie EEI=A3) – obr. 2,
- s digitálnym stmievateľným DALI predradníkom (použitý predradník značky PHILIPS – HF-R TD 118 kategórie EEI=A1) – obr. 3.



Obr.1. Tlmička PHILIPS – BTA 118 kategórie EEI=C



Obr.2. Predradník ELT – BE 136-2 kategórie EEI=A3



Obr.3. Predradník PHILIPS – HF-R TD 118 kategórie EEI=A1

## Porovnanie prevádzky lineárnej žiarivky s rôznymi zapaľovacími zariadeniami

Elektrické vlastnosti jednotlivých elektrických obvodov boli merané pomocou meracieho prístroja 434 FLUKE – POWER QUALITY ANALYZER (v.č. DM9060002). Boli merané nasledovné parametre:

- okamžité napätie  $U$  [V],
- okamžitý príkon  $P$  [W],
- okamžitý zdanlivý výkon  $S$  [VA],
- okamžitý jalový výkon  $Q$  [Var],
- power factor,
- $\cos \varphi$ ,
- charakter záťaže.

Priebeh merania bol nasledovný. Každé zo zapojení trubice boli vždy samostatne pripojené na meracie okruhy analyzátoru kvality elektrickej energie. Na prístroji bolo nastavené meranie jednofázového uzemneného obvodu. Na primárnej strane predradníkov boli pripojené prúdové a napäťové okruhy a kontakty meracieho prístroja. Samotný predradník bol potom uvedený do prevádzky na sieťovom napätí 230V 50Hz. Pri elektromagnetickom obvode s tlmičkou BTA 118 bol zopnutý obvod a po ustálení (cca 5 min.) boli odmerané spomínané parametre. Rovnako sa postupovalo aj pri elektronickom predradníku BE 136-2. Tieto zariadenia majú len dva režimy prevádzky – zapnutý (100 %) / vypnutý (0 %). Naproti tomu predradník HF-R TD 118 je digitálny DALI plynulo regulovateľný predradník. V spolupráci s ovládaním cez pripojený počítač bol tento predradník uvedený do prevádzky na plnú 100 % intenzitu. Postupne sa potom intenzita znižovala stále o 10 % nižšie až po hodnotu 10 %. Následne sa zmenšil krok znižovania na 2 % a týmto krokom sa pri meraní intenzita postupne znižovala až do stavu 0 %. Namerané a vypočítané výsledky sú uvedené v Tab.1 a porovnané s **Chyba! Nenalezen zdroj odkazů..**

Tab. 1 Namerané a prepočítané hodnoty pre porovnanie prevádzky 18W trubice s rôznymi predradníkmi

Meriecny prístroj POWER QUALITY ANALYZER EXTECH EasyViewTM 33 (v.č.060901984) LIGHT METER	BTA118 tlmička typu "C"	BE elektronický predradník typu "A3"	HFR stmievateľný predradník typu "A1"																	
			0%	100%	0%	100%	100%	90%	80%	70%	60%	50%	40%	30%	20%	10%	8%	6%	4%	2%
Regulačný stupeň	0%	100%	0%	100%	100%	90%	80%	70%	60%	50%	40%	30%	20%	10%	8%	6%	4%	2%	1%	0%
intenzita svetla $E$ [lx]	0.0	1315.0	0.0	1527.0	1223.0	1191.0	1059.0	911.0	771.0	644.5	504.0	386.7	263.3	126.0	92.2	63.1	35.4	20.3	12.4	0.0
prepočítaný relatívny svetelný tok $\Phi_{rel}$ [%]	0%	100%	0%	125%	100%	97%	87%	74%	63%	53%	41%	32%	22%	10%	8%	5%	3%	2%	1%	0%
namerané napätie $U$ [V]	223.6	223.6	223.8	223.8	223.4	223.8	223.6	223.7	223.5	223.4	222.2	221.8	222.0	223.2	223.5	223.7	223.4	223.8		
nameraný príkon $P$ [W]	0.0	28.4	0.0	16.9	14.9	14.6	12.9	11.2	9.7	8.5	7.3	6.1	4.9	3.5	3.2	3.2	3.1	3.0	3.2	0.4
prepočítaný relatívny príkon $P_{rel}$ [%]	0%	191%	0%	113%	100%	98%	87%	75%	65%	57%	49%	41%	33%	24%	22%	21%	21%	20%	22%	3%
nameraný výkon $S$ [VA]	0.0	73.3	0.0	20.1	16.8	16.6	15.0	13.3	11.9	10.8	9.7	8.6	7.4	6.3	6.0	6.0	6.0	6.1	6.1	3.8
nameraný jalový výkon $Q$ [Var]	0.0	67.6	0.0	10.9	8.1	8.1	7.7	7.2	6.8	6.7	6.4	6.0	5.6	5.2	5.0	5.1	5.1	5.2	5.2	3.8
vypočítaný úsp $I$ [A]	0.00	0.33	0.00	0.09	0.08	0.07	0.07	0.06	0.05	0.04	0.04	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03
charakter záťaže (R.L.C)	L	L	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C
power factor $\cos \varphi$		0.39		0.81	0.87	0.87	0.85	0.82	0.80	0.77	0.73									
účinník		0.39		0.84	0.88	0.88	0.86	0.84	0.81	0.79	0.75	0.71	0.66	0.56	0.54	0.52	0.51	0.51	0.53	0.14

Prepočítaný relatívny príkon je určený vzťahom

$$P_{rel} = \frac{P_i}{P_{HF-R}} \cdot 100 \text{ [%; W, W]}$$

kde

$P_i$  - nameraný príkon

$P_{HF-R}$  - príkon pri regulačnom stupni 100 % predradníka PHILIPS – HF-R TD 118

Tab. 2 EEI klasifikácia predradníkov podľa EU smernice 2000/55/EC [2]

Typ svetelného zdroja	Popis svetelného zdroja	Príkon svetelného zdroja		triedy EEI							
		50 Hz	vysoko-frekvenčný	A1	A2	A3	B1	B2	C	D	
T	FD-15-E-G13-26/450	15W	13.5W	9W	16W	18W	21W	23W	25W	> 25W	
	FD-19-E-G13-26/600	18W	16W	10,5W	19W	21W	24W	26W	28W	> 28W	
	FD-30-E-G13-26/895	30W	24W	16,5W	31W	33W	36W	38W	40W	> 40W	
	FD-36-E-G13-26/1200	36W	32W	19W	36W	38W	41W	43W	45W	> 45W	
	FD-38-E-G13-26/1047	38W	32W	20W	38W	40W	43W	45W	47W	> 47W	
	FD-58-E-G13-26/1500	58W	50W	29,5W	55W	59W	64W	67W	70W	> 70W	
	FD-70-E-G13-26/1800	70W	60W	36W	68W	72W	77W	80W	83W	> 83W	

U tlmičky BTA 118 bol nameraný príkon 28,4 W, čo o 0,4 W presahuje údaj uvedený v **Chyba! Nenalezen zdroj odkazů.** Pravdepodobne to však bolo spôsobené rušením a kolísaním napájacej siete. V podstate môžeme konštatovať, že tlmička vyhovuje uvedenej kategórii C. U elektronického predradníka BE 136-2 bola nameraná hodnota príkonu 16,9 W, čo je približne o 4 W menej ako je uvedené v **Chyba! Nenalezen zdroj odkazů.**, takže vyhovuje svojej kategórii A3 dokonca by vyhovoval aj kategórii A2. Pri stmievateľnom predradníku HF-R TD 118 bol nameraný maximálny príkon 14,9 W. V **Chyba! Nenalezen zdroj odkazů.** pre kategóriu A1 je uvedená hodnota 10,5 W, čo zodpovedá približne príkonu pri regulácii na 65 %.

Počas merania sa odčítaval aj účinník a power factor. Elektrický obvod s tlmičkou BTA 118 bez kompenzácie vykazoval výrazné jalové straty. Power factor sa pohyboval okolo hodnoty 0,39. Použitie veľkého množstva svietidiel s takýmito predradníkmi by viedlo k narušeniu kvality dodávky elektrickej energie. Preto je bezpodmienečne nutné takéto zariadenia kompenzovať. Aj keď výrobcovia uvádzajú pri elektronických predradníkoch účinník vyšší ako 0,9, namerané hodnoty sa od uvedených líšili. A síce pri predradníku BE 136-2 bol nameraný účinník 0,84 a power factor 0,81. Pri predradníku HF-R TD 118 bol nameraný účinník 0,88 a power factor 0,87. Zároveň vidno (Obr.5), že postupným stmievaním sa hodnota účinníka a power factoru ďalej zhoršuje. Pri regulačnom stupni 30 % merací prístroj prestal vykazovať hodnoty účinníka a power factoru. Preto bola hodnota účinníka prepočítaná podľa nameraného príkonu a zdanlivého výkonu.

Ďalej sa pomocou certifikovaného luxmetra EXTECH EasyViewTM 33 Light Metra (v.č. 060901984) v jednotlivých zapojeniach merala osvetlenosť (60 cm pod stredom rozsvietennej trubice). Toto meranie prebiehalo v nočných hodinách, keď mohli byť vylúčené iné svetelné zdroje, ktoré by skresľovali výsledok merania. Odmerala sa samostatne osvetlenosť pri prevádzke trubice s tlmičkou BTA 118, potom s elektronickým predradníkom BE 136-2 a nakoniec s regulovateľným predradníkom HF-R TD 118. Podobne ako pri meraní príkonu aj pri tomto meraní sa postupne znižovala intenzita zo 100 % až na konečných 0 %. Z nameraných hodnôt sa potom prepočítal relatívny svetelný tok  $\phi_{rel}$  [%]. Prepočítaný relatívny svetelný tok je určený vzťahom

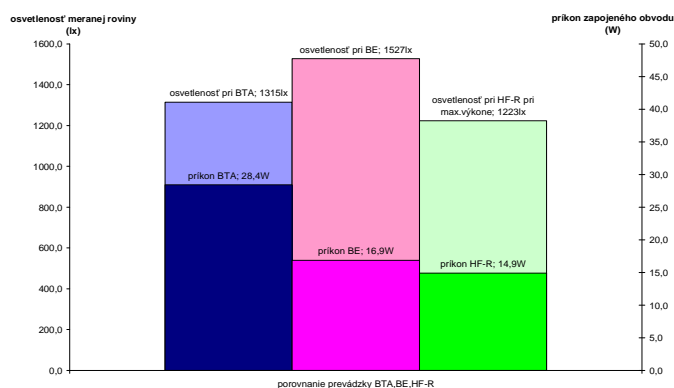
$$\phi_{rel} = \frac{E_i}{E_{HF-R}} \cdot 100 \text{ [%; lx, lx]}$$

kde

$E_i$  - nameraná intenzita osvetlenia

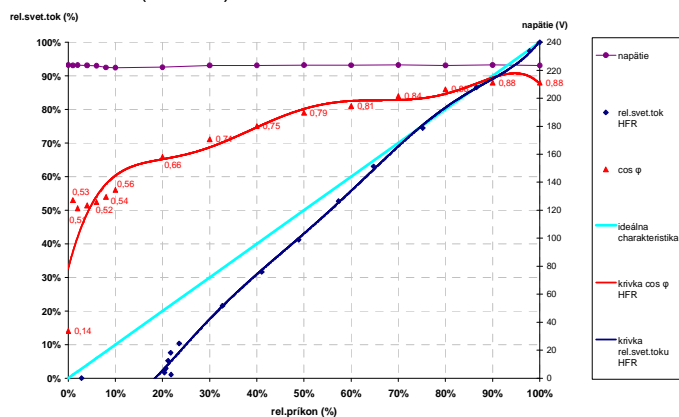
$E_{HF-R}$  - intenzita osvetlenia pri regulačnom stupni 100 % predradníka PHILIPS – HF-R TD 118

Namerané a prepočítané hodnoty sú uvedené v tab. 1 a na obr. 4 a obr. 5.



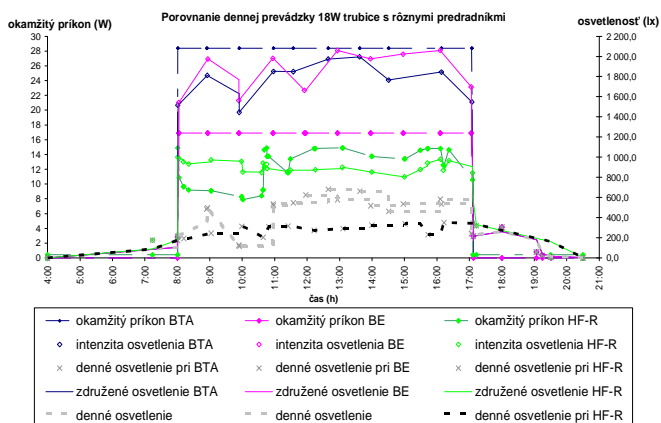
Obr.4. Porovnanie príkonu a osvetlenosti pri prevádzke 18W trubice v rôznych zapojeniach

Na základe uvedeného môžeme konštatovať, že napriek najvyššej spotrebe (28,4 W) u tlmičky BTA 118 táto nezabezpečuje najvyššiu osvetlenosť (1315 lx). Tiež je zrejme, že najlepší pomer svetelný výkon a príkon dosiahol zapojenie s elektronickým predradníkom BE 136-2, kde síce pri vyššej spotrebe (16,9 W) bola nameraná najvyššia osvetlenosť porovnávannej roviny (1527 lx). Digitálny regulovateľný predradník HF-R TD 118 mal síce najnižšiu spotrebu energie (14,9 W), ale aj najnižšiu hladinu osvetlenosti (1223 lx).



Obr.5. Závislosť svetelného toku a účinníka od príkonu v závislosti na regulácii predradníka HF-R TD 118 a napájacieho napätia.

Rovnako môžeme konštatovať, že pri stmievaní sa na začiatku charakteristika závislosti svetelného výkonu k príkonu javí ako ideálna, čím viac sa znižuje regulačný stupeň tým viac sa však uvedená charakteristika vzdaluje od ideálnej charakteristiky v neprospech efektívnosti zariadenia. Z uvedeného vyplýva, že najvyššia efektívnosť sa dosiahne pri správnom dimenzovaní osvetľovacej sústavy, kde bude prevádzka regulovaná prevažne v rozsahu 65 % až 100 %. V prípade regulácie prevádzky v inom rozsahu bude účinnosť regulácie klesať.



Obr.6. Porovnanie dennej prevádzky 18W trubice s rôznymi predradníkmi v závislosti od denného osvetlenia

Na záver sa porovnala osvetlenosť pracovnej roviny (60 cm pod stredom rozsvietennej trubice) počas jedného dňa samostatne pri jednotlivých zapojeniach. Pri meraní zapojenia s tlmičkou BTA 118 a elektronickým predradníkom BE 136-2 sa merala osvetlenosť v priebehu dňa v priemere v hodinových intervaloch. Bola odmeraná hodnota združeného osvetlenia, následne na chvíľu bol svetelný zdroj vypnutý a zmerala sa hodnota denného osvetlenia v rovnakom bode. Ak by hodnota denného osvetlenia na sledovanej rovine presiahla hodnotu 750 lx, zariadenie by sa vyplo, kým sa zase denná osvetlenosť nezníži pod uvedenú hodnotu. V tom čase by bol simulovaný stav, že je dostatok denného osvetlenia na pracovnej rovine a nie je potrebné umelé osvetlenie. Podobne sa postupovalo aj pri meraní zapojenia s predradníkom HF-R TD 118. Tu sa však využil princíp stmievania na konštantnú hodnotu osvetlenia použitím multisenzoru. Pomocou softwarového vybavenia Digidim Toolbox bola nastavená konštantná hladina na úroveň prevádzky trubice s maximálnou intenzitou bez vplyvu iného svetelného zdroja. Následne potom počas druhého dňa bola kontrolovaná úroveň osvetlenosti na pracovnej rovine (spomínaných 60 cm pod stredom rozsvietennej trubice). Pomocou PC a softwarového vybavenia bola tiež sledovaná úroveň stmievania trubice v percentách. Pri zmene svetelného a samozrejme aj energetického výkonu svietidla

bola odmeraná osvetlenosť združeného osvetlenia a podobne ako v predchádzajúcich dvoch prípadoch s krátkym prerušením prevádzky aj hodnota denného osvetlenia. Po prerušení prevádzky a odmeraní dennej osvetlenosti sa trubica zapla späť na poslednú úroveň pred vypnutím. Namerané výsledky sú zapísané v tab. 1 a graficky na Obr.6. V tomto konkrétnom prípade bola dosiahnutá úspora cca 41 % pri použití elektronického predradníka BE 136-2 a úspora až 54 % pri použití predradníka HF-R TD 118 stmievaným v závislosti od denného svetla [1].

### Záver

V článku je na základe meraní uvedené porovnanie elektrických a svetelnotechnických parametrov žiarivkového osvetlenia pri použití rôznych typov predradníkov.

Článok bol vypracovaný v rámci projektu KEGA - Kultúrna a edukačná grantová agentúra MŠ SR č. 3/7122/09.

### REFERENCES

- [1] Árvay, P.: Regulácia osvetlenia vnútorných priestorov. Diplomová práca. Košice: FEI TU v Košiciach, 2010
- [2] Energy efficiency: energy efficiency requirements for ballasts for fluorescent lighting. Dostupné na internete: [http://europa.eu/legislation\\_summaries/energy/energy\\_efficiency/127032\\_en.htm](http://europa.eu/legislation_summaries/energy/energy_efficiency/127032_en.htm)

### Authors:

Ing. Daniel Hlubeň, PhD., Technická univerzita v Košiciach, Fakulta elektrotechniky a informatiky, Letná 9, Košice, Slovenská republika, e-mail: [daniel.hluben@tuke.sk](mailto:daniel.hluben@tuke.sk)

doc. Ing. Ľubomír Beňa, PhD., Technická univerzita v Košiciach, Fakulta elektrotechniky a informatiky, Letná 9, Košice, Slovenská republika, e-mail: [lubomir.bena@tuke.sk](mailto:lubomir.bena@tuke.sk)

# Applications of CIE recommended mesopic model for road lighting

**Abstract.** The aim of the study is to evaluate the effect of application of mesopic luminance model compared to currently used photopic model. Normally, a visual 'gain' is associated to 'white' light. The study quantifies the difference to 'yellow' light provided by HPS lamps. Some of the suppliers and users tend to promote higher and higher colour temperatures in street lighting. The study also evaluates the difference in mesopic luminance of LEDs with different colour temperatures based on the mesopic model of CIE 191.

**Keywords:** road lighting; mesopic luminance model; CIE; LED; HPS lamp.

## Introduction

The report CIE 191:2010 (Recommended System for Mesopic Photometry Based on Visual Performance) deals with visual task performance based approaches to mesopic photometry, with a major aim to establish appropriate mesopic spectral sensitivity functions. One of the most important visual tasks and the range of visual conditions typically are encountered in the context of night-time driving. It is obvious to apply the recommended mesopic model to the adaptation level (requirements) of EN 13201 (Street Lighting) standard and different light sources, like high pressure sodium (HPS) lamps and the approaching LEDs.

## Scoop

The aim of the study is to evaluate the effect of application of mesopic luminance model compared to currently used photopic model. Normally, a visual 'gain' is associated to 'white' light. The study quantifies the difference to 'yellow' light provided by HPS lamps. Some of the suppliers and users tend to promote higher and higher colour temperatures in street lighting. The study also evaluates the difference in mesopic luminance of LEDs with different colour temperatures based on the mesopic model of CIE 191.

## Short introduction of CIE mesopic model recommended by CIE No 191 for street lighting

Current photometric practice is based primarily on the photopic spectral luminous efficiency function  $V(\lambda)$ , which characterises the spectral sensitivity of foveal cones under photopic lighting conditions. This approach does not take into account of the fact that in the mesopic region (i.e. between about  $0,001 \text{ cd}\cdot\text{m}^{-2}$  and  $10 \text{ cd}\cdot\text{m}^{-2}$ , both rods and cones in the retina may be active, leading to changes in spectral sensitivity with changing light level. This compromises the effective use of light under these visual conditions where both rods and cones contribute to visual performance. Mesopic applications include road and street lighting. The outcome of this recommendation is based on visual performance, not brightness matching.

The recommended system for visual performance based mesopic photometry describes spectral luminous efficiency,  $V_{\text{mes}}(\lambda)$ , as a linear combination of the photopic spectral luminous efficiency function,  $V(\lambda)$ , and the scotopic spectral luminous efficiency function,  $V'(\lambda)$ . It establishes a gradual transition between these two functions in the mesopic region and it depends on (photopic) visual adaptation conditions:

$$M(m) \cdot V_{\text{mes}} = m \cdot V(\lambda) + (1 - m) \cdot V'(\lambda) \quad (1)$$

and

$$L_{\text{mes}} = \frac{683}{V_{\text{mes}}(\lambda_0)} \cdot \int V_{\text{mes}}(\lambda) \cdot L_e(\lambda) \cdot d\lambda \quad (2)$$

where:

$m$  is a coefficient which depends on the visual adaptation conditions;

$M(m)$  is a normalising function such that  $V_{\text{mes}}(\lambda)$  attains a maximum value of 1;

$V_{\text{mes}}(\lambda_0)$  is the value of  $V_{\text{mes}}(\lambda)$  at 555 nm;

$L_{\text{mes}}$  is the mesopic luminance;

$L_e(\lambda)$  is the spectral radiance in  $\text{W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{sr}^{-1}\cdot\text{nm}^{-1}$ ;

If  $L_{\text{mes}} \geq 5,0 \text{ cd}\cdot\text{m}^{-2}$ , then  $m = 1$ ;

If  $L_{\text{mes}} \leq 0,005 \text{ cd}\cdot\text{m}^{-2}$ , then  $m = 0$ ;

The coefficient  $m$  and the mesopic luminance,  $L_{\text{mes}}$  can be calculated using an iterative approach as follows:

$$L_{\text{mes}} = \frac{m_{n-1} \cdot L_p + (1 - m_{n-1}) \cdot L_s \cdot V'(\lambda_0)}{m_{n-1} + (1 - m_{n-1}) \cdot V'(\lambda_0)} \quad (3)$$

$$m_n = a + b \cdot \log_{10}(L_{\text{mes},n}) \text{ for } 0 \leq m_n \leq 1 \quad (4)$$

where

$L_p$  is the photopic luminance of the visual adaptation field,

$L_s$  is the scotopic luminance of the visual adaptation field,

$V'(\lambda_0) = 683/1699$  is the value of the scotopic spectral luminous efficiency function at  $\lambda_0=555\text{nm}$ ,

$a = 0,767$

$b = 0,3334$

$n$  is the iteration step

The CIE No 191 tested and validated its model against other earlier models.

Table 1 shows the difference in % between mesopic and photopic luminance as a function of Scotopic/photopic lumen output (S/P) ratio. Positive values indicate higher mesopic luminance values compared to traditional photopic ones. It is important to declare that S/P values (here in this table and later-on) one of the input parameters for calculating mesopic luminance. The range of adaptation levels of road lighting is boxed. S/P ratio cannot be used by any means, as a direct descriptor of visual effectiveness of a light source in mesopic adaptation levels.

Table1. Differences in % between mesopic and photopic luminance as a function of Scotopic/photopic lumen output (S/P) ratio [1]

	Lighting Class		ME6	ME5	ME3	ME2	ME1				
	Photopic luminance in cd.m <sup>-2</sup>										
	S/P	0,01	0,03	0,1	0,3	0,5	1	1,5	2	3	5
Difference in %											
LPS	0,25	-75	-52	-29	-18	-14	-9	-6	-5	-2	0
	0,45	-55	-34	-21	-13	-10	-5	-4	-3	-2	0
HPS	0,65	-31	-20	-13	-8	-6	-4	-3	-2	-1	0
	0,85	-12	-8	-5	-3	-3	-2	-1	-1	0	0
	1,05	4	3	2	1	1	1	0	0	0	0
	1,25	18	13	8	5	4	3	2	1	1	0
MH warm	1,45	32	22	15	9	7	5	4	3	1	0
	1,65	45	32	21	13	10	7	5	4	2	0
	1,85	57	40	27	17	13	9	6	5	3	0
LED cool	2,05	69	49	32	21	16	11	8	6	3	0
	2,25	80	57	38	24	19	12	9	7	4	0
	2,45	91	65	43	28	22	14	10	8	4	0
MH day	2,65	101	73	49	31	24	16	12	9	5	0

### Applications of CIE model for high-pressure sodium lamp and LEDs with different colour temperature

Table 2 shows relative differences between photopic and scotopic luminance for different commercially available light sources. We can interpret these figures as an indicator of change of visual performance at the given adaptation level according to either photopic or scotopic model used. As an example, if the adaptation level is 0,30 (photopic) cd.m<sup>-2</sup>, the real visual performance of HPS lamp is 8% less, LED "B" is 15% more.

Table2. Relative Differences between photopic and scotopic luminance for different light sources

Lighting Class according to EN 13201	ME6	ME5	ME3	ME2	ME1
L <sub>p</sub> (Required level in photopic luminance), cd/m <sup>2</sup>	0,30	0,50	1,00	1,50	2,00
(L <sub>mN</sub> -L <sub>p</sub> )/L <sub>p</sub> (Relative difference between photopic and scotopic luminance for HPS lamp)	-8%	-6%	-4%	-3%	-2%
(L <sub>mA</sub> -L <sub>p</sub> )/L <sub>p</sub> (Relative difference between photopic and scotopic luminance for LED "A")	9%	7%	5%	4%	3%
(L <sub>mB</sub> -L <sub>p</sub> )/L <sub>p</sub> (Relative difference between photopic and scotopic luminance for LED "B")	15%	12%	8%	6%	5%
(L <sub>mC</sub> -L <sub>p</sub> )/L <sub>p</sub> (Relative difference between photopic and scotopic luminance for LED "C")	18%	14%	9%	6%	5%

Our currently available lighting design softwares calculate photopic lumen, according to the valid street lighting standard. Till recent times, results were comparable, as

HPS lamps were used almost exclusively. Applications engineers may be interested, how they can compare their results of different light sources according to MES2 model of CIE by using their currently available design softwares. The results are summarised in the Table4. How to read values? If 0,3 cd.m<sup>-2</sup> (photopic) luminance is required by EN 13201 and let us suppose that a design made with HPS lamp which satisfied visual needs. However, according to the CIE mesopic model, it provides -8% less mesopic luminance (see Table2). This lower mesopic luminance has to be provided by the new light source, called LED "A". If LED "A" gives this mesopic luminance, this is 9% higher than its photopic luminance is. So if lighting design software based on photopic luminance is used, 0,92-0,91 photopic luminance is enough to provide same visual performance as HPS did at mesopic adaptation. So a calculated (photopic) luminance is 0,25 cd.m<sup>-2</sup> will be 'enough', if LED "A" used.

Please note that results are function of:

- The adaptation level in photopic luminance. Here, the required luminance levels according EN 13201 were used
- The S/P ratio of the reference source. Here, the reference source is HPS and spectral distribution is described by S/P= 0,65
- The "test" light sources are white LEDs "A"; "B"; "C", which are described by their S/P ratios 1,45; 1,75; 2,05.

Table3. Calculated photopic lumen of the LED types "A", "B" and "C", when their mesopic luminance is equivalent to the mesopic luminance of the reference (HPS) light source

Lighting Class according to EN 13201	ME6	ME5	ME3	ME2	ME1
L <sub>p</sub> (Required level by the standard in photopic luminance), cd/m <sup>2</sup>	0,30	0,50	1,00	1,50	2,00
L <sub>pA</sub> (Photopic luminance of LED "A", if the mesopic visual performance is the same as for HPS evaluated by MES2 model of CIE), cd/m <sup>2</sup>	0,25	0,44	0,91	1,40	1,90
L <sub>pB</sub> (Photopic luminance of LED "B", if the mesopic visual performance is the same as for HPS by MES2 model of CIE), cd/m <sup>2</sup>	0,24	0,42	0,89	1,37	1,87
L <sub>pC</sub> (Photopic luminance of LED "C", if the mesopic visual performance is the same as for HPS evaluated by MES2 model of CIE), cd/m <sup>2</sup>	0,23	0,41	0,88	1,37	1,86

### Evaluation

- According to MES2 model of CIE, there is a gain in visual performance at mesopic level compared to HPS lamps, if light source is rich in blue, like white LEDs.
- This gain compared to HPS is about 20% for an adaptation level corresponding lighting class ME6 of EN 13201 and around 5% for adaptation level corresponding to lighting class ME1.
- The gain is hardly depends on the type of LEDs, if S/P ratios are in realistic range.

### Outlook

- It has to be underlined that mesopic model recommended by CIE No 191 has not been standardised yet, although preparation has been started by CIE.



- The model has not been validated for foveal vision, which is a small region of the retina corresponding to what an observer is looking straight at. This region is populated almost entirely with cones, while the peripheral region has increasing numbers of rods. Further research is needed to evaluate how much the peripheral and foveal vision effect night-time driving related visual tasks.
- As night-time visual needs of pedestrian areas are different from driving tasks, further research is necessary for establishing model(s) for pedestrian areas.

#### REFERENCES

- [1] CIE technical Report No 191:2010, Vienna, CIE, 2010
- [2] EN 13201-2 Road lighting – Part 2: Performance requirements, Brussels, CEN, 2004

---

**Author:** Péter Schwarcz, Scientific Director of Tunsgam-Schröder Zrt, 2 Tópart, Pilisszentiván, 2084, Hungary, e-mail: [schwarcz.p@schreder.hu](mailto:schwarcz.p@schreder.hu)

## Measurement and optimization of LED driver features for automotive applications

**Abstract.** This article deals with problem of control circuits for power LED supply. These circuits are used for car headlights. In article there are described methods, how to construct this driver, and then there is a measurement of different types of power LED and their features for automotive industry. Simultaneously the composite author aims for comparison of efficiency of driver circuits and describes their functions. In this article there is propounded and realized driver circuit for power LED supply. This driver circuit is equipped with a special integrated circuit, which is intended direct for this function.

**Keywords:** LED, light, power LED, beam, power, VISTEON, driver.

### Introduction

Research and development in illuminating engineering for automotive industry has done an expressive progress in using semiconductor devices like LED for headlamps. It caused many problems, which had to be solved. One of problems was finding a suitable source of radiation based on LED, whose features are utmost similar to conventional sources like light bulbs. LEDs consume only one third of energy in comparison with conventional light sources for the same light illumination [8, 9, 17, 18]. The energy saving plays an important role in their setting.

Power LED advantages:

- low energy consumption,
- color changes without color filters,
- long lifetime,
- tolerance to on/off switching,
- quick on switching.

Power LED disadvantages:

- higher purchase cost,
- power LED light can slant colors,
- power LEDs need cooling.

### Power LED applications

Nowadays the power LEDs are usually used in luxury cars, which use them for tail lamps, nevertheless some automotive companies applied them in headlamps as well, fig. 1, 2. LED implementation in Japanese and European cars is reaching the 40% of world's sources, when the massive setting started around year 2011. Electronic equipment of headlamps enables various functions like higher or lower beam, daylong lightening and adaptive lightening. LED diodes are easily electronically switchable than conventional lights, so that only light sources have to be switched-on and regulated for its function [12, 15, 16, 17].

Modern headlamps with LEDs for optimal visibility in night distribute the light so, that it adapts to road topology and traffic situation (angle increasing and decreasing of light beam). In this year the European Commission (EC) legitimized obligatory DRL (Daytime Running Lights) in all cars in all EU countries. This type of headlamps should promptly emit the light when motor is started. Due to quick LED development it is possible to suppose, that conventional light bulbs become totally extinct in new cars during 10 years. The advantage of LED against conventional lights is obvious. The LEDs need only 3ms for maximum power achieving, conventional lights need 200ms. This is great advantage for brake lights; the braking distance is shorter about 5m at speed of 40km/h [13, 16, 17].



Fig. 1: Brake lights based on LED [8]



Fig. 2: DRL lights application [8]

The base of second generation head lamps is light module with LEDs. There are used very powerful diodes Luxeon with collimators for exact light aiming. In contrast to most of conventional light sources the LEDs with integrated lenses systems emit the light under lower angle ( $10^{\circ}$  -  $150^{\circ}$ ). It enables better using its light flux for object illumination. For different applications there is used unique optics with different divergences of light beam, from uniform lightning of architectural objects to special lightning of vertical areas. However, lower efficiency and power output prevent massive expansion into lightning area. Newly come technologies of chip production, new constructions and precise light beam shaping enable expressive improvement of specific light power. New, very powerful LED modules are based on perfect symmetry of solid-state physics and optics. LEDs are current driven components. Because the signal sources are usually voltage, it is necessary to convert voltage signal to current. The convert is done by drivers. The electronic in head lamps complicates the construction and reduces power efficiency of head lamp. It is impossible to make lossless electronic, the design and construction determine losses. Losses can be high if this important thing is not accepted. The efficiency of electronic is in range 30% - 60% in the cheapest, hence the worst constructed head lamps. The losses in quality products are minimal, efficiency is above 60%, and the best products have efficiency above 80%. Switch-mode power supplies are the best for power supply of modern electronic with higher power consumption, because they have higher efficiency and therefore produce less heat. They are used as AC/DC convertors, voltage stabilizers and generators of accurate output voltage in DC/DC convertors. The producers try to maximal integration of all elements in one circuit in one chip. There are several reasons, why switch-mode power supplies are used in electronic design.

The most important are:

- weight and size saving,
- higher power efficiency,
- easier cooling.

Our goal is to describe and analyze parameters of power LEDs and measure characteristics important for car applications. Measure and compare driver circuit's efficiency and design our driver circuit. [8, 9, 11].

### Driver design with 555 circuit

Due to license between our university and Visteon - Autopal, Ltd. Company it is not possible to show the photos of drivers, because some drivers have been placed in head lamps during measurement. For comparison the driver included circuit MAX16831 it was design circuit diagram included circuit 555. This circuit is much known and uses combination of analogue and digital circuit on one chip. Timer clock 555 came many times right and is used in many circuits and devices. This driver enables achieve only higher voltage on output, than is input voltage. Its wiring matches raising converter. Internal scheme designed LED driver with circuit 555 made in Eagle application is in fig. 3 [6, 18].

### Function of designed circuit

Capacitor  $C_2$  is charged by input voltage through resistors  $R_3$  and  $R_2$ . As soon as it is charged to  $2/3$  of input voltage, inner comparator  $K_1$  of circuit 555 react, snap over, reset inner RS flip flop circuit and it in the train of operates inner transistor with open collector, which is brought out to resistor  $R_3$  parallel with couple  $R_4$  and  $D_1$ , which is now in conducting direction, through these two sub-circuits the capacitor  $C_2$  will discharge. The discharge will last until a moment, when the voltage at capacitor and on gate nr. 2 of timer clock 555 decrease under a third of supply voltage. In this moment comparator  $K_2$  of circuit 555 reacts, sets inner RS flip flop circuit, which in output switch on transistor  $T_1$  and switch off transistor  $T_3$ . These transistors make sufficient current impulse for charge, discharge input capacity of power transistor  $T_3$  and inductor  $L_1$  starts charge, discharge. After switching off of transistor  $T_3$  the inductor does not charge. Obtained energy in inductor is transmit in current form through a diode  $D_2$  and it charges output capacitor  $C_6$ , which then supplies a current in load. Voltage on capacitor  $C_6$  is watched by shunt resistor, which consist if resistors  $R_{13}$  and  $R_{14}$ . If the voltage on the shunt resistor reaches over  $0.5V$ , then the voltage on output reaches over [2, 4, 13, 18]:

$$(1) \quad U_{OUT} = 0,5V \cdot \frac{R_{13} + R_{14}}{R_{14}} = 0,5V \cdot \frac{47000\Omega + 510\Omega}{510\Omega} = 46,6V \quad [\Omega]$$

the comparator  $K_{1A}$  snaps over and resets circuit 555. At the same time capacitor  $C_2$  will be quick charge through switch transistor  $T_4$ , which ensures changeover of circuit 555 in zero, whereby switches off the power transistor  $T_3$ . In this time the timer clock is switched off and this state continue till a time, until output voltage of capacitor  $C_6$  decreases under  $46.6V$  plus influence of hysteresis loop given by resistors  $R_2$ ,  $R_9$  and capacitor  $C_4$ . Experimentally it was found that the output voltage on capacitor  $C_6$  had an undulation around  $1V$  due to hysteresis loop. The undulation is necessary correct function of circuit, without this the whole circuit will be oscillated at frequencies over  $1MHz$ , which will cause considerable switch losses on power transistor  $T_3$ , which will be immediately damage. The other signal, which can switch off the timer clock 555 through comparator  $K_{1A}$ , is signal from input PWM conducted by diode  $D_4$ . Output power transistor  $T_5$  is switched direct from input PWM, whose signal is first adapt to voltage level (min. input supply voltage) needed for full switch unipolar transistor. This adaption is solved by two transistors  $T_6$  and  $T_7$ . Comparator  $K_{1B}$  controls current size through inductor  $L_1$  and if the value is gets over:

$$(2) \quad I_{OUT} = \frac{0,25V \cdot \frac{R_7 + R_8}{R_8}}{R_L} = \frac{0,25V \cdot \frac{100\Omega + 180\Omega}{180\Omega}}{0,22\Omega} = 7,07A$$

Where:  $R_L$  is resistance, through which the inductor  $L_1$  is charged, it is compound of four resistors  $0,22 \Omega$ . So by above mentioned method it is reset the circuit 555, which switch off power transistor  $T_3$ . The other signal, which can switch off the timer clock 555 through comparator  $K_{1B}$ , is signal from emitter resistor  $R_{15}$  through diode  $D_5$ . If the load current reaches over the value:

$$(3) \quad I_{OUT} = \frac{0,25V + U_D}{R_{15}} = \frac{0,25V + 0,25V}{0,47\Omega} = 1,06A$$

Where:  $U_d$  is voltage of Shottky diode  $D_5$  in conducting state. So by above mentioned method it is reset the circuit 555, which switches off the power transistor  $T_3$ . Voltage references  $0.25V$  and  $0.5V$  are obtained from common rectifier diode  $D_3$  and resistors  $R_{12}$ ,  $R_{10}$ ,  $R_{11}$ . It is obviously that this method, how to obtain flip flop levels, is not ideal and exact, nevertheless in this circuit it realizes its function. The circuit function was verified by wiring in solder less field and obtains very good results. The supply voltage was in range  $10V - 15V$ . Output voltage, which is able to achieve in this circuit, is  $46V$ . Maximum output current is  $1A$ . The circuit is driven by PWM signal with frequency  $100Hz$  and amplitude in range  $1.8V - 12V$  [6].

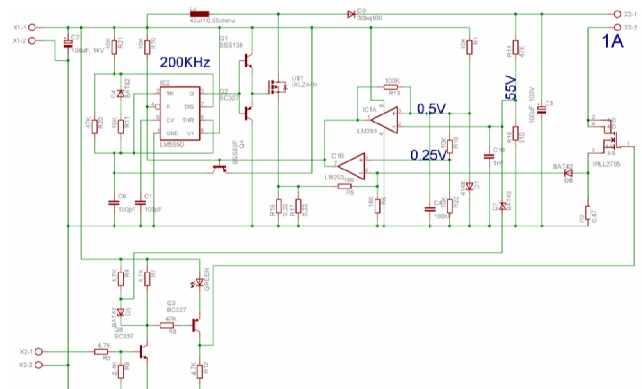


Fig. 3. Scheme of designed LED driver with Circuit 555

### Driver design and realization with circuit MAX16831

To driver realize is used integrated circuit MAX16831 by MAXIM company. In this part there is described function of this circuit and circuit design. The circuit scheme of designed and realized LED driver MAX16831 in software EAGLE is in fig. 4.

### Description of circuit MAX16831

MAX16831 is ideal for light applications, which need a wide memory. Circuit MAX16831 is designed for high power light systems, which need LEDs with great current consumption and microcontroller programmability to their economic operation. These parameters make it suitable for car applications. It is accurately customized to head lamp demands. MAX16831 is a current switch designed for driving two external transistors MOSFET with N type channel. It is used for power LEDs driving (HBLLED - High Brightness LED). MAX 16831 includes all blocks necessary to realize a control circuit for light applications. The circuit is driven by PWM, which oversimplifies realization of

regulation circuit. For overrun working frequency around 50% the circuit is equipped current loop compensation. Integrated memory EEPROM enables serial programming from superior system. MAX16831 works in wide range of input voltage and it is able to resistant to input voltage variance. For fall input voltage more than 20% the circuit is equipped UVEN. This input controls input voltage. The circuit has heat protection. If the power loss reaches the maximum value, the circuit interrupts operating mode and switch off. It starts again, when the temperature falls under set level. Synchronization can be done by inner or outer clock. MAX16831 includes control segment, which with external transistor MOSFET connected in series with LED, it enables control a brightness of source. HBLED controlled by MAX16831 are very efficient in car applications. MAX16831 includes current source too, which is used to control of switching MOSFET in power applications. For control by PWM signal it can be used a wide range of frequencies up to 2 kHz. MAX16831 circuit includes 32 pins in thin QFN case. It is useable for temperatures in range from -40°C to 125°C. Programming features enable fin e set switch frequency, which reduces noise and electromagnetic interferences in electronic system (EMI). Circuit MAX16831 is more universal than rival circuits, because it includes many user interfaces [3, 4, 7, 18].

### MAX16831 circuit concept

Resistances  $R_4$  and  $R_5$  and capacitor  $C_6$  and  $C_7$  are connected because of compensation and stabilization of master circuit PWM and are recommended by manufacturer. By resistance  $R_1$  and  $R_2$  we can set minimal input voltage of circuit. Capacitor  $C_2$  have to be set, to reduce oscillation of input voltage under 100mw and secure correct function during transition from lower into higher level. Resistance  $R_3$  is able to set required frequency of switching  $f_{SW}$  in interval  $f_{MIN} = 125$  kHz up to  $f_{MAX} = 600$  kHz.

$$(4) \quad R_3 = \frac{f_{MAX}}{f_{SW}} \cdot (25 \cdot 10^3) \quad [\Omega]$$

In this case is picked frequency of switching 300 kHz. Parallel combination of resistance  $R_7$  and  $R_8$  serve to set output flow, those resistances are connected between inputs of SNS+ and SNS-. If on those resistances will create fall bigger than 200mV, inside comparator overturn and send a signal into master block. Master block controls switching of outside transistor MOSFET, which is holding output flow in value 1 A. Value of resistance in this parallel combination is calculated by this affinity:

$$(5) \quad R_{7,8} = \frac{U_{SNS}}{(1,2 \cdot I_{MAX})} \quad [\Omega]$$

Voltage  $U_{SNS}$  is voltage between inputs SNS+ and SNS-,  $I_{MAX}$  is highest flow of coil  $L_1$  in minimal input voltage. Between inputs CS+ and CS- is connected resistor  $R_6$ , which is monitoring flow coming thought loading test. Inside amplifier CSA measures differential voltage on this resistance and controls output flow into value given by this affinity:

$$(6) \quad I_{LED} = \frac{0,107}{R_6} \quad [A]$$

Pick of this resistance is very important; we can use him to change output parameters. If we would increase value of

resistance  $R_6$ , output flow would decrease and increase output voltage. Between inputs OV and HI is connected shunt created from resistance  $R_9$  and  $R_{10}$ . On this shunt is measured output voltage in capacitor  $C_8$ , which is charging coils  $L_1$  over LED  $D_1$  after turning off of transistor  $T_1$ . If these voltages reach its maximum, controlled output transistor  $T_1$  will switch again and output voltage is staying the same. Transistor  $T_2$  is controlled by master circuit directly by PWM and controls output flow into loading test. Driver is designed for function in headlights and from that are designed its parameters. Driver has small size, only 40x40mm, because there is not much place in headlights area. Integrated circuit MAX16831 is placed in thin QFN box (size 5x5mm). Because of this size was recessing very difficult. Pins are placed on down side of circuit and it's very difficult to recess them correctly. MAXIM company is developing new inside structures of particular circuits. Nowadays it is at disposal successor of used integrated circuit and it is MAX16834. This circuit use new topology SEPIC. Working frequency of circuit is increased up to 1 MHz and supply voltage can be changed in range of 4,75 – 28 V. Modernized was done even on the box, where was decreased number of pins on 20 and reduced size on 4x4mm. Because of those parameters will circuit MAX16834 be used for next applications in headlights [7, 18].

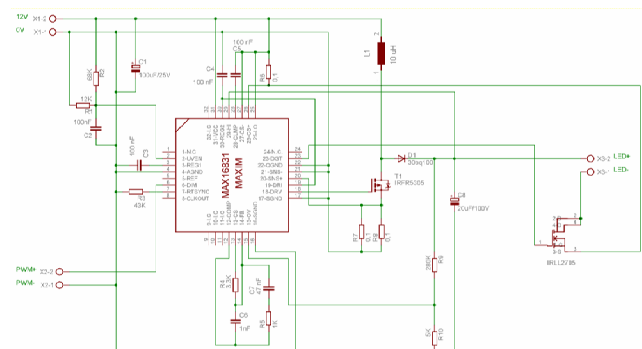


Fig 4. Inside scheme of this circuit designed and realised LED driver with MAX16831 circuit

### Measuring success level of LED drivers

In this part are shown and compared results of measurement on two types of LED driver, which are graphically compiled in detail. For measurement were 2 types of drivers at disposal designed for supplying power LED. At first was measured driver from MAXIM Company with integrated circuit MAX16831. Secondly was measured driver from VISTEON Company. Both circuits are switches of type buck-boost, which mean, that on output are able to supply voltage lower or higher than is voltage on input.

### Measurement

Measurement is done, for application in car industry, especially for use in light function of headlights. In this measurement is very important to measure heat characteristics because of efficiency degradation depending on higher temperatures. Scheme for connection of measurement is shown in fig. 5.

In the first part of measurement it is measured the influence of supply voltage change on driver efficiency. This measurement is done due to supply voltage variance in cars. PWM is set to maximum value 100% and in the output it is set maximum output current 1A. Input voltage is changed in range 9 – 16V, in which the circuit functionality is guaranteed. Input current and output voltage is measured, from these values is calculated the efficiency.

In the next part of measurement the driver efficiency is found out, where the supply voltage is 12V, constant in all the time of measurement, and output current is changed by PWM. The load current gradually increases by PWM and load voltage is measured.

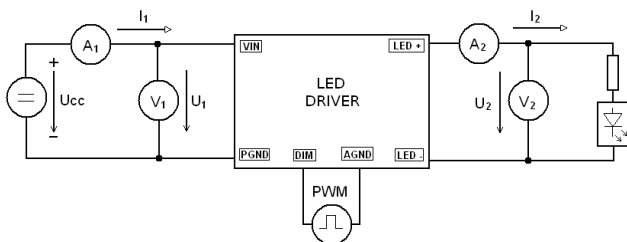


Fig. 5. Wiring diagram for efficiency measurement of LED driver

### Driver efficiency from MAXIM Corporation

This driver is constructed as increasing and decreasing converter. Supply voltage is set in range 9 – 40V and input current is as much as 4A. In output the converter is able to supply a current 1A and voltage 28V. The circuit can be analog controlled, which is possible due to variable resistor integrated in PCB, or can be digital controlled by PWM, which enables linearly change the output current. For change of control type in PCB is placed a jumper, which enables analog control by installation. After junction remove is possible to connect PWM signal to driver. PWM signal has to be in range 3.2 – 15V and frequency 80Hz – 2kHz. The driver is equipped by input for outer time control. The driver with inductivity L1 reaches the peak current as much as 8.3A limited by parallel combination of resistors R6 and R7, which is set by equation:

$$(7) \quad I_{PEAK} = \frac{160mV}{\frac{R_6 \cdot R_7}{R_6 + R_7}} \quad [A]$$

Input CLKOUT is determined for frequency monitoring of oscillator, input DIM serves to connection of PWM modulation. Driver is equipped by under voltage protection, which reacts, if the supply voltage decreases under 8.3V. Maximal voltage on LED is limited to 70.8V set by feedback resistors R9 and R10. If the voltage increases above 70.8V, PWM switches off and any other power does not pass through a load. It is unsuitable connect to driver some supply voltage without load. In state no load voltage can achieve limit level and a device can be damaged. The efficiency is set by relation:

$$(8) \quad \eta = \frac{U_2 \cdot I_2}{U_1 \cdot I_1} \cdot 100 \quad [\%]$$

$U_1$  – input voltage,  $I_1$  – input current,  $U_2$  - output voltage,  $I_2$  – output current

### Driver efficiency in dependence on supply voltage change

Efficiency measurement of driver MAX16831 did not decrease fewer than 86% by supply voltage change, this features is given by really good solved inner structure of circuit. Inner regulators can compensate variance of input voltage and hold output parameters to required values. Efficiency characteristic of driver MAX16831 in dependence on supply voltage change is in fig. 6.

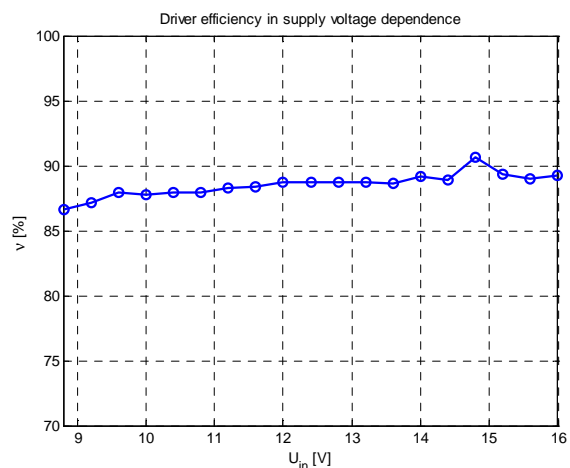


Fig. 6. Efficiency characteristic of driver MAX16831 in dependence on supply voltage change

### Driver efficiency in dependence on output current change

By efficiency measurement of driver MAX16831 in dependence on output current controlled by PWM the average efficiency was 87.5%. These features are reached by excellent features of switching elements, which have minimum losses. Driver temperature did not overpass 40°C during 3 hours measurement, the test was done for load with maximum power 20W. The efficiency characteristic of driver MAX16831 in dependence on output current is in figure 7.

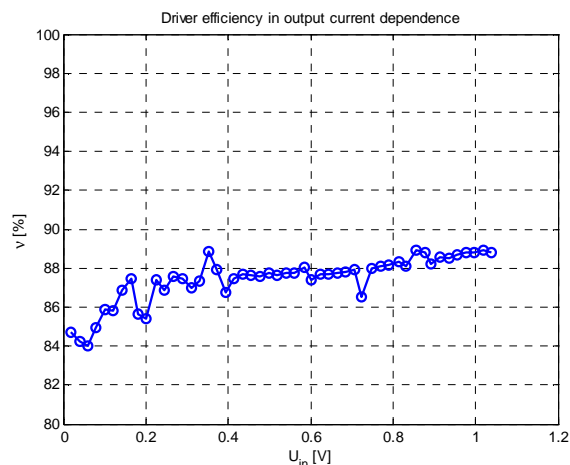


Fig. 7. The efficiency characteristic of driver MAX16831 in dependence on output current

### Driver efficiency from VISTEON Corporation

Driver from VISTEON Corporation is constructed as increasing and decreasing converter too. Supply voltage is set in range 8 – 16V and needed input current is as much as 2A. In the output the converter is able to supply a current 700mA and voltage as much as 21V. The circuit is digital controlled by PWM, which enables linearly change the output current. PWM signal has to be in range 4 – 16V and frequency 100Hz – 2kHz.

### Driver efficiency in dependence on supply voltage change

Measured efficiency of driver VISTEON by supply voltage change had worst characteristic, than driver MAX16831. The efficiency did not decrease fewer than 70%, which is about 20% worst result in comparison to driver MAX16831. Efficiency characteristic of driver

VISTEON in dependence on supply voltage change is in fig. 8.

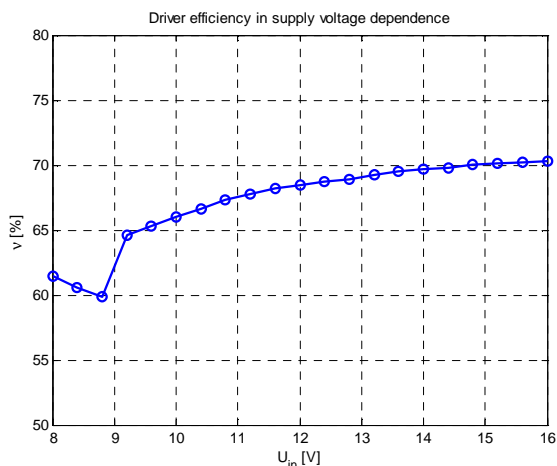


Fig. 8. Efficiency characteristic of driver VISTEON in dependence on supply voltage change

### Driver efficiency in dependence on output current change

By efficiency measurement of driver VISTEON in dependence on output current controlled by PWM the average efficiency was 70.6%. These worst features are given by used components, which produce greater losses and itself inductivity embodied considerable losses. This circuit is a product of older development, when the components had worst parameters than today. Driver temperature reached 60°C during 3 hours measurement. The test was done for load with maximum power 15W. The efficiency characteristic of driver VISTEON in dependence on output current is in figure 9.

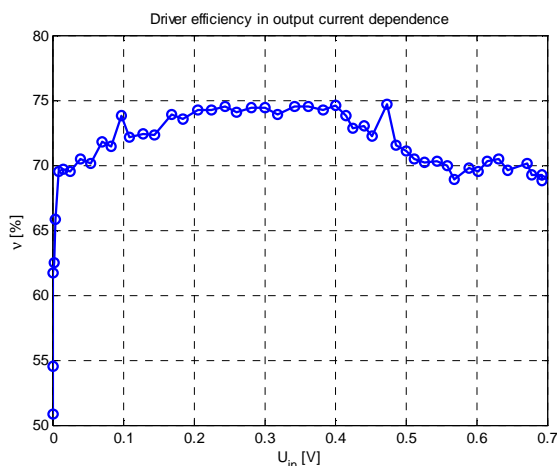


Fig. 9. The efficiency characteristic of driver VISTEON in dependence on output current

The efficiency measurement of both drivers was measured on load, which was connected with one and more power LEDs. The load consisted of 3 parallel connected LEDs, type LXHL-MW1C. Each LED was connected with series power resistor, 47Ω, and with maximum loss power 10W. It was able to reach maximal power 20W on load.

### Spectral characteristic measurement and optical power measurement of power LEDs

As was mentioned in previous paragraphs, power LED diodes were measured in two different driver types for head lamps. In next paragraphs there are described parameters

of power LEDs, i. e. spectral characteristics and optical power of power LEDs. In tables 1 – 4 there are main parameters of power LEDs, which are necessary for next measurements [6, 7, 18].

### Spectral characteristic measurement of power LEDs

The task was to measure a spectral behavior of power LEDs in dependence on optical intensity. Spectral characteristic measurement of power LEDs was done in special dark room, where was not any ambient light. The ambient light is called parasitic light and brings error in measurement and noise. Visible light is electromagnetic wave in range 380 – 780nm. Substitution and intensity of separate wavelengths in spectrum determines general reception and color intensity. The spectral characteristic of white power LEDs can provide a luminous flux  $\Phi$  [lm], when use a relationship:

$$(9) \quad \Phi = 683 \frac{\text{lm}}{\text{W}} \int_{380\text{nm}}^{720\text{nm}} p(\lambda) V(\lambda) d\lambda,$$

where:  $V(\lambda)$  is 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<sup>2</sup>, which induces a lightning of 1 lx. The required features have to be known before measurement: working current, working voltage, operating temperature, reverse voltage for each tested power LED and then the spectral characteristic of LED is measured in dependence on excitation current. The current is set from 0 to 100% with 10% step and after each step the measured data are saved [8, 9, 10].

Table 1. The main parameters for measurement: white LED LXHL-MW1C

Parameter	Symbol	Value [units]
Working current	$I_F$	350 mA
Forward voltage	$U_F$	3,42 V
Wavelength	$\lambda$	450 nm

Table 2. The main parameters for measurement: white LED Cree Xlamp 7090 XR-E

Parameter	Symbol	Value [units]
Working current	$I_F$	700 mA
Forward voltage	$U_F$	3,75 V
Wavelength	$\lambda$	450 nm

Table 3. The main parameters for measurement: orange LED Luxeon K2

Parameter	Symbol	Value [units]
Working current	$I_F$	700 mA
Forward voltage	$U_F$	3,4 V
Wavelength	$\lambda$	590 nm

Table 4. The main parameters for measurement: orange LED Luxeon K2

Parameter	Symbol	Value [units]
Working current	$I_F$	350 mA
Forward voltage	$U_F$	2,95 V
Wavelength	$\lambda$	627 nm

These types of power LEDs were used for head lamps in cars. Other LED diode was tested for winking light and the last diode was chosen with regard to use in tail lamps. Nowadays, the power LED producers aim for development of light sources for automotive with regard to perception of human eye and communication between moving cars. In the future, the power LEDs should do both function all a time, illumination and communication.

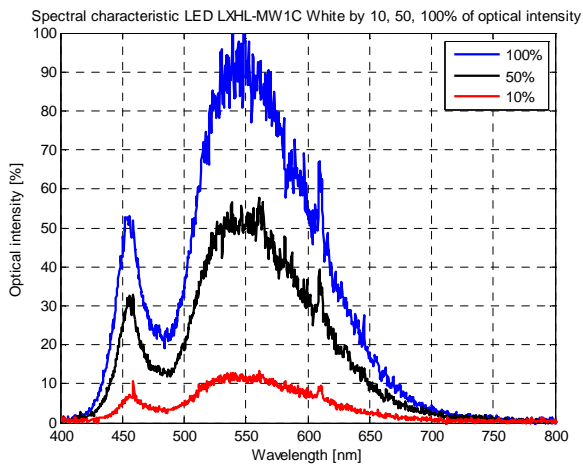


Fig. 10. Measured power LED and its spectral characteristic: LXHL-MW1C

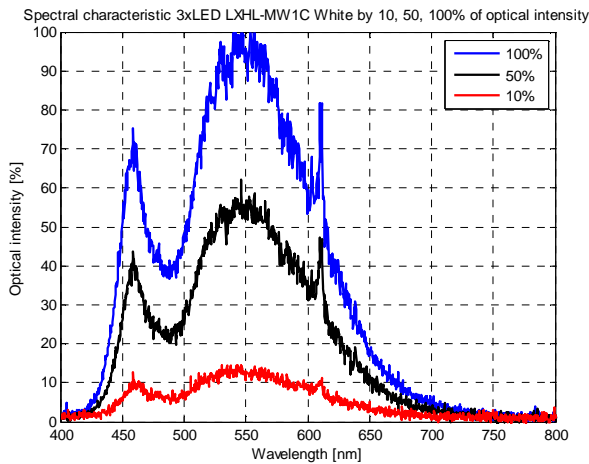


Fig. 11. Measured power LED and its spectral characteristic: LED driver with circuit MAX16831 and 3x LXHL-MW1C

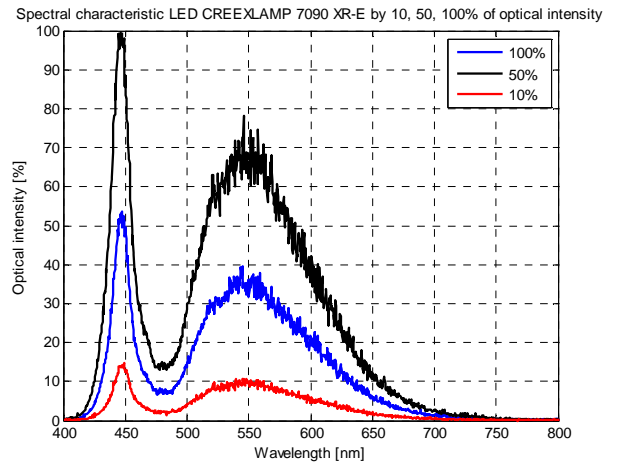


Fig. 12. Measured power LED and its spectral characteristic: Cree Xlamp 7090 XR-E

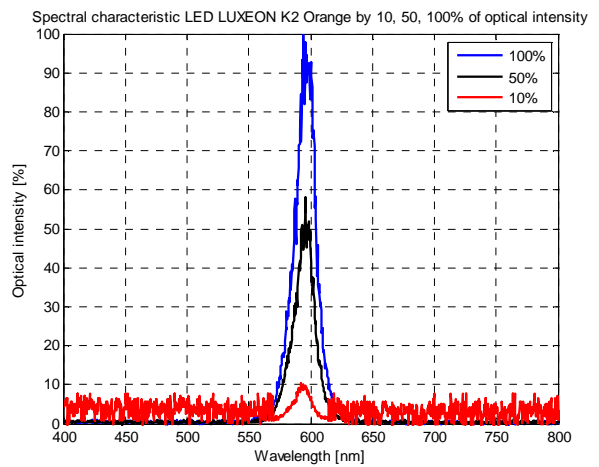


Fig. 13. Measured power LED and its spectral characteristic: Luxeon K2, orange

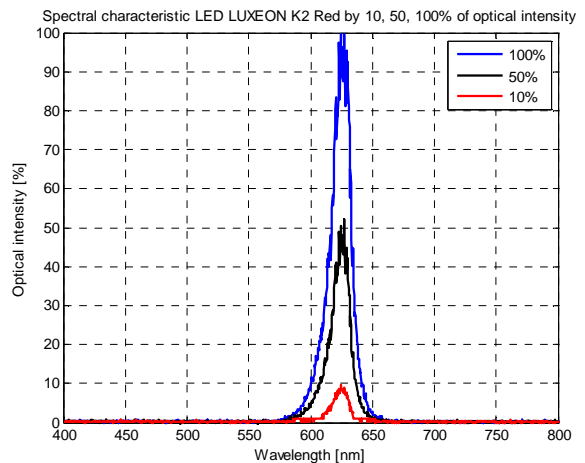


Fig. 14. Measured power LED and its spectral characteristic: Luxeon K2, red

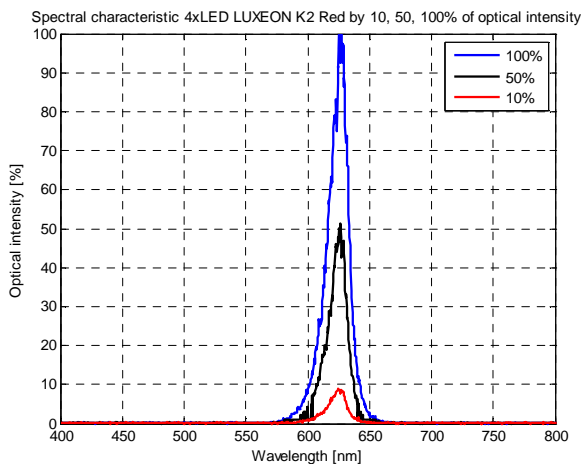


Fig. 15. Measured power LED and its spectral characteristic: LED driver with circuit MAX16831 and 4x Luxeon K2, red

### Evaluation of spectral characteristic measurement of power LEDs

The measurements confirmed an identical shape of spectral characteristics with datasheets. In this article there are shown spectral characteristics by 10, 50 and 100% of optical intensity, which are proportional to excitation current. The characteristics are measured both for itself power LED and with driver MAX16831 (only for two LED types, fig. 10, 15). The shape of spectral characteristics did not vary in case of module too much, but it was necessary to reduce the integration time of spectrometer due to higher brightness.

### Measurement of power LEDs optical power

An important characteristic of the power LEDs is its dependence of optical power on electric current, called Watt-Ampere characteristics or the L/I characteristic. If the electric current is gradually increasing in the forward direction, firstly the diode shows emission, which is characterized by low intensity in units to tens of  $\mu\text{W}$ . After reaching the threshold current  $I_P$ , sudden increase of emitted light intensity occurs. The intensity starts to increase proportionally, because it is a linear function of excitation current.

### Measurement procedure and layout scheme

The optical desk, where optical transmitter (LED) and detector (power meter) were placed, was used for measurement. Detailed layout scheme is shown at fig. 16.

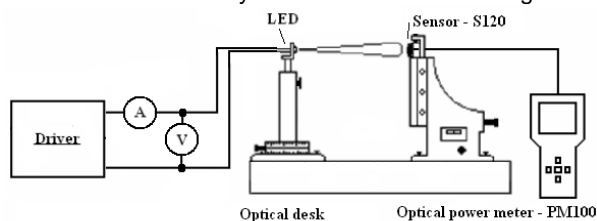


Fig. 16. Layout scheme for optical power measurement of power LED

It is necessary to set optical emitter and detector to face each other before measurement. To reach this condition is recommended to put emitter and receiver as close together as possible and set required height. Power meter must be set at required wavelength of measured light source. The current source was set on the value under threshold, typically 10 mA. The optical power emitted from LED was

measured on power meter. Increasing the current in determined steps and recording optical power values for every step results in showed graphs. The highest set current can't cross maximal allowed LED current value, because LED can be destroyed or its luminance can be permanently lowered. For measurement this equipment was used [5]:

- optical mounts,
- protecting glasses –THORLABS,
- optical power meter PM130 Series Slim Profile Optical Power Meter System,
- digital millimeter 2x,
- stabilized source TESLA BK 125,
- driver allowing current values setting for power LEDs,
- measured power LEDs.

### Measurements results of power LEDs optical power

The previous types of power LEDs were measured according to parameters written in tables 1, 2, 3, 4 again. The measurement results of white power LED LXHL-MW1C, can be seen in fig. 17.

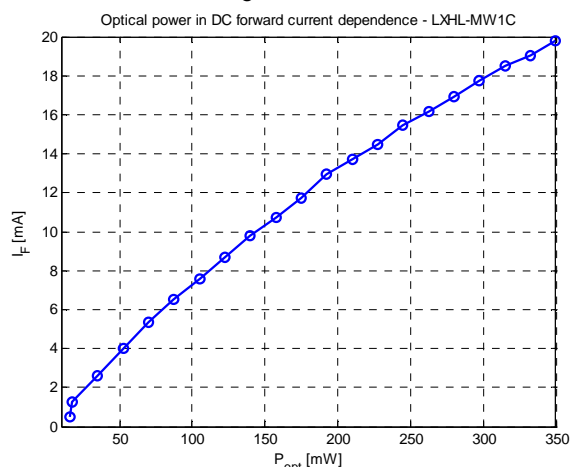


Fig. 17. Dependence of optical power on excitation current for white diode LXHL-MW1C

Measurement results for white power LED Cree Xlamp 7090 XR-E, are depicted in fig. 18.

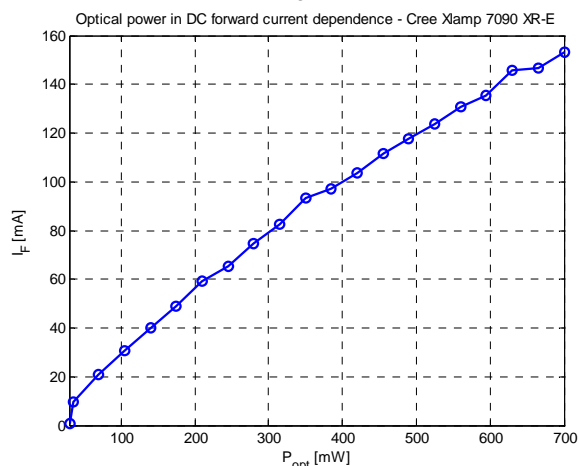


Fig. 18. Dependence of optical power on excitation current for white diode Cree Xlamp 7090 XR-E

Measurement results for orange power LED Luxeon K2, can be seen in fig. 19.



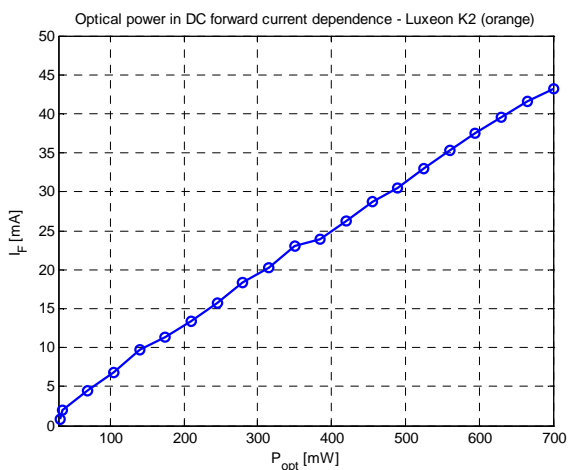


Fig. 19. Dependence of optical power on excitation current for orange diode Luxeon K2

Measurement results for red power LED Luxeon K2, are shown in fig. 20.

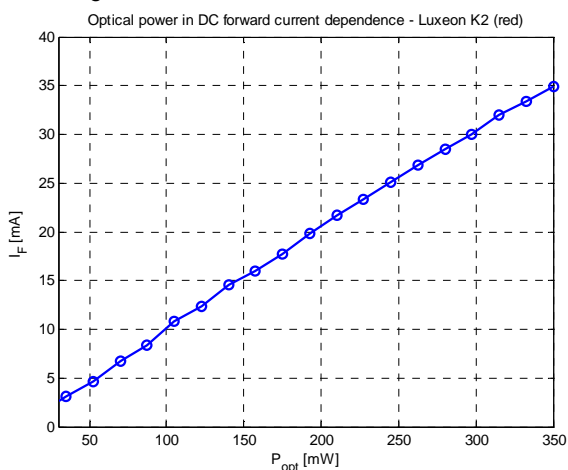


Fig. 20. Dependence of optical power on excitation current for red diode Luxeon K2

### Evaluation of measured results of optical power dependence on excitation current

Two types of power LEDs were measured for car headlights (LXHL-MW1C, white, Cree Xlamp 7090 XR-E, white), winking lights (Luxeon K2, orange) and taillights (Luxeon K2, red). The optical power measurement results shown that best properties have power LED Cree Xlamp 7090 XR-E, which reached optical power up to 153 mW. Measuring sensor was placed 1 centimeter from radiation source and because of this measured powers can't be considered as total. The optical power between different LED types can be compared from measured characteristics and those findings can be used for the given applications.

### Conclusion

This article was concerned with concept and realization of master circuit for power LED. This master circuit is designed for use in headlights of car. For this analysis, which was measured on two types of drivers, was used special measuring method. At first was scaled influence of power voltage supply fluctuation on driver efficiency. Second part of measurement was focused on changes of output current and its influence on efficiency. Measurement shown differences between both power LEDs drivers implemented into cars. In the next part were measured optical characteristics of power LEDs, which were used in

drivers. Two control circuits were brought into the functional state. Driver created with integrated circuit 555 was tried also on non-soldering contact field. This driver had reached very good parameters. Even in value of output voltage was better than final driver. Only disadvantage of this driver was attribute that did not allow output to reach lower voltage, than input voltage. Main part of realized driver is circuit MAX 16831 from MAXIM Company. This integrated circuit contains very complicated inside structure, because of which is able to meet all required parameters, needed for supplying of power LEDs. Output current is controlled by pulse-width modulation that allows controlling of voltage level on exact value. Measurement showed that efficiency of this driver reached up to 90%. Restriction for concept was that it was necessary to design a driver as small as possible, because in the headlights is not enough free space for its placement.

### Acknowledgement

This paper and research has been supported by the Czech Science Foundation GA 102/09/0550, GA 102/09/1986 and SP2011/47, SP2011/135.

### REFERENCES

- [1] Krejčířík, A. Napájecí zdroje I, 2. vydání, Praha: Nakladatelství BEN – technická literatura, 1996. ISBN 80-86056-02-3.
- [2] Vysoký, O. Elektronické systémy II, 2. vydání, Praha: Nakladatelství ČVUT, 2002. ISBN 80-01-02658-2
- [3] Krejčířík, A. Spínané zdroje [CD-ROM]. Praktická elektronika A Radio. Praha 5: 2000, ročník V, č. 3., s. 15 – 25.
- [4] Světlo, technický časopis, Praha: Nakladatelství FCC Public s. r. o. ISSN 1212-0812 URL: <<http://www.odbornecasopisy.cz>>, č.2 2003, č.2 2004, č.4 2006, č.5 2007, č.3 2008.
- [5] Katalogové listy firmy Thorlabs URL: <[www.thorlabs.com](http://www.thorlabs.com)>.
- [6] Krejčířík, A. Spínané zdroje s časovačem 555, 1.vydání, Praha: Nakladatelství BEN – technická literatura, 1999. ISBN 80-86056-76-7.
- [7] Katalogové listy firmy MAXIM, URL: <[www.maxim-ic.com](http://www.maxim-ic.com)>.
- [8] Koudelka, P., Látal, J., Vašínek, V., Dostál, F., Sokanský, K. Research of power LEDs for mobile communication, Przeglad Elektrotechniczny 87 (4), pp. 1-4
- [9] Látal, J., Koudelka, P., Vašínek, V., Dostál, F., Sokanský, K. Possible use of power LEDs for lighting and communication, Przeglad Elektrotechniczny 87 (4), pp. 25-28
- [10] Vitásek, J., Koudelka, P., Látal, J., Dostál, F., Sokanský, K. Indoor optical free space networks - reflectivity of light on building materials, Przeglad Elektrotechniczny 87 (4), pp. 41-44
- [11] Dyuzov, B., Manolov, E.D. Preliminary characterization of automotive LED driver chip, Proceedings of the 17th International Conference - Mixed Design of Integrated Circuits and Systems, MIXDES 2010, art. no. 5551634, pp. 519-524
- [12] Zheng, W., Lou, Y., Xiao, Z. Design of Knight LED system, Proceedings of SPIE - The International Society for Optical Engineering 7546, art. no. 75463A
- [13] Eichberger, A., Wallner, D. Review of recent patents in integrated vehicle safety, advanced driver assistance systems and intelligent transportation systems, Recent Patents on Mechanical Engineering 3 (1), pp. 32-44
- [14] Bierhuizen, S., Krames, M., Harbers, G., Weijers, G. Performance and trends of high power Light Emitting Diodes, Proceedings of SPIE - The International Society for Optical Engineering 6669, art. no. 66690B
- [15] Yu, F., Kaminska, B., Gburzynski, P. A new driving assistant for automobiles, Canadian Conference on Electrical and Computer Engineering, art. no. 4232965, pp. 1199-1202
- [16] Szolusha, K. Switchers drive LED lighting in automobiles, Electronic Engineering Times (1438), pp. 10-15
- [17] Odabae, A. New LED drivers light up cars, Electronic Product Design 26 (12), pp. 22-23
- [18] Dvořák, J. Measurement and properties optimizing of the LED driver for automotive applications, VSB-Technical University of Ostrava, 2009, p. 53

**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](mailto: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](mailto:petr.koudelka@vsb.cz)

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](mailto:jan.vitasek@vsb.cz)

Ing. Petr Šiška, Ph.D., VŠB-TU Ostrava, Faculty of Electrical Engineering and Computer Science, Department of Telecommunications. 17. listopadu 15, 708 33 Ostrava-Poruba. E-mail: [petr.siska@vsb.cz](mailto:petr.siska@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.vasinek@vsb.cz](mailto:vladimir.vasinek@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](mailto:karel.sokansky@vsb.cz)

# Environmental zones in the ČR and their classification by luminance analysis

**Abstract.** Object of this paper is classification different region by size of average luminance in their upper hemisphere to the environmental zones mentioned in standards ČSN EN 12464- 2. Further aim is classification of choice region to these environmental zones according to number of the population and according to kind of house-building. There're mentioned accessible maximum of disturbing lights inside of illuminating systems in norm ČSN EN 12464 - 2. Values of obtrusive light (light pollution) are divided to the four zones and for the time pre-curfew and for the time post-curfew. The table show values of illuminance on objects, luminaire intensity used luminaries and share of luminous flux of luminary radiated above horizon in his working position - URL. Last two column of table include maximum values of luminance on facade of buildings and luminance on road signs.

**Keywords:** environmental zones, obtrusive light, luminance analysis.

## Introduction

With regard to size of obtrusive light depending on size of agglomeration and atmospheric conditions we can class obtrusive light to the several groups according to Standards ČSN EN 12464- 2:

- E1 represents intrinsically dark areas, such as national parks or protected sites;
- E2 represents low district brightness areas, such as industrial or residential rural areas;
- E3 represents medium district brightness areas, such as industrial or residential suburbs;
- E4 represents high district brightness areas, such as town centres and commercial areas. [1]

In larger researched regions there can offer various zone side by side. If this is the case, didn't have would gradate environmental zone more than one step. Also border among zones are not leap, but gradual.

Table 1. Maximum obtrusive light permitted for exterior lighting installations. [1]

Environmental zone	Light on properties		Luminaire intensity		Upward light	Luminance	
	Ev (lx)		I (cd)			ULR (%)	Lb (cd·m <sup>-2</sup> )
	Pre-curfew <sup>a)</sup>	Post-curfew	Pre-curfew	Post-curfew	Building facade		Signs
E1	2	0	2500	0	0	0	50
E2	5	1	7500	500	5	5	400
E3	10	2	10000	1000	15	10	800
E4	25	5	25000	2500	25	25	1 000

<sup>a)</sup> In case no curfew regulations are available, the higher values shall not be exceeded and the lower values should be taken as preferable limits.

Values of luminances on facade of buildings are moving from 5 cd/m<sup>2</sup> (countryside , where is only public lighting) until 25 cd/m<sup>2</sup> (urban centres and shopping areas, where is more public lighting and advertising and next source of light).

## Measuring and evaluation

For example was made measuring in city centre of Ostrava on town tower. In first part was measured zenith luminance above city centre and in second part was measured choice housing and their facade. Measured area includes living area, main way and urban centre with many commercial advertisements. From these characteristic we can city centre class to environmental zone E4. Measurements were performed at varying atmospheric conditions.

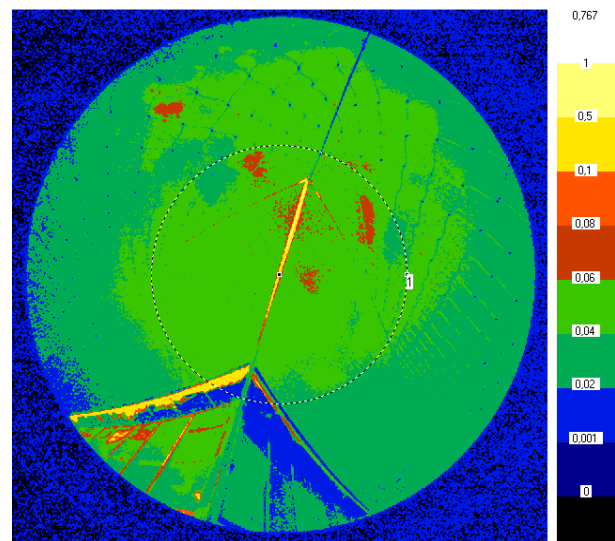


Fig. 1. Luminance sky above town Ostrava – metering station was on town tower, average luminance in zenith (region 45° above horizon) is 0,052 cd/m<sup>2</sup>.

On next pictures (Fig. 2. , Fig. 3. and Fig. 4.) is an example of street, where facade on church be of value luminance more how 25 cd/m<sup>2</sup> so fall in according to table 1 to the zone E4. These great values of luminance are incurred architectonic lighting. Luminance on facade surrounding building is moving from 1 cd/m<sup>2</sup> to 25 cd/m<sup>2</sup>. In this regard we can class this street to the zone E2, alternatively E3.



Fig. 2. Photography of street measured in city centre in Ostrava.

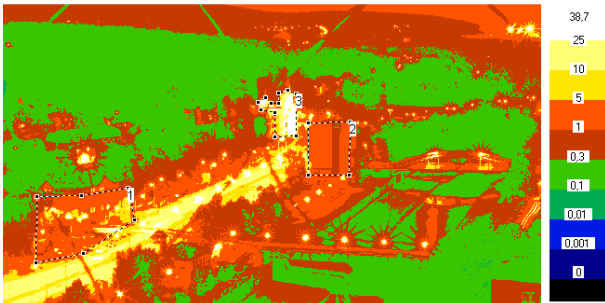


Fig. 3. Luminance map with palette for evaluation according building facade luminance in table 1.

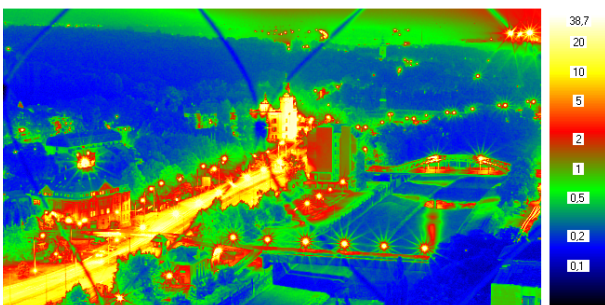


Fig. 4. Classical luminance map measured street.

On graph on figure 5 are introduced histograms of two panel building and church. Histograms show count pixels (vertical axis) of particular level luminance (horizontal axis).

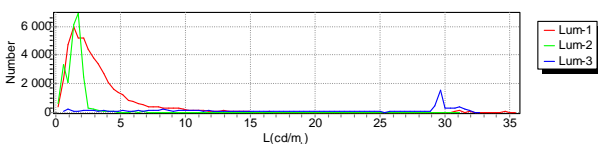


Fig. 5. Histograms of panel building facades and facade of church.

First and second object (Lum-1 and Lum-2) has a maximum count about  $2 \text{ cd/m}^2$ , whereas third object (Lum-3) has maximum between  $29 \text{ cd/m}^2$  and  $30 \text{ cd/m}^2$ . As well on the first object we can see slight rising values over  $30 \text{ cd/m}^2$  that are produce of direct light of public lighting.

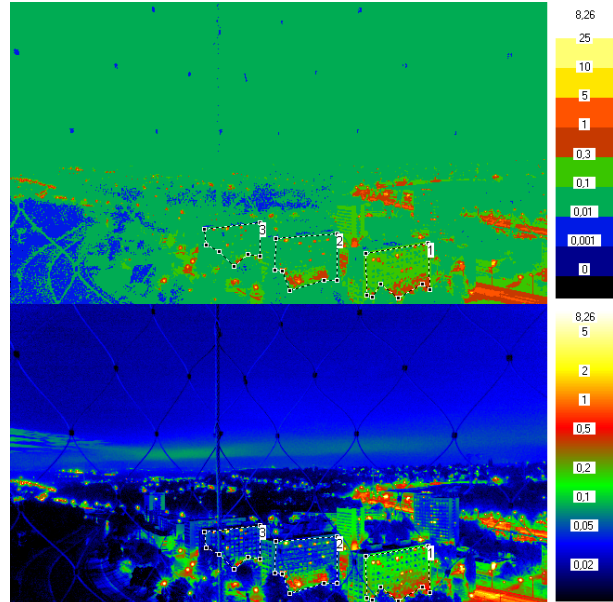


Fig. 6. Luminance map adapted environmental zones according to Tab 1 (up) and classical luminance map (down) of three neighbouring panel building measured from the city tower.

Second example shows various values of luminance on three neighbouring panel building. Size of average luminance of facade of first panel building is  $0,23 \text{ cd/m}^2$ , whereas facade of second panel building has average luminance  $0,16 \text{ cd/m}^2$  and luminance facade of third panel building has only  $0,09 \text{ cd/m}^2$ . Difference among average values of luminance on facade in one zone can be about 60 %.

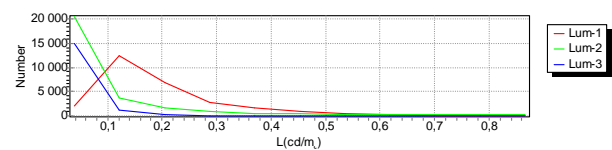


Fig. 7. Histograms of luminance on facade of panel building.

Abnormalities of luminance on home facades are incurred different position of panel building. Outside panel house is irradiated directly with public lighting by near main road and indirectly with reflected luminous flux from surroundings, whereas middle houses illumine only park lighting among houses.

## Conclusion

These metering shows that in one continuous zone (town Ostrava) can be side by side several environmental zones. Metering of night sky luminance is possible to quantify all region and determine so one environmental zone. Luminance of night sky moves about  $0,05 \text{ cd/m}^2$  above town Ostrava. Similar values of night sky luminance were measured in city Jablonec nad Nisou [3]. To designation region to the environmental zones by the help of metering night sky luminance is necessary determine common measuring stand and conditions during measuring so, to be possible to objectively pass judgment on measured region.

## Acknowledgment

This article was supported with project "Optimalizace spotřeby elektrické energie využitím moderních světelných zdrojů". Project number is SP 2011/135.

## REFERENCES

- [1] ČSN EN 12464-2, Světlo a osvětlení – Osvětlení pracovních prostorů – Část 2: Venkovní pracovní prostory
- [2] Závada P., Sokanský K., Novák T., Žwak Z., Měření jasů noční oblohy ve Frýdku-Místku, Kurz osvětlovací techniky, Ostrava, 2009, ISBN: 978-80-248-2087-3
- [3] Sokanský K., Novák T., Závada P., Dostál F., Diviš D., Zpráva o měření jasů noční oblohy v Libereckém kraji, SRVO 2009, Brno,
- [4] Závada P., Sokanský K., Novák T.: Modelování rušivého světla. In sborník Světlo 2009, str. 125-128, Jasná, 2009, ISBN 978-80-969403-7-0
- [5] Závada P., Sokanský K., Novák T., Metering of light pollution, WOFEX, VŠB-TU Ostrava, 2009, ISBN: 978-80-248-2028-6
- [6] Sokanský, K. a kol., Studie environmentálních účinků venkovních osvětlovacích soustav a snižování jejich energetické náročnosti, 2011

---

### Authors:

*Ing. Petr Závada, Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava Fakulta elektrotechniky a informatiky, 17. Listopadu 15/2172, Czech Republic, e-mail: [petr.zavada@vsb.cz](mailto:petr.zavada@vsb.cz)*

*Ing. Tomáš Novák, PhD., Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava Fakulta elektrotechniky a informatiky, 17. Listopadu 15/2172, Czech Republic, e-mail: [tomas.novak1@vsb.cz](mailto:tomas.novak1@vsb.cz)*

*prof. ing. Karel Sokanský, CSc., Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava Fakulta elektrotechniky a informatiky, 17. Listopadu 15/2172, Czech Republic, e-mail: [karel.sokansky@vsb.cz](mailto:karel.sokansky@vsb.cz)*

# Lighting Quality And Energy Efficiency Is Not A Contradiction

**Abstract.** The International Energy Agency (IEA) reports that 19% of electricity worldwide is used for lighting. To reduce CO<sub>2</sub> emissions, European and international directives (e.g., the Energy Performance of Buildings Directive and the Directive on the Eco-design of Energy-Using Products) demand the declaration and reduction of energy consumption.

Energy use is a driving force. Lighting is a consumer of electrical energy. In parallel lighting quality is of essential importance for the user.

People worldwide should be aware of the balance between human aspects and energy consumption for lighting. The quality of lighting is extremely important in order to fulfil visual tasks, to enhance the architecture, and to support biological functions.

The measure for energy demand is **LENI** (Lighting Energy Numeric Indicator, in kWh/(m<sup>2</sup> year)), which shows the annual lighting energy required to fulfil the illumination function and purpose in the building specifications.

The measure for lighting quality is **ELI** (Ergonomic Lighting Indicator). It uses five major quality criteria –visual performance, vista (view of a scene), visual comfort, vitality and empowerment (to influence the lighting)- which are rated on a scale from 1 (“poor”) to 5 (“excellent”). The basis is an extended list of single aspects behind each major criteria. The spider web shows at a glance the overall lighting quality and allows to compare the requirement with different designed or realised solutions.

Developed by the author together with the University of Ilmenau, this takes into account the lighting requirements as stated in EN 12464, as well as ISO 8995-1, both “Lighting of Workplaces“, and helps to define the qualitative levels of a lighting solution.

The balance of energy efficiency and lighting quality can be evaluated with LENI and ELI.

**Keywords:** energy efficiency, lighting quality, ergonomic lighting indicator, spider web, lighting needs.

## Introduction

The discussion about the climate-change is of essential importance. The world accepts the threats, and not only politicians like Al Gore with his movie “An inconvenient truth” show us that we have to take action. Consequently Nicolas Stern’s executive summary states that the benefits of strong, early action on climate change considerably outweigh the costs.

For this reason all over the world the use of energy and the emission of green house gases especially of CO<sub>2</sub> shall be reduced.

In this paper the energy demand is focussed on lighting of professional buildings in the tertiary sector.

In Europe the Energy Performance of Buildings legislation was issued by the European Commission in 2002 [1] and is in force in all European countries now. Lighting is one part of the energy used in buildings. The energy performance of

new and existing buildings has to be documented in an obligatory energy certificate.

The measure is **LENI** (Lighting Energy Numeric Indicator) in kWh/(m<sup>2</sup> year)), which shows the annual lighting energy required to fulfil the illumination function and purpose in the building specifications. As there is a measure it is logical to set benchmarks for the use of energy [2].

It is of paramount importance that a designed and installed lighting scheme conforms to good lighting practise as laid down in EN 12464 [3] [4]. The requirements of people are even more. This is described by **ELI** (Lighting Ergonomic Indicator). This measure was introduced to show the multiple quality aspects of lighting at one glance [5] [6].

The standards refer to each other [2][3]. A balance of human aspects and energy efficiency can be evaluated [7].

## 1. LENI (LIGHTING ENERGY NUMERIC INDICATOR): Energy EFFICIENCY aspects

Under EU Directive 2002/91/EC “Energy performance of buildings” [1], an energy certificate is required which indicates the energy consumption of a building which includes the energy consumption for heating, air conditioning, warm water supply, ventilation, lighting, the building in general and the control system. The calculation procedures for lighting are given in the standard EN 15193-1 “Lighting energy estimation” [2].

The standard considers different aspects of energy consumption:

- a) Installed load: all installed luminaires
- b) Use during the day: daylight-dependent lighting control and occupancy control
- c) Use during the night: occupancy control
- d) Use of constant illuminance: control of initial illuminance (maintenance control)
- e) Standby: parasitic power in controlled lighting components
- f) Algorithmic lighting and scene setting reduced energy consumption of installed power

The total annual energy used for lighting is

$$W_{\text{light}} = W_L + W_p \text{ in kWh/year}$$

The **Lighting Energy Numeric Indicator (LENI)** has been established to show the annual lighting energy per m<sup>2</sup> required to fulfil the illumination function and purpose in the building specifications

$$\text{LENI} = \frac{W_{\text{light}}}{A} \text{ kWh/(m}^2 \text{ year)}$$

It is obvious that lighting energy consumption can be influenced significantly by the use of controls.

The standard uses the basic formula to measure and calculate the annual lighting energy for a building ( $W_{L,t}$ ):

$$W_{L,t} = \sum \{ (P_n \times F_c) \times [(t_D \times F_o \times F_D) + (t_N \times F_o)] \} / 1000 \text{ kWh}$$

Additionally, the parasitic power for the evaluation of stand-by losses and power for emergency lighting completes the energy calculation.

$$W_{p,t} = \sum \{ \{ P_{pc} \times [t_y - (t_D + t_N)] \} + (P_{em} \times t_{em}) \} / 1000 \text{ kWh}$$

- $P_n$  the total luminaire power in a zone
- $F_c$  constant illuminance factor
- $t_p$  time where parasitic power is used
- $t_D$  daylight time usage
- $t_N$  non-daylight time usage
- $F_D$  daylight dependency factor
- $F_o$  occupancy factor
- $P_{pc}$  parasitic power in a zone (which generally means standby losses)
- $t_y$  standard year time (8.760 hrs)
- $P_{em}$  total installed charging power for emergency lighting luminaires in a zone
- $t_{em}$  emergency lighting charging time

## 2. ELI (ergonomic lighting indicator): LIGHTING QUALITY ASPECTS

The Ergonomic Lighting Indicator (ELI) uses five major criteria to describe the overall quality of a lighting installation. They are related to the most important human aspects in lighting. The five criteria are:

- A *visual performance*,
- B *vista* (view of a scene),
- C *visual comfort*,
- D *vitality* and
- E *empowerment* (to influence the lighting).

They are rated on a scale from 1 ("poor") to 5 ("excellent") [5] [6]. A common description of the five criteria is given in fig. 4.

Each dimension of the scale includes several sub-criteria. These are necessary for a reliable and repeatable evaluation.

The method is used for the communication during a lighting project (e.g. between an owner and a designer) [7]. Firstly the *requirements* for the lighting are discussed.

Then a lighting design is worked out or even lighting is installed. Secondly the *evaluation* of the solution can be done.

For both steps specific questionnaires with 38 single criteria behind the five major criteria can be used.

The *requirements* can easily be compared with the *evaluation* (see fig. 1: orange area – *requirements*, blue area – *evaluation* of lighting solution). Strengths and weaknesses of different lighting solutions were shown at a glance.

Spider webs like this are found quite often when complex evaluations should be made. They can be understood easily, and this is the major advantage when they are used in lighting for communication between a customer who usually is a layman, and the designer, who is an expert with a detailed knowledge about many lighting aspects.

ELI is the result of earlier investigations [8] and was developed together with Prof Dr Christoph Schierz, ETH Zurich, now TU Ilmenau [9].

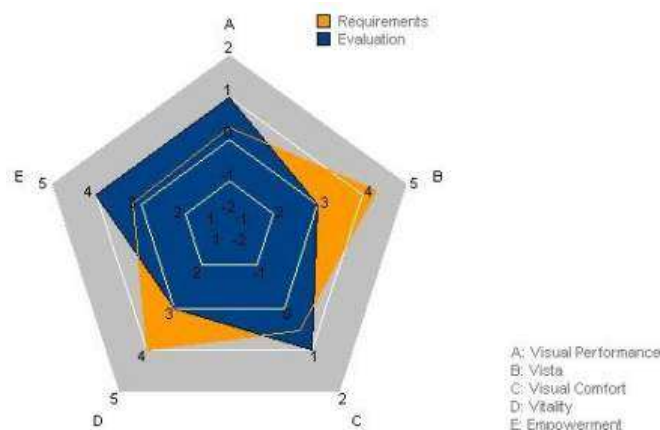


Fig. 1: The ELI spider web shows the evaluation of the lighting quality. The requirement is agreed with the customer (light blue). Three possible solutions (coloured lines) may be easily compared in their overall quality.

## 3. EMPIRICAL STUDY: OBJECTIVITY, RELIABILITY AND VALIDITY OF ELI QUESTIONNAIRE

The questionnaire was examined critically in an empirical study with the help of an item analysis and the criteria of a classical test performance [9]. Two experimental series were executed.

In the first series the evidence for the questionnaire method was tested. Based on planning documentations 22 test persons answered the ELI questionnaire firstly for *requirements* and secondly for the *evaluation*. The results were examined with an item analysis and test performance

criteria regarding objectivity, reliability and validity. Furthermore the single questions (items) were analysed regarding the scaling, weighting and operationalisation. In the second series the application of the evaluation process was tested. Problems which occur during the process oriented workflow should be detected. Therefore a complete project process was simulated, observed and analysed. This experimental series was done with two lighting designers. Both had to find out in a dialogue with the customer what the requirements of the project are. Afterwards they had to suggest and evaluate together with the customer the lighting quality. The project was a real office project and the customer was working himself in the office. In general, the analysis showed that the evaluation method can almost be termed as objective and valid. The validity

could be increased with adaptation of the question to the different applications. The second series was processed in laboratory conditions. The results showed that the evaluation of lighting concept can be integrated in the daily work of a lighting designer. The approach was stated generally positive by the test persons. Nevertheless useful statements were collected for the further development of the *Ergonomic Lighting Indicator*. The questionnaire to evaluate lighting quality is approved as a generally admitted measure. To increase the validity of the *Ergonomic Lighting Indicator* the items and the weighting have to be adapted to different lighting applications.

#### 4. PRACTICAL APPLICATION OF THE ELI – LENI EVALUATION

The target of using the calculation methods of ELI and LENI together is to increase the awareness of the necessary balance between lighting quality and energy efficiency. The ELI – LENI calculator (see fig. 2) shows in simple diagrams the result of a detailed energy and quality evaluation. In an actual study the application of the questionnaire is investigated with a larger number of subjects [12].

The four solutions show different levels of lighting quality using different products in combination with lighting controls (see fig. 3). The test persons (lighting designers, electricians, architects,..) have to evaluate four real lighting installations using the ELI questionnaires. The results will be captured, compared and analysed regarding value and changing of single quality criteria.

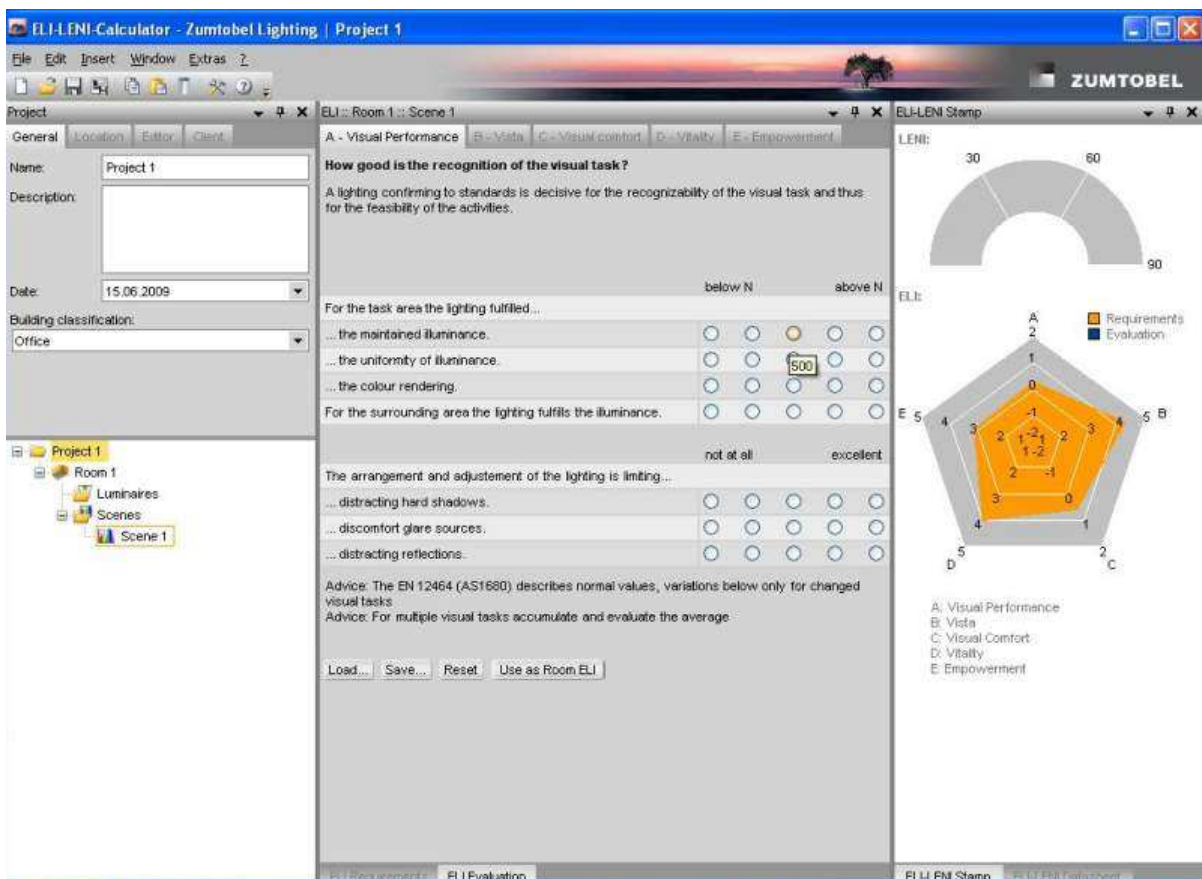


Fig. 2: The ELI-LENI-Calculator indicates the lighting quality (ELI) and energy consumption (LENI)







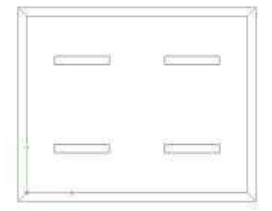
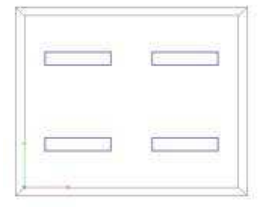
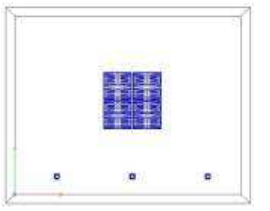
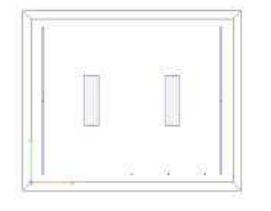
			
			
<ul style="list-style-type: none"> <li>• General lighting direct</li> <li>• switched</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• General lighting with MPO-optic (micro pyramid optic)</li> <li>• dimmed</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• General lighting direct and diffuse with 3000K and 6500K</li> <li>• Accent lighting with Downlights</li> <li>• Light scenes, Presence detection</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Task area lighting direct and indirect (LED + T16)</li> <li>• Wallwasher with 17000K</li> <li>• Accent lighting with LED Spots</li> <li>• Dynamic lighting control, daylight control</li> </ul>

Fig. 3: Four lighting solutions of a typical office situation were built up for a long term study to confirm the results of the empirical study

## 5. Conclusion

The very important efforts to reduce energy for lighting need a counterpoise for requirements for lighting. LENI indicates energy efficient lighting installations and –even more important- efficient controls are needed. The use of daylight and absence detection is essential. The use of controls supports the better adjustment of lighting to the user. Lighting quality which consists of multiple aspects is more than a simple number. Therefore a spider web is a very helpful tool to display the five major criteria. It helps

the designer to balance the effects of energy efficiency and lighting quality.

In the end energy consumption is reduced and lighting quality may even be raised.

LENI is already established in a standard. ELI shall become part of lighting guides. In the future it may be a general tool for the evaluation of lighting quality.

ELI and LENI shall be in an appropriate balance.






Criteria A - Visual performance	Lighting according to appropriate standards that is necessary to identify and perform the visual task.	Illuminance Uniformity of Illuminance Colour rendering Contrast rendering (CRF) Limitation of reflections Limitation of harsh shadows	
Criteria B - Vista	Light e.g. in representative buildings is not only used for vision, also for perception. Light supports orientation. The first impression is essential for the acceptance of a room.	Architectural concept Expectation of the user Orientation Hierarchy of perception Material Environment	
Criteria C - Visual comfort	In addition to the visual task light is also needed for the perception of objects and surfaces.	Glare control (UGR) Brightness distribution Modelling Daylight Limitation of flickering	
Criteria D - Vitality	Light has a significant influence on the wellbeing and activation of a human. It supports biological processes.	Wellbeing Activation Natural Biological Hazards	
Criteria E - Empowerment	Different requirements demand to individual influence of lighting situation. Sensors and systems can help to fulfil the personal expectation of a user.	Personal control Lighting scene Automatic control Dynamic lighting (story board) Flexibility	

Fig. 4: The five general lighting quality criteria and their description. In the third column are the parameters behind each criteria. The illustrations show a way how the different criteria may be addressed. To change lighting controls are needed.

#### REFERENCES

- [1] Directive 2002/91/EC on Energy performance of buildings, Official Journal of the European Commission
- [2] EN 15193 "Energy requirements for lighting", to be published in August 2007
- [3] EN 12464-1 "Lighting of indoor Work Places", March 2003
- [4] ISO/ CIE Joint ISO/CIE Standard, ISO 8995:2002/CIE S 008/E:2001
- [5] Dehoff, Peter, The Ratio between Lighting Energy Efficiency and User Needs, Proceedings of the 10th European Lighting Conference Lux Europa, Berlin, 2005
- [6] Dehoff, Peter, ELI - Ergonomic Lighting Indicator, Lighting criteria at a glance, Proceedings of the 26th CIE Session, Beijing, 2007
- [7] Dehoff, Peter, - The Balance between Human Aspects and Energy Efficiency in Lighting, IESNA Conference 2007, Phoenix, proceedings
- [8] Dehoff, Peter, Quality aspects of interior lighting, Proceedings of the 25th CIE Session, San Diego, 2003
- [9] Schierz, Christoph, unpublished research
- [10] Dehoff, Peter, Das richtige Verhältnis zwischen Energieeffizienz und Licht für Menschen, Tagungsband Licht 06, Bern, 2006
- [11] Tralau, Birthe, Die Bewertung von Lichtqualität mit dem Ergonomic Lighting Indicator (ELI) – Umsetzung des Bewertungsverfahrens und empirische Untersuchung seiner Anwendung, Master Thesis, 2007
- [12] Tralau, Birthe, Dehoff, Peter Examination: Ergonomic Lighting Indicator in practise, Proceedings of the 11th European Lighting Conference Lux Europa 2009, Istanbul

**Authors** DI Peter Dehoff, Strategic Lighting Application, Zumtobel Lighting. AT-6851 Dornbirn, E-Mail: [peter.dehoff@zumbobel.com](mailto:peter.dehoff@zumbobel.com)  
Fon: +43 5572 390687

# Measurements of Energy and Efficiency Related Parameters in Public Lighting Networks

**Abstract.** Public lighting networks are typical for their specific topology and infrastructure. Optimal configuration can be established only by serious design and sophisticated calculations. Our paper aims to focus on investigation of electrical properties of lighting networks used for road lighting and urban lighting. Quality of such networks are studied both theoretically and by measurements. The paper will present conclusions of measurements in various lighting networks. Results of measurements have been used, amongst others, for current tasks of the CEN workgroup established to develop the European norm EN 13201-5 dealing with energy efficiency aspects of public lighting, introducing the SLEEC (Street Lighting Energy Efficiency Criterion) numerical indicator. Based upon broad practical experience with measurements of electrical parameters in public lighting networks, methods for measurement of SLEEC have been proposed for different situations in order to verify the SLEEC value obtained by calculations. The methods will be briefly described in the paper.

**Keywords:** public lighting, lighting measurement, energy efficiency, SLEEC

## Introduction

Importance of energy efficiency increases rapidly. The European Commission already adopted two ecodesign regulations to improve the energy efficiency of household lamps, office, street and industrial lighting products. The two regulations lay down energy efficiency requirements which will save close to 80 TWh by 2020 and will lead to a reduction of about 32 million tons of CO<sub>2</sub> emissions per year. It is known that the implemented measures alone are not enough to reach ambitious targets of EU by 2020. Energy savings potential on system levels are at least as high as on product level. That is why Commission's focus is on improved measures on products, energy labeling and introducing the Lighting System Legislation (LSL).

The process above for office lighting is backed with a series of directives and standards. In contradiction, highlighted steps for street lighting are not covered by accepted EU standards [1] and verified practice of calculation and measurement. Highlights here do not indicate priorities, just a sign for the lack of legislation.

Those energy saving elements were targeted by the statement from CIE (International Commission on Illumination) during the Session in Beijing 2007, which led to formation of Technical committees. Current works in CEN (European Committee for Standardization) aim to develop a system for assessment of energy efficiency of street lighting systems as a possible framework for energy labeling of these systems. Those missing elements are subjects of the present paper. CIE publications [2] are essential for preparation of EU standards and for lighting practice.

Energy savings in public lighting are studied in many European countries. Comprehensive studies have been performed e.g. in Slovakia and Czech republic [3]. As continuously emphasized in CIE, energy savings must not decrease the lighting quality and proper lighting [4] has to remain the framework objective.

## 1 Derivation of the Street Lighting Energy Efficiency Criterion (SLEEC)

For expression of energy efficiency level of public lighting (street lighting) systems, a work name Lighting Energy Efficiency Criterion (abbreviated as SLEEC) is introduced. However, definition of this criterion (in fact an indicator) is still a subject of vivid discussions. Up to now, several less or more compatible approaches are available. Leading approach can be defined by generalization of various particular formulae for calculation of SLEEC, having common philosophy. Some other approaches are briefly

discussed in chapter 2. General formula for calculation of SLEEC can be composed as follows:

$$(1) \quad SLEEC = \frac{\text{Power Demand}}{(\text{Luminous Parameter}) \times (\text{Relevant Area})}$$

**1. Power Demand of a lighting installation.** Different approaches may lead to usage of one of the following:

**A/ Installed Power P (kW):** Total input power of all installed luminaires (including lamps, ballasts and control gears) and other energy consuming devices (e.g. for control or monitoring purposes) installed in electrical compartments (poles, switchboards) within the defined relevant area. Installed power approach is easier for calculation but does not take into account lighting control and its benefits to energy demand of the lighting system. For the sake of simplicity, losses in cables can be neglected in the design stage.

**B/ Annual Power Consumption W (kWh):** Suitable switching profiles [5], light dimming [6] and other techniques may contribute to optimize energy utilization for public lighting. Due to seasonal changes of daylight availability, at least one-year basis should be used for setting up the parameter. If no dimming is applied, standard annual operation times can be derived for different geographical locations. However, particular local conditions or requirements may be applied as well. If dimming systems are to be installed, lighting levels should correspond to lighting classes linked to the relevant area as per EN 13201-2 [1] or CIE 115 [2], differentiated for normal (full-level) and dimmed operational regimes. Lighting designer has to consider all assumptions and calculations perform with the most probable switching/control diagram (examples see on Fig. 1). The diagram must be attached to calculations as part of the lighting project.

Power consumption approach is more complex than installed power approach though shortcomings can be seen in ambiguity of results as a consequence of different switching/control profiles used for calculations, depending on particular lighting system. On the other hand, annual consumption principle is used also in other schemes, as such as LENI for assessment of energy performance of lighting in buildings [7].

Installed power can be calculated using the formula as follows:

$$(2) \quad P = \sum_{i=1}^N (n_i \cdot x P_{Li}) + P_{Ci}$$

where

$P_{Li}$  - rated input power of a particular luminaire type

$n_i$  - number of installed luminaires of a particular type within the area

$i, N$  - index and number of different luminaire types

$P_{Ci}$  - total input power of all lighting control installed outside of luminaires, exclusively concerning the relevant area

In general, annual power consumption can be expressed as follows:

$$(3) \quad W = \int_{\text{year}} P \cdot dt$$

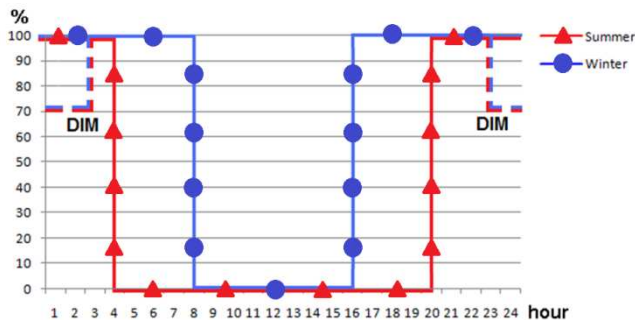


Fig.1. Typical daily switching profile for 50° latitude with and without light dimming

Assuming that in public lighting only limited number of lighting levels is applied, following simplification of the formula (3) can be introduced:

$$(4) \quad W = \sum_{i=1}^{365} \sum_{j=1}^M (P_{ij} \cdot x t_{ij})$$

where

$t_{ij}$  - daily operation time of a particular lighting level

$P_{ij}$  - installed power expressed by formula (2) reduced according to corresponding lighting level (NB: reduction of luminous flux generally do not gain in linear decrease of power)

$j, M$  - index and number of different pre-set lighting levels

If different light levels are applied, segregation of formula (1) to individual levels is needed. More detailed calculations are needed in these cases:

- if more complex profiles are used to control the lighting
- if adaptive lighting systems are used (only estimations can be performed)
- if individual luminaire control is used

**2. Luminous Parameter** is used to relate the energy demand to lighting level of the illuminated relevant area [8, 9]. More illumination calls for higher consumption, so the mutual ratio of the two parameters help to describe efficacy of lighting systems similarly like luminous efficacy of lamps is defined, though here in reciprocal expression. Luminous parameter is strongly dependant on lighting class of the relevant area. Design criterion is either based upon luminance  $L$  ( $\text{cd} \cdot \text{m}^{-2}$ ) [10] or illuminance  $E$  ( $\text{lx}$ ) what necessarily leads to split of formulae to  $L$ - and  $E$ -based SLEEC. Besides the said, following approaches can be identified:

**A/ Normative parameter:** If normative parameter is used, result of calculation will point to overall energy efficiency of analyzed lighting system, when common basis

is used to compare different lighting systems under standard conditions. Such assessment can show the quality of designer's effort to fulfill the desired lighting levels with least power demand. Big difference between normative and calculated values of a luminous parameter will lead to worse ranks of the lighting system.

**B/ Calculated parameter:** In contradiction to the previous approach it may be desired (e.g. by municipalities) to have higher lighting levels than required by standards, e.g. for marketing purposes. Technical standards (EN 13201-2 for instance) require only minimum levels, while range from the upper side is open, in fact. Therefore, if calculated parameter is used for assessment, result of calculation will emphasize energy efficiency of technologies incorporated (lamps, luminaires, accessories), regardless on dimensioning of the system. Identified problems:

- In some cases, relevant area (e.g. straight road) is required not to be solely illuminated from edge to edge, some part of luminous flux should be used to illuminate the proximate surrounding (requirement set through the „surround ratio“ parameter).
- One lighting system quite usually serves to illuminate more than one area, for example road + sidewalks (sometimes separated by grass strips capturing light; such light losses exceeding required surround ratio level cannot be effectively controlled).
- In parks, lighting is not aimed only to illuminate footpaths but to help increase the feeling of safety and to create pleasant lighting atmosphere e.g. by illumination of trees from the bottom. This cannot be considered as unuseful spill light. Similar situation is on places where building facades have to be illuminated to some level.

**3. Relevant area  $A$  ( $\text{m}^2$ )** defines the density of lighting system efficacy (energy demand over luminous parameter). Two main typical situations can be distinguished:

**A/ Straight road:** This situation (Fig. 2) is typical for luminance based systems because application of the luminance concept requires at least a certain straight section of road (calculation area between two consequent poles plus 60 m braking distance before this area). This approach can be with no limitations used for the illuminance approach as well. Though in practice indicators relating installed power or power per lux or  $\text{cd} \cdot \text{m}^{-2}$  to 1 km of a road are sometimes used, true value of this parameter is only informative. As width of the illuminated road has significant meaning, it cannot be neglected and tabelization of values for different typical road widths seem to be impractical.

**B/ Any closed area:** This situation (Fig. 3) can only be used for illuminance based systems. Transversal profile of roads or lighting system geometry is not critical for this approach. Closed area may include any number of installed luminaires, any number of distribution boxes and any topology of cable routes. Area to be taken into account should be carefully calculated, depending on the illumination task. For example, if in a park the task is only to illuminate footpaths, total area is summed up from particular sections of these footpaths. If aim is to illuminate the park as a whole, total park area should be taken (intentional dark places should be excluded).

Relevant area for the case of a straight road can be calculated as follows:

$$(5) \quad A = l \cdot x \cdot w$$

where

$l$  - length of the relevant section of road

$w$  - width of the road

Some roads are not ideally straight but small differences are neglectable. For general case of quasi-straight roads with curvatures, bends and variable widths more detailed calculations are needed, using the following formula:

$$(6) \quad A = \int_{\text{section}} l \cdot dw$$

If requirements to accuracy of calculations are not very high, the following simplified formula can be used instead of the previous two:

$$(7) \quad A = n \cdot x \cdot s$$

where

n - number of poles installed on the relevant road section  
s - typical spacing of poles in a linear (single side) geometry

## 2 Analysis of efficiency of streetlighting systems

Assuming that lighting designer aims to reach required lighting levels with minimum power consumption, optimization of lighting design is needed. In general, results of lighting calculation should always be higher than minimum values prescribed by standards. Designer working with discrete inputs (power of lamps, selection of luminaires and optics, heights depending on available poles, spacing usually taken e.g. in 1 m steps) should seek for minimum difference between his result and normative requirement. The same time, spill of luminous flux to unnecessary area or directions should be limited as much as possible. Overall efficiency of lighting systems can be defined as the ratio of luminous flux necessary to fulfill the lighting function to the total luminous flux of all lamps installed within the relevant area.

Overall efficiency incorporates:

- Luminous efficacy of lamps: depends on lamp type and its power; some lamp types are available in standard and improved versions, the latter having increased luminous flux thus better luminous efficacy. Luminous efficacy of the light source is usually determined in nominal (optimal) circumstances, Nevertheless, light source at the luminaire works far from nominal. In that case, luminous efficacy in real situation will be different (usually smaller) than that for optimal. Typical example is the luminous efficacy of LEDs given at chip temperature of 25°C and nominal current, although chip temperature and actual current will be different in reality. This must be taken into account, when overall efficiency is calculated. For example of LEDs, 'thermal efficiency' can be calculated, which indicates the ratio of efficacy at nominal and real situations
- Luminous efficiency of luminaires: given by quality of optics (e.g. high-reflectance MIRO vs. cheap diffuse reflector) and construction of the luminaire (e.g. deep flat-glass vs. shallow luminaires).
- Maintenance factor: It is multiplied from lumen depreciation of the light source and the maintenance factor of the luminaire. Lumen depreciation is a function of the depreciation curve and designed replacement cycle of the source. The maintenance factor of the luminaire depends on quality of environment, prescription of maintenance, materials and tightness of luminaires.

- Efficiency of ballast: in case of magnetic ballasts, approximately 20 % of luminaire's rated power is consumed by ballast while for electronic ballasts this portion can approach near towards 0
- Lighting control

Combination of all mentioned parameters result to certain W/L or W/E values (see Eq. (1) above). Direct application of these parameters is an alternative approach how to express and calculate the SLEEC. Problems with this approach may occur, if different technologies are used in the relevant area.

Lighting systems ranking to the highest energy efficiency class should fulfill these criteria:

- Most efficient light sources for the purpose (usually high-pressure sodium lamps)
- Lamp versions with increased luminous flux (e.g. PLUS or SUPER denoted versions)
- Luminaire efficiency better than 0,75
- Good luminous intensity distribution for the purpose (well-designed and optimized optics, selectable according to the application for some luminaire types)
- Maintenance factor not below 0,80

Note: Cleanliness of environment has significant influence on energy consumption and efficiency of lighting system through the maintenance factor. Moreover it is an attribute that usually cannot be improved. Thus, ranking of lighting systems will always comprise this property of the installation site.

## 3 Measurement of SLEEC in public lighting networks

In order to verify calculated values of SLEEC, measurement is an alternative method. For new or renovated lighting systems, SLEEC can be calculated in the designing stage while measurement can support the first inspection of this system, possibly together with electrical tests of the lighting network and/or photometrical measurements.

It is necessary to distinguish between short-term and long-term measurements. Although for calculation method the energy consumption parameter is preferred (see Chapter 1), its verification requires continuous energy monitoring during minimum one year period what is time demanding. Other complication comes from the fact that it is almost impossible to permanently install measuring instruments in desired points of network or in every pole or luminaire. Sophisticated control systems may provide this option and "smart metering" seems to be a promising technique, this approach is, however, out of the scope of this paper.

For certification purposes, instantaneous measurements based on input power can be used. For a straight road and linear electrical line topology, the measurement scheme is depicted on Fig. 2. In certain points where the network is branched, electrical parameters like voltage, current and power are to be measured. Arrows on Fig. 2 show the flow of energy (from sources to appliances). Positive values of current or power (P, Q, S, PF) are given to all inputs while negative values are linked to outputs. Such a way, remaining difference represents the parameters of the relevant area.

Voltage shall be measured in each point as well because voltage drop along the line impacts the real input power of luminaires. As a consequence, input power will in real differ from rated power and will vary from luminaire to luminaire.

Measurements according to the scheme on Fig. 2 can be performed on terminal blocks installed in foots of poles if

the network is looping through. In case of overhead lines, connections are also easily accessible.

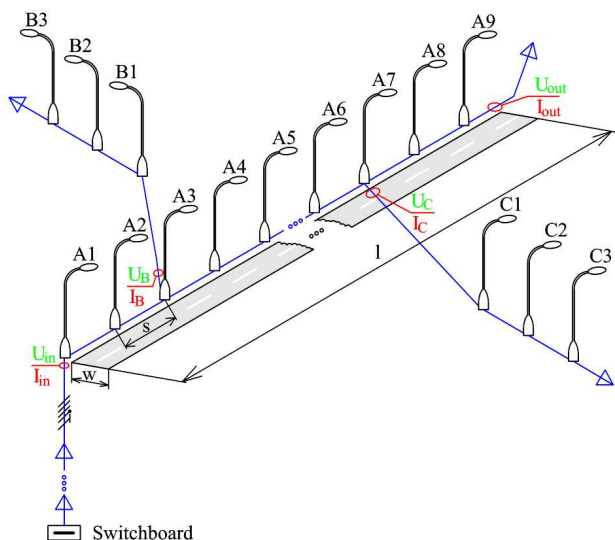


Fig.2. Example of measurement diagram with relevant area as a straight road

But if buried cables are not looping via terminal blocks in poles and buried T-connectors are used, the method described above is not usable. For this case there is no practical solution up to now but the problem is identified and solutions are sought.

If relevant area has an irregular shape, like in case of parks, places or pedestrian zones, measurements can be performed in a similar way as described above. Situation is depicted on Fig. 3. Here, inputting and outputting lines are also measured in bordering points of the relevant area. Internal sources represented by switchboards SB1 to SBx need to be included as well. In that case measurements have to be performed also on output terminal blocks of these switchboards.

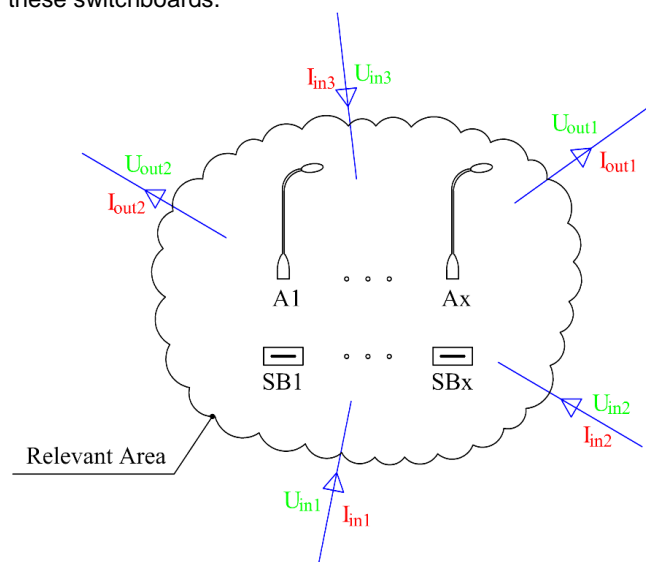


Fig.3. Example of measurement diagram with relevant area of an arbitrary shape

#### 4 Sample calculations and measurements of the SLEEC

In-situ measurements of power quality have been performed in a real lighting network described below in Table 1. Comprehensive measurement of power quality was induced by overvoltage problems [11] arising from switching processes, investigation of harmonic distortion in

public lighting networks [12] and related problems. Measurements have been performed in accordance with recommended practice [13, 14]. Purpose of measurements was not primarily focused on SLEEC, but all necessary parameters for SLEEC have been recorded and measurements have been performed in accordance with requirements described in the previous chapter.

Lighting system is renovated and original lighting project with proper calculations is available. In comparison to measured values, SLEEC is also calculated by means of formulae given in Chapter 2 with these variations:

- A: Power in W, normative L
- B: Power in W, calculated/measured L
- C: Consumption in kWh, normative/calculated L, 3 900 hours/year (only by calculation)
- D: Consumption in kWh, normative/calculated L, 2 075 hours/year on full level and 1 825 hours/year on reduced 70 % level (only by calculation)

Table 1: Identification of the installation site

Locality (48,1°N/17,7°E)	Galanta
Lamp type	NAV-T 100 W SUPER 4Y
Lamp efficacy	100,0 lm/W
Luminaire type	Schröder Sapphire 12N100PC
Luminaire efficiency	79
Luminaire's rated power	121 W
Mounting height	8 m
Average spacing of poles	30 m
Width of the road	6 m
Length of the relevant road section	297 m
Lighting class	ME4b
Normative/Calculated/Measured maintained luminance	0,75 cd.m <sup>-2</sup>
Maintenance factor	0,73
Number of poles	9
Total rated power of luminaires	1 089 W
Measured installed power of the installation	882 W

Table 2. Calculated and measured values of SLEEC<sub>L</sub>

Variation	Calculated	Measured
A (W/(cd.m <sup>-2</sup> .m <sup>2</sup> ))	0,8148	0,6560
B (W/(cd.m <sup>-2</sup> .m <sup>2</sup> ))	0,8148	0,6512
C (kWh/(cd.m <sup>-2</sup> .m <sup>2</sup> ))	3,177	–
E (kWh/(cd.m <sup>-2</sup> .m <sup>2</sup> ))	2,732	–

In the studied case, calculated value was the same as normative and even the measured. In luminance based systems, calculation results are often very close to the normative requirement. Bigger differences may arise only by conscious over dimensioning of the system by lighting designer. As a conclusion, SLEEC<sub>L</sub> is normally not dependant on normative or calculated luminous parameter or the difference between them is neglectable.

As seen from table 2, SLEEC values are very small, namely for the variations A and B if power is expressed in kW. For this reason, values in Table 2 are shown in W/(cd.m<sup>-2</sup>.m<sup>2</sup>). A decision will be needed on how to present SLEEC as practical values.

Difference between calculated and measured values makes 20 %. Voltage measured on poles was 215 V (6 % voltage drop). Other influences were not identified though measurements have been performed in each pole.

#### 5 Conclusions

Based on proposals and their analyses in this paper we can conclude that:

- Power consumption approach should be preferred against installed power. If no relevant information on

lighting switching, control or dimming is available, standard annual operation times can be used.

- Because luminance and illuminance are different design criteria corresponding to different lighting applications, it is not suitable (though it is possible) to unify SLEEC for the two. Therefore, different formulae for  $SLEEC_L$  and  $SLEEC_E$  have to be defined.
- Both normative and calculated luminous parameters coming to the calculation of SLEEC have their benefits but generally usage of normative parameter can be recommended. The other approach do not provide pressure to decrease of overall energy demand of lighting systems, what is the main objective of the mandate to elaborate standard.
- Definition or derivation of SLEEC directly from technical parameters of individual components seems to be logical but practical applications may meet with barriers.
- Metering of SLEEC is important to verify the calculated values or it can be a self standing alternative method that can be used e.g. for commissioning of the lighting system. Metering method is proposed in this paper for instantaneous performance, useful for quick verifications. Long term monitoring is a matter of further works on this topic.

## Acknowledgment



## REFERENCES

- [1] EN 13201: Road lighting (group of standards), 2004
- [2] CIE 115: Lighting of Roads for Motor and Pedestrian Traffic, 2010
- [3] Sokansky, K. & Novak, T.: Energy savings in public lighting. Przeglad Elektrotechniczny, 84(8), pp. 72 - 74, 2008
- [4] Skoda, J. & Baxant, P. The reduction in electricity consumption through proper lighting. In proc.: EPE - Electric Power

- Engineering 2009. Brno University of Technology: Brno, pp. 1 – 4, 2009
- [5] Baxant, P.: Power Consumption Profiles and Potentials of Selected Electrical Appliances as Way to Regulate Electricity Network. Proc. of the 11th International Scientific Conference Electric Power Engineering 2010. Brno University of Technology: Brno, pp. 105 – 110, 2010
- [6] Pavelka, T. & Baxant, P. Comparison of Lighting Regulators in Terms of Energy Savings and Operational Parameters. Proc. of the 11th International Scientific Conference Electric Power Engineering 2010. Brno University of Technology: Brno, pp. 803 - 806, 2010
- [7] EN 15193: Energy performance of buildings. Energy requirements for lighting, 2007
- [8] Sokansky, K., Novak, T. & Blaha, Z.: Assessment of parameters of lights for public lighting. Proc. of the 10th International Scientific Conference Electric Power Engineering 2009, VSB TU Ostrava: Ostrava, pp. 194 - 196, 2009
- [9] Güler, Ö. & Onaygil, S.: A New Criterion for Road Lighting: Average Visibility Level Uniformity. Journal of Light & Visual Environment, 27(1), pp. 39 - 46, 2003
- [10] Onaygil, S., Erkin, E. & Güler, Ö.: The Effect of Observer Position and Movement on Road Lighting Criteria. Proc. of the 3rd Balkan Conference on Lighting BALKAN LIGHT 2005, Romania, pp. 1 - 7, 2005
- [11] Belan, A., Eleschova, Z. & Smola, M.: Resonance Overvoltages in Electric Power Networks. Proc. of the International Scientific Conference 2005 IEEE St. Petersburg PowerTech. St. Petersburg, p. 465, 2005
- [12] Acha, E. & Madrigal, M.: Power systems harmonics: Computer Modelling and Analysis. John Wiley & Sons, Ltd.: New York, 2001
- [13] IEEE 519-92: Recommended practice for monitoring electric power quality
- [14] Arrillaga, J., Watson, N. R. & Chen S.: Power system quality assessment. John Wiley & Sons, Ltd.: Chichester, 2000

**Doc. Ing. Dionýz Gašparovský, PhD.**, Slovak University of Technology in Bratislava, Ilkovicova 3, 812 19 Bratislava, Slovak Republic, e-mail: dionyz.gasparovsky@stuba.sk, Mobile: +421 903 455035  
**Ing. Peter Janiga**, Slovak University of Technology in Bratislava, Ilkovicova 3, 812 19 Bratislava, Slovak Republic, e-mail: peter.janiga@stuba.sk

# Lumen Losses and LIDC Distortion due to Deposition of Dust and Dirt Particles on High-reflectance Parts of Luminaires

**Abstract.** This paper aims to bring partial results of research works oriented to improvement of current approaches to the determination of lumen depreciation for luminaires put into operation as part of the overall maintenance factor. Depreciation curves published in available documents (namely CIE 97) are based on older investigations. Modern working environment is cleaner as it was before and this concerns industrial facilities as like as e.g. administrative buildings (air-conditioned rooms). But lumen loss is not the main problem. It is less known that deposition of dust on reflectors, high-reflectance parabolic louvres in particular, cause scattering of light on diffuse-acting layer of the dust and modifying this way the spatial distribution of luminous flux, i.e. the LIDC. Then light is not sufficiently directed to desired/calculated work area and the glare effect may occur as well. To what extent this effect may arise is a question that should be answered by this paper.

**Keywords:** maintenance factor, light losses, environmental conditions, lighting efficiency

## Introduction

Maintenance Factor (MF) has a key importance for designing and dimensioning of any lighting system. Maintenance Factor is a figural expression of continuous luminous flux losses since lighting system is put into operation, taking into account periodical or extra maintenance services. To cover these losses, generally for the whole life expectancy of a lighting systems and between maintenance cycles in particular, lighting system should be always oversized in order to keep the minimum illuminance (sometimes luminance) levels at the end, called therefore „maintained“ illuminance/luminance, prescribed by normative documents. Thus, maintenance factor has a strong influence to both investment and operational costs and determines the overall efficiency of lighting systems.

Principles and methodological guidelines for calculation of MF are laid down in the CIE 97 Publication [1] for interior lighting systems and CIE 154 Publication [2] for outdoor installations. MF consist of several components – Lamp Luminous Flux Maintenance Factor (LLMF), Lamp Survival Factor (LSF), Luminaire Maintenance Factor (LMF) and Room Surface Maintenance Factor (RSMF). All the components account for recoverable costs, non-recoverable costs are not included here. First two components LLMF and LSF are well studied and corresponding curves are regularly provided by lamp manufacturers. The LMF factor still has potential for methodological improvements. Research of LMF is dated back for several decades. Environmental conditions, construction and materials used for production of luminaires have changed, giving the possibility to use higher LMF values in specific situations.

## 1. Background

All lighting systems progressively deteriorate since the moment they are put into operation (Fig. 1). Light losses emerge as a consequence of the accumulation of dust and dirt on exposed surfaces (lamps, optical parts of luminaires, room surfaces), aging of these surfaces, lumen decay of lamps and their mortality during operation. If this process is not controlled, illuminance may fall to very low levels and the system could become very energy inefficient and sometimes even dangerous. As the decay of illuminance is gradual, lighting system users may not notice the change. But after a time it may lead to increased visual fatigue, increase of the errors and mistakes rate and employment accidents may appear as well.

It is necessary to estimate the extent of lumen depreciation yet in the design phase. Lighting project has to consider all relevant components of the maintenance factor

MF, for a given lighting system type, environment properties and specified maintenance plan. The maintenance factor also depends on operational characteristics of lamps, control gears and lighting fittings.

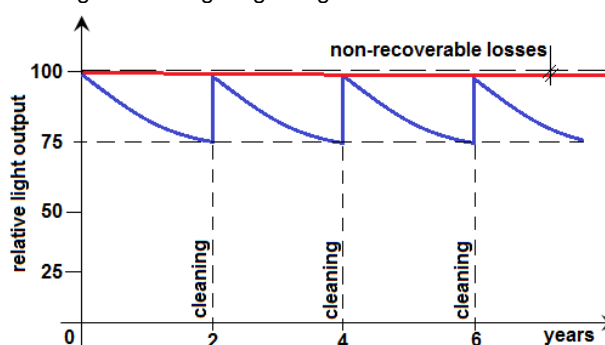


Fig.1. Example of lumen depreciation of a luminaire (LMF)

Table 1. Categorization of luminaires according to CIE 97 [1]

Luminaire category	Type of luminaire	Description
A	Bare batten	Bare lamp luminaire
B	Open top housing (with natural ventilation)	Direct-indirect luminaire without cover
		Direct-indirect luminaire with indirect reflector and closed optical device
		Wallwasher (with vertical opening)
		Wall-mounted luminaire, open top and bottom
C	Closed top housing (unventilated)	Open-top downlight
		Recessed and surface mounted luminaire
D	Enclosed IPX2	Downlight
E	Dust proof IPX5	Spotlight
F	Indirect (uplight)	General purpose luminaire with closed covers and optics
G	Luminaire with forced ventilation	Dustproof luminaire
		Free standing, pendant, wall mounted uplight with closed bottom
		Air handling body and optic used with air conditioning or ventilation systems

**Note:** Luminaire types C, D a F are not recommended for dirty environments



Maintenance factor and other considerations and requirements regarding the maintenance of indoor lighting systems are defined in the publication [1]. The maintenance factor MF consist of these components:

- Lamp Lumen Maintenance Factor (LLMF)
- Lamp Survival Factor (LSF) – known also as mortality or premature fail rate
- Luminaire Maintenance Factor (LMF) – focus of this paper
- Non Recoverable Loss Factor (NRLF) – not specified as a component of MF in [1]
- Room Surface Maintenance Factor (RSMF) – not applicable in outdoor installations

Then the maintenance factor can be calculated as the product of all the mentioned components:

$$(1) \quad MF = LLMF \times LSF \times LMF \times RSMF$$

How luminaires are capable to withstand pollution, depends on construction of luminaire (size and position of openings) on one side and environment properties on the other side. Luminaires are classified according to construction in Tab. 1. Environments are classified according to cleanliness in Tab. 2. Cleanliness categories are too general and unambiguously is not satisfied in practical applications. It would be useful to have an unified and more unambiguous classification system hooked on other technical standards about characteristics of environments and ability of luminaires or other electrical equipment to withstand environmental impacts.

Table 2. Recommended inspection intervals of lighting systems for different working environments according to CIE 97 [1]

Cleanliness Category (Environment)	Inspection Intervals	Examples of workplaces
Very Clean (VC)	3 years	Clean rooms, semiconductor plants, computer centres, clinical premises in hospitals*
Clean (C)	3 years	Offices, schools, hospital wards
Normal (N)	2 years	Shops, laboratories, restaurants, shopping malls, warehouses, workshops
Dirty (S/Z)	1 year	Steelworks, woodworks, chemical plants, foundries, welding, polishing

**Note:** \*For hygiene control reasons more frequent inspection may be required

Generalized CIE curves of LMF with addition of other available data are laid down analyzes aimed to the economics of lighting maintenance in [3].

## 2. Goals of research

Main goals of the R&D tasks can be listed in bullets as follow:

- To classify environments in more details than in current CIE Publications
- To link together different normative documents
- To determine new values of lumen depreciation of luminaires
- To determine level and nature of changes in luminous flux distribution from luminaires due to pollution

Unlike in the CIE 97 Publication, it is proposed to link the environmental properties strictly with classification of

environmental conditions as defined by international standards IEC 60721-3 Parts 3 [5] and 4 [6]. A further link can be established to another standard IEC 60364-5-51 [7] on external influences. In a preparatory phase of electrical installations project, including the lighting, external influences should be commissionally identified and protocoled, made known to lighting designer amongst others. It is therefore useful to provide lumen decay curves for luminaires for extended environmental categories harmonized with other standards.

Other works are going on investigation of properties of luminaires to capture and cummlate dirt and maily dust from environment on different optical parts. Dust deposited in narrow drains of faceted diffusers sometimes cannot be easily removed by normal cleaning and should be accounted for non-recoverable light losses. Dust deposited on high-reflectance louvres cause light diffusion, i.e. change in spatial luminous flux distribution. As a result, illuminance distribution over workplane can significantly differ from the calculated what may even lead to the fail of lighting parameters when measured near the upcoming maintenance cycle.

Focus of another research work is on determination of environmental influences to different constructions of luminaires (categories of luminaires according to CIE 97) in particular selected rooms or spaces with workplaces. To reach the stated goals, patterns of common materials used for optical parts of luminaires are placed in different environments. Samples will be laid to photometrical measurement in different time periods. It is expected that results of this part of work will help to extend the characteristics in the respective CIE document.

## 3 Methodological principles of the research work

### 3.1 Classification of environments according to cleanliness

Optical parts of luminaires are most often covered by dust. Dust is a general name for solid particles with diameter up to 500 micrometers. Dust in atmosphere is originated from different kind of sources. Particles with diameter up to 2 micrometers last longest on surfaces and in atmosphere and particularly these particles are the most harmful for health because penetrate deepest to lungs and can cause serious respiratory diceases.

The CIE 97 document relates the LMF and required maintenance intervals to 4 cleanliness categories which are not described and only examples as typical representatives of individual categories are provided (see Tab. 2). Lighting designer has to decide to which category each room belongs.

Lighting designer has to look for required photometric parameters in relevant technical standards. For example, for workplaces the norms EN 12464-1 (interior workplaces) [8] and EN 12464-2 (exterior workplaces) [9] apply. Norms in tabelized form provide requirements to illuminance, uniformity of illumination and UGR/GR for most of workplace types. It would be useful to link these tables with the CIE 97 publication what concerns the level of cleanliness.

For classification of environments, different influences having impact to luminaires have to be considered. International standard IEC 60364-5-51 [7] can be helpful. Dust which has the most significant impact on pollution of luminaires, is described by the AE external influence. At the design stage of lighting systems external influences to individual rooms or spaces should be already known as these are stated commissionally in the introductory stage of the project (or during the preparatory stage). External influences are gradually classified according to the volume

of present dust. Ability of lighting (and other) equipment to withstand certain concentration of dust is expressed by means of the IP code (Ingress Protection) [10].

Properties of environment are defined also by group of standards EN 60721 based on suspension and sedimentation of dust (see Tab. 3). Approximate transformation between different systems is shown in Tab. 4.

Table 3 Suspension and sedimentation of dust as the basement for definition of environmental classes according to international standards for protected (P) and not protected (N) conditions

Class according to IEC 60364-5-51	Definition of classes according to IEC 60721-3-3 (P) and IEC 60721-3-4 (N)							
	Class		Suspension of sand (mg/m <sup>3</sup> )		Suspension of dust (mg/m <sup>3</sup> )		Sedimentation of dust (mg/m <sup>2</sup> .h)	
	P	NP	P	NP	P	NP	P	NP
AE1	3S1	4S1	-	30	0,01	0,5	0,4	15
AE2	3S2	4S2	30	-	0,2	-	1,5	-
AE3	3S3	3S3	300	1000	0,4	15	15	40
AE4	3S2	4S2	30	300	0,2	5	1,5	20
AE5	3S3	4S3	300	1000	0,4	15	15	40
AE6	3S4	4S4	3000	4000	4,0	20	40	80

Class of external influence	Sedimentation of dust according to IEC 60364-5-51 (mg/m <sup>2</sup> /day)	
	Bottom limit	Top limit
AE4	10	35
AE5	35	350
AE6	350	1 000

Table 4. Comparison of external influences defined by different technical standards

Class according to IEC 60364-5-51	Class according to IEC 60721-3-3	Class according to IEC 60721-3-4	Class according to IEC 60529
AE1	3S1	4S1	IP 0X
AE2	3S2	4S2	IP 3X
AE3	3S3	4S3	IP 4X
AE4	3S2	4S2	IP 5X
AE5	3S3	4S3	IP 6X
AE6	3S4	4S4	IP 6X

### 3.2 Investigation of LMF curves for various optical materials and luminaire constructions

Different materials like polycarbonate (PC), polymethyl metacrylate (PMMA), polystyrene (PS) that are used for optical covers or diffusers have also different adhesiveness of dust. Structure pattern of surface is important as well. Dust deposited in narrow drains of faceted diffusers sometimes cannot be easily removed by normal cleaning and should be accounted for non-recoverable light losses. Current publications do not yet account for surface properties of optical parts of luminaires. Surface pattern should be, therefore, regarded besides tightness of the optical compartment of luminaire (IP code) and construction of luminaire. Examples of typical optical materials used for manufacturing of luminaires in a close-up view, objected for investigation, are shown on Fig. 2 (translucent) and Fig. 3 (reflective). Some of the samples of optical materials

prepared for field study of LMF (see Chapter 3.3) are shown on Fig. 4.

Lumen depreciation, however important, is not the only factor influencing to the deviation of luminous flux distribution, i.e. the shape of luminaire's LIDC. Dust layer on high-reflectance mirror reflectors or louvres may cause dispersion of luminous flux, modifying the LIDC towards cosine shape (as for diffuse surfaces). In consequence, the flux is not directed to desired place as assumed for lighting calculations. Additionally, glare requirements can be violated. Best specular reflectors have technological diffuseness about 4 % (e.g. MIRO 1 Type 4100 by Alanod), but angular range of the reflected light cone remains still very narrow. Layer of dust that is thick enough may cause significant enhancement of this angular range.

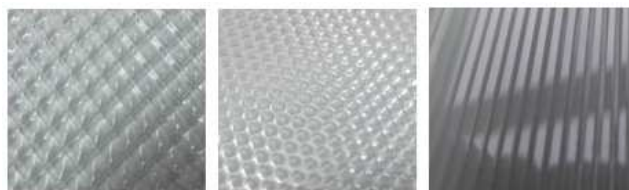


Fig.2. Close-up view of the structure of different translucent materials used in luminaires



Fig.3. Close-up view of the structure of different reflective materials used in luminaires

This problem is not yet studied. Besides experimental approach, theoretical description of this phenomenon is to be elaborated.

Investigation of LMF curves will be performed in laboratory conditions by means of a dust chamber that allows to prepare conditions as set by technical standards (Tab. 3).



Fig.4. Samples of optical materials used for field investigation of LMF

### 3.3 Field study of environmental pollution

In contradiction to laboratory tests as described in Section 3.2, field study of LMF will be also performed. Methodology is based on installation of samples of optical materials in a sample holder similar to a luminaire. Samples will be held in working position. Similar methodology has been used for field studies of LMF in [4]. However, methodology described in [4] utilizes more comprehensive measurement box equipped with photocells and other sensors.

Fig. 5 shows a drawing sketch of mounting frame that has been designed and constructed to hold several

samples. Samples are let to capture dust and particles of dirt in natural environment. Selection of samples has been done with regard to the environment as it is common in real situations. Samples are installed in positions equivalent to luminaires in operation (mounting height, orientation of outer side). Harvest of samples is planned in intervals according to the application. Samples will undergo measurement of the dust layer thickness as well as photometric measurements.

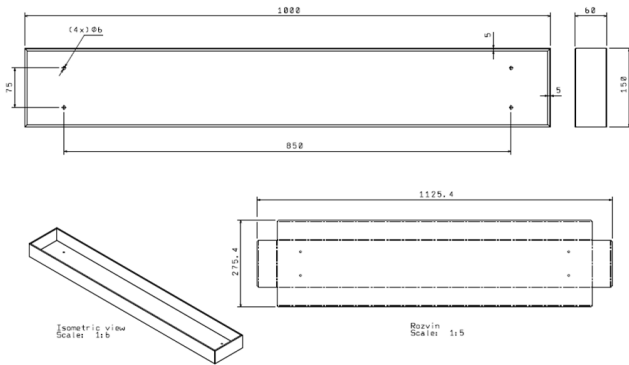


Fig.5. Drawing sketch of the mounting frame for samples of optical parts of luminaires (sample holder)

Mounting frame with inserted samples is depicted on Fig. 6. Selection of samples differ for individual applications. For example, high-reflectance aluminium sheets are not placed in highly polluted environments where such materials are not normally used.

In individual applications, all boundary conditions that may have influence to results will be recorded. It comprises e.g. pollution level of object's surrounding (city centre, residential area, proximity to major roads, industrial zone etc.), ventilation manner (natural, air-conditioning) and others. Analyses will be completed by detailed description of operation incl. formation, existence and influence of pollutants.



Fig.6. Mounting frame with inserted samples



01 Joinery workshop



02 Mechanical workshop



03 Office



04 Corridor



05 Storage room



Fig.7. Samples installed in selected applications

Samples are placed in different natural environments of selected typical workplaces; selection is made with respect to EN 12464-1. First set of mounting frames is already installed and their natural pollution is in process.

## 6 Conclusions

Recent R&D works are aimed to detailed analyses of the influence of dust and dirt from environment of interior workplaces to the depreciation and dispersion of luminous flux from luminaires. Goal of this paper was to define necessity of R&D tasks, to publish methodological approaches and principles of further investigations.

R&D works are covered by research project Research centre of light and lighting technology which started on 1st of March 2011 with a six month delay. For this reason, only limited results are available now as the main focus is given to improvement of proposed methodology and first of all, to establishment and refurbishment of new laboratories and test rooms which, after completion, should become a status of the national Lighting Research Centre. The project will last four years what is enough to investigate also conditions of natural working environments.

For investigation of the influence of dust layers deposited on optical parts of luminaires to luminous parameters (namely the shape of LIDC), dust chamber will be the essential equipment. Laboratory test will be completed by field studies. Various sets of samples are already installed in selected environments.

It is expected that results of completed R&D works will help lighting designers to choose the LMF component of the maintenance factor easier. Using the protocol of external influences as one of the available documents, designers will be able to classify cleanliness of the environment and accounting for other factors, to find the suitable LMF.

For objectives of the upcoming R&D project it is essential that actually a mandate No. M/485 to establish a workgroup under co-operation of CEN, CENELEC and ETSI (with IEC involved as well) for standardization in the field of fluorescent lamps, HID lamps and ballasts and luminaires able to operate such lamps is to be decided and

possibly accepted. This mandate relates to Directive 2009/125/EC of the European Parliament and of the Council. The Commission requests to elaborate reliable, accurate and reproducible standards for the targeted products (lighting products), laying down procedures and methods of measuring selected parameters, including luminaire maintenance factor LMF for office lighting and street lighting.

## Acknowledgment



## REFERENCES

- [1] CIE 2005. CIE 97:2005. Maintenance of Indoor Electric Lighting System (2<sup>nd</sup> edition). Vienna: CIE.
- [2] CIE 2003. CIE 154:2003. Maintenance of Outdoor Lighting Systems. Vienna: CIE.
- [3] MARSDEN, A. M. 1993. The economics of lighting maintenance. *Lighting Res. Technol.*, 25, 105-112.
- [4] PERRY, M. J. 1999. Field study of lighting maintenance factors. *Lighting Res. Technol.*, 31, 155-164.
- [5] IEC 1994. IEC 60721-3-3:1994. Classification of environmental conditions. Part 3: Classification of groups of environmental parameters and their severities. Section 3: Stationary use at weatherprotected locations. Geneva: IEC.
- [6] IEC 1995. IEC 60721-3-4:1995. Classification of environmental conditions. Part 3: Classification of groups of environmental parameters and their severities. Section 4: Stationary use at non-weatherprotected locations. Geneva: IEC.
- [7] IEC 2005. IEC 60364-5-51:2005. Electrical installations of buildings. Part 5-51: Selection and erection of electrical equipment. Common rules. Geneva: IEC.
- [8] CEN 2002. EN 12 464-1:2002. Maintenance of Indoor Electric Lighting System. Brussels: CEN.
- [9] CEN 2007. EN 12 464-2:2007. Lighting of work places. Part 2: Outdoor work places. Brussels: CEN.
- [10] IEC 1991. IEC 60529:1991. Degrees of protection provided by enclosures (IP code). Geneva: IEC.

## Authors:

**Doc. Ing. Dionýz Gašparovský, PhD.**, Slovak University of Technology in Bratislava, Ilkovicova 3, 812 19 Bratislava, Slovak Republic, e-mail: dionyz.gasparovsky@stuba.sk, Mobile: +421 903 455035

**Ing. Marek Mácha**, OMS s.r.o., Dojč, Slovak Republic

# Metodika hodnocení a posuzování osvětlení silničních přechodů

**Abstract.** V příspěvku jsou rozebírány některé problémy spojené s osvětlováním silničních přechodů pro chodce a možnosti jejich hodnocení.

**Keywords:**

## 1. Pozor přecházíme

Pokroky ve světelné technice spojené s novými světelnými zdroji, začaly ovlivňovat i techniku osvětlování silničních přechodů, přesto jsou to místa, která mají poměrně vysoký počet střetů motorových vozidel s chodci, zvláště pak za zhoršených povětrnostních podmínek a hlavně v noci.

Neustále je uváděno a zdůrazňováno pravidlo, že řidič musí chodce na přechodu vidět, neříká se však, že ho musí

rozpoznat. Doposud není jednoznačně definována metodika hodnocení a posuzování úrovně rozpoznatelnosti chodce na přechodu, i když máme k dispozici celou řadu moderních fotometrických přístrojů. Jeden z nejkritičtějších případů ukazuje obrázek 1 a slogan „pozor přecházíme“ - není zrovna na místě.

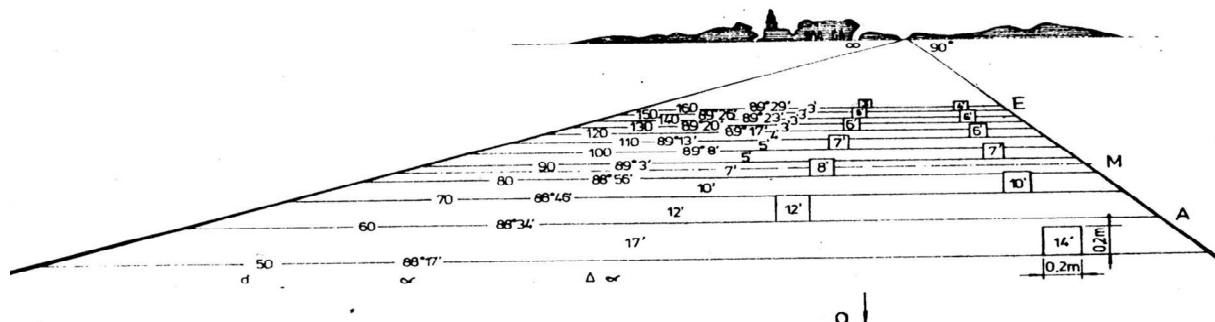


Obr.1 – Chodci na vozovce - nejkritičtější situace

## 2. Pozor přijíždíme

Mnozí si stále neuvědomují, jaká je složitá situace při orientaci v prostoru, který není osvětlen nebo jen z části a řidič má získávat potřebné vizuální informace a skutečnostech, nutných pro spolehlivé a bezpečné řízení motorového vozidla.

Ve dne jde o celkem jednoznačnou záležitost, řidič získává poměrně značné množství informací z obklopujícího prostředí a umožňuje mu odpovídajícím způsobem předvídat skutečnosti pro jízdu do blízké budoucnosti.



Obr. 2. Perspektivní pohled řidiče ve dne

### 3. Fyzikální přístup k problematice

V mnoha směrech lze přirovnat problematiku osvětlování silničních přechodů k čistě fyzikálnímu problému, který

je řešen jen z pohledu horizontální úrovně osvětlení vlastního přechodu, jak ukazují následující obrázky.



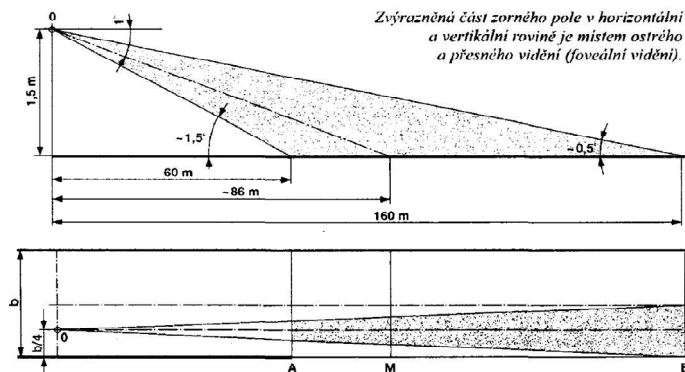
Obr. 3 – Osvětlení přechodu pro chodce



Obr. 4 – Osvětlení přechodu pro chodce

I zde je nutné vycházet z reálného zorného pole řidiče, při jízdě ve dne, za soumraku a i v noci.

Nemění se, jen se změní místa odkud je zpracovávána zraková informace.



Obr.5 . – Základní zorné pole řidiče

Značný posud nastal v okamžiku, kdy byla k dispozici jasová kamera či jasový analyzátor. V takovém případě zhodnotíme velmi objektivně skutečnosti, vyplývající z toho, že na přechodu přechází

chodec, nicméně jsou i zde případy, kdy nezískáme relevantní výsledky, jak ukazuje následující obrázek, ve kterém je ukázán přechod přes vozovku v mírném stoupání z města.



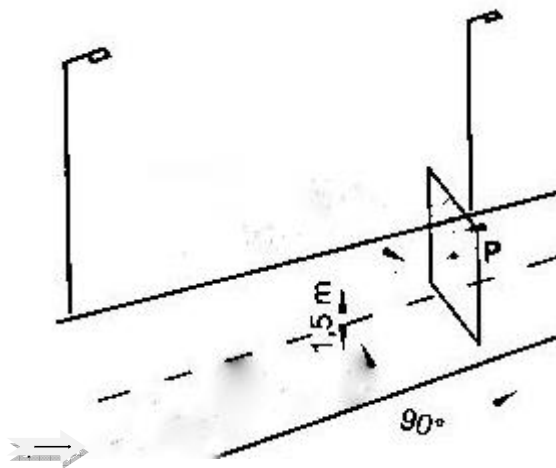
Obr. 6 – Posouzení osvětlení přechodu jasovou kamerou

#### 4. Metodika hodnocení

V návaznosti na zorné pole řidiče, můžeme při určování vhodné metodiky problematiku znázornit lapidárním obrázkem, který vychází z předcházejících úvah a je v souladu s odpovídající rovinou, ze které získává řidič maximum informací. Tím je vertikální rovina a její

orientaci ztotožníme vždy s okrajem přechodu, při posuzování směru jízdy vozidla.

Chodec tak jednou bude přecházet zprava, jednou zleva pokaždé jde o jiné doby registrace přecházející osoby.



Obr. 7.- Schematické znázornění proložené vertikální roviny

Na této vertikální rovině je nutné předdefinovat určité výšky nad vozovkou, které hrají svoji roli při vidění a rozpoznávání přecházejících osob. Jde o úrovně a vzdálenosti od vozovky u

- a) nášlapné vrstvy,
- b) srovnávací roviny,
- c) očí sedícího řidiče, ve vozidle
- d) hlavy normalizovaného přecházejícího chodce

Tabelárně uvedené výšky v metrech hodnocení ve vertikální rovině na přechodu, jsou uvedeny v tabulce. I.

Číslo bodu	Výška nad vozovkou (m)	Diference (m)	Poznámka
H0	0,15		a)
H1	0,50	0,35	
H2	0,85	0,35	b)
H3	1,20	0,35	
H4	1,55	0,35	c)
H5	1,90	0,35	d)

TAB. I. Předdefinované výšky hodnocení úrovně osvětlení

K tomu účelu byl vytvořena speciální měřicí souprava, která zajišťuje správnost naměřených hodnot v předdefinovaných výškách hodnocení úrovně osvětlení.

Hlavice luxmetru je odvozena od luxmetru Minolta – typ T 10. pro úroveň H4 je znázorněna na obrázku 8.



Obr.8. Měření hladin osvětlení ve vertikální rovině – úroveň c)

Pro zvolený silniční přechod, který budeme hodnotit a posuzovat máme možnost získat pro jeden přechod celkem 4 hodnotící vertikální roviny v bodech, které jsou

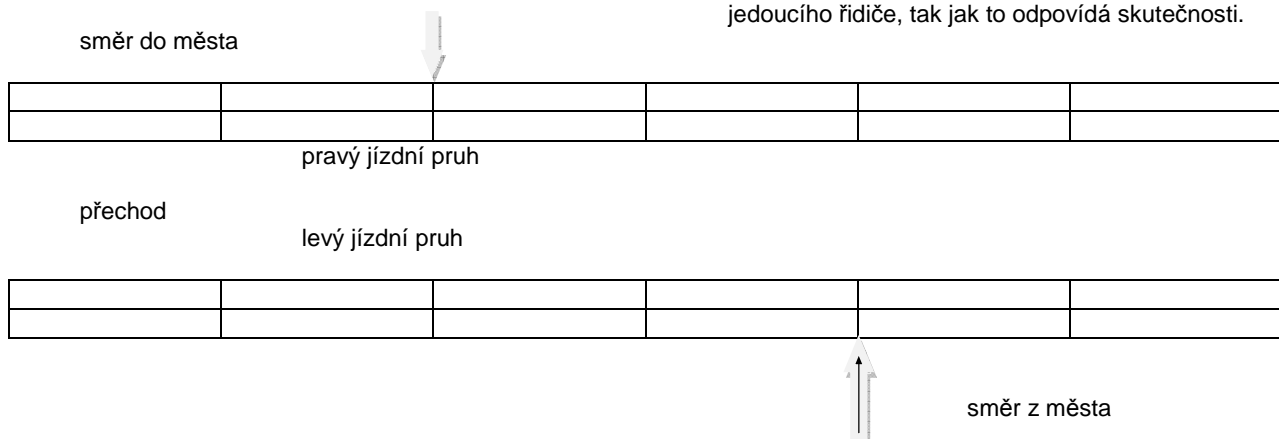
definovány ze šířky přechodu, šířky chodníku a dalších požadavků. V tabulce II. jsou přehledně uvedeny hodnotící body pro univerzální přechod.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9
H0									
H1									
H2									
H3									
H4									
H5									
	chodník	přechod			Dělicí pruh			přechod	chodník

TAB. II. – Schéma měřících bodů vertikální roviny

Orientace vertikálních rovin, s ohledem na zvolený přechod, umožňuje provést hodnocení úrovně osvětlení vždy ze dvou směrů.

Základní směr je ten, který je ve směru jízdy jeho vozidla např do města, druhý z inverzní strany a naopak. Tak získáme celkem 4 posuzované roviny z pohledu jedoucího řidiče, tak jak to odpovídá skutečnosti.



Obr. 7. Vertikální roviny pro hodnocení a posuzování osvětlení přechodů



## 5. Vyhodnocení

Z naměřených hodnot získáme pomocí výpočetního programu soubor izoluxních průběhů, které charakterizují průběhy vertikální úrovně osvětlení, jak bude ukázáno při prezentaci příspěvku. O optimálních hodnotách se stále diskutuje a ukazuje se, že tyto úrovně, ve směru jízdy vozidla by měly dosahovat hodnot v nášlapné vrstvě okolo 15 lx, ve výšce očí řidiče vozidla okolo 20 lx. Pochopitelně, jako minimální hodnoty.

## 6. Závěr

Dnes již nikdo nepochybuje o tom, že světlo je život, pohoda a je základem bezpečnosti- nebude tomu ani jinak.

Jsou však jisté meze a ty jsou dány tím, že na jedné straně platí „pozor přecházíme“ , ale stejně tak platí „pozor přijíždíme“. K zabránění kolizních případů může přispět i osvětlení silničních přechodů. Smysluplné, bez značných nároků na výkony svítidel.

Do blízké budoucnosti je však nutné vycházet i ze skutečnosti, že nebude ve všech případech možné osvětlovat všechny silniční přechody, protože prognózy ukazují, že do roku 2020 se cena elektrické energie zvýší i více než dvojnásobně.

Nebudou k tomu finanční prostředky a potom k řešení tohoto problému je možné přistupovat i tak, že každý je odpovědný za svoje chování a má povinnost učinit vše pro svoji bezpečnost. Doposud nedocenitelnou roli , v tomto směru, hrají individuální zvýrazňující prostředky, finančně nenáročné, postavené jak na odrazných ploškách tak i na miniaturních svítidlech se světelnou diodou. Ty by mohly být východiskem v této složité situaci a pomohly by, v nejširším slova smyslu, zachránit řadu lidských životů.

I tento příspěvek byl motivován tímto směrem.

## REFERENCES

- [1] CORNSWEET, T.N.: Visual Perception, Acd. Press, New York - London 1970
  - [2] DAVSON, H.Ed.: The Eye II - The Visual Process, Acd. Press, New York - London 1962
  - [3] FUORTES, M.G.F.: Handbook of SensoryPhysiolog VII/2 Physiologof Photoreceptor Organs Springer - Verlag Berli-Heidelberg - New York, 1972
  - [4] GERŠUNI, G.V.: Fiziologija senzorynych sistem - I. Fiziologija zrenija , Izdat. Nauka, Leningrat 1971
  - [5] GLEZER, V.D., CUKKERMANN, I.I. : Informacija i zrenija, Izdat. AN SSSR, Moskva - Leningrat 1961
  - [6] GRANIT, R.: Receptors and Sensory Perception, New Haven 1956
  - [7] PLCH, J.: Příspěvek k teorii naváděcích světloteknických soustav, KDP, FE VUT 1972
  - [8] PLCH, J.: Zrakové vnímání řidiče, Sylaby přednášek USI VUT v Brna, 2000
  - [9] PLCH, J. : Světelná technika v praxi, IN EL Praha 2000, 210 stran,
  - [10] PLCH, J.: Vidět neznamená rozpoznat, Konference Dlouhé stráně 2010. strana
  - [11] MAŇÁK, VI.: Zrak, I. díl Fyziologie zrakového systému, aplikovaná na hygienu osvětlování, Vlnafský průmysl, Generální ředitelství Brno 1977
  - [12] HELD, R.: Plasticity in Sensory - Motor Systems, Sci. Am. 213, 1965, 84
  - [13] JARBUS, A.L.: Rol dvíženij glaz v procese zranija, Izd. Nauka Moskva 1965
  - [14] WERBLIN, F.S.: The Control of Sensitivity in the Retina, Sci. Am. 228, 1973, 71
  - [15] KŘIVOHLAVÝ, J.: Průvodní fyziologické projevy při zrakové činnosti, Světelná technika, 1965, 5, 41
- DAVSON, H.: Physiology of the Eye. Churchill Livingstone, 1980, 644 s"

**Authors:** Doc.Ing. Jiří Plch, CSc., Česká společnost pro osvětlování, Telefon +420 530342172, Mail : jiri\_plch@volny.cz

## Research of power LEDs properties for free-space communications

**Abstract.** Power LEDs are very promising sources of optical radiation in these days. Their properties have led to a massive deployment in the automotive industry. In principle, it is possible to use these sources of optical radiation for information transmission. The informational-communication systems based on the exchange of information in between vehicles (road users) and also between vehicles and infrastructure along the road appears to be as a very important segment of the automotive industry in the future. For the reasons mentioned above, the team of authors in the article focused on assessing the usability of power LEDs in free-space communications with an emphasis on usable bandwidth of power LEDs and also the suitability of link codes.

**Keywords:** power LEDs, link codes, intelligent transport systems, bandwidth.

### Introduction

Intelligent Transport Systems (ITS) based on a vehicle to vehicle (C2C) and vehicle to infrastructure (C2I) connection represents the possibility of significant improvements in the efficiency of transport systems, as well as overall safety of all road network users. Intelligent transport systems increase the reaction time, quality and reliability of information provided to the driver about his surroundings, other vehicles and all other road network users. They allow better control, leading to greater security and more efficient and comfortable mobility [1].

Nowadays, intensive process of communication technologies standardization of ITS is under way. The greatest effort is globally carried out in the ISO TC 204 WG 16 in the form of a several standards set centered under the acronym CALM (Continuous Air Interface for Long Range Medium). The object of these CALM standards is to provide a standardized set of wireless interface protocols and parameters for long and medium range, high-speed ITS connection using one or more media, with multipoint and network protocols and protocols of upper layer. The media defined in the current stage of CALM development are:

- Cellular Systems: GSM/HSCSD/GPRS (2/2.5G) and UMTS (3G),
- Infrared Communications,
- Wireless LAN (WLAN) in 5 GHz, IEEE 802.11p (proposal of standard for „Wireless Access in Vehicular Environment”, WAVE),
- Wireless Systems in Band 60 GHz.

Due to the increase in the number of cars on the road network around the world [2]:

- 1997: 600 millions,
- 2030: 1200 millions (at present),

It is obvious that the current IPv4 protocol on 3rd layer of OSI model ( $2^{32} = 4,2$  millions address) will not be adequate for planned ITS. For the reasons above, the deployment of cooperative intelligent systems in road traffic is associated with the implementation of IPv6 protocol ( $2^{128}$  addresses instead of  $2^{32}$ ).

### ITS - Intelligent transport system

Properties of the physical layer and MAC sublayer delimit usable communication technologies of ITS. Due to the functionality of the whole system is necessary existence of network layer above the physical layer and MAC sublayer

that would allow "multi-hop" communication with the geographical addressing. The network layer must provide functions that are specific to automotive communication systems VANET (Vehicular Ad-hoc Network) [3]. The proposed protocol architecture is shown in Fig.1.

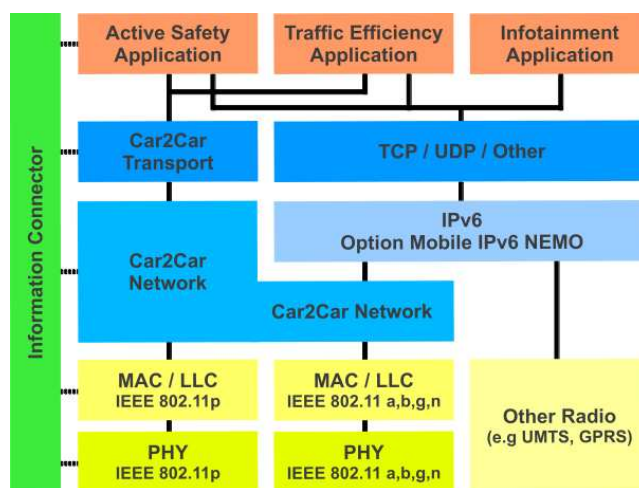


Fig.1. The proposed ITS protocol architecture [3].

Applications unrelated to safety will be using traditional TCP, UDP protocols and through IPv6 network layer can communicate with applications in other vehicles, or with infrastructure units in C2C network. Safety applications will primarily use the 802.11p and IEEE 1609.4 standards.

### Implementation of optical free-space networks in the automotive industry

Optical free-space communication systems in the visible and invisible spectra currently appear as very interesting alternative to technologies based on radio waves. The idea is that the optical free-space communication systems held a priority in respect of road traffic safety, if two cars traveling behind each other exceed a critical distance between them [4].

Usage possibility of optical free-space communication systems in ITS, was significantly influenced by the development of power LEDs. 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. For the reasons mentioned above the power LEDs, which are at present standardly used for lighting in cars, seems to be ideal tool for the exchange of essential information between pair of cars moving behind each other.

The exchange of relevant information between cars (C2C) is major step in the field of road traffic safety. An example might be when the car „A” is transmitting to car „B” moving behind car „A” information such as the abrupt reduction of speed, speed, road condition, information from the ESP and steering angle. This information can alert the driver of the car by acoustic signals, light signals or in other steps the information may be processed by independent information management functions [5].

Currently, it is possible to capture the development of wireless technology LTE (3GPP Long Term Evolution). This radio technology is designed for high-speed data transmission in mobile networks. Formally, this technology belongs among the 3G standard, while its successor LTE Advanced will be full 4G solution. Its theoretical downlink is 172.8 Mbps and uplink 57.6 Mbps. However, even this highly advanced technology show theoretical delay, approximately 25 ms, see fig.2. Therefore, the optical free-space communication networks appears as an ideal means of communication between cars for short distances (P2P communications), when critical distance between them is exceeded.

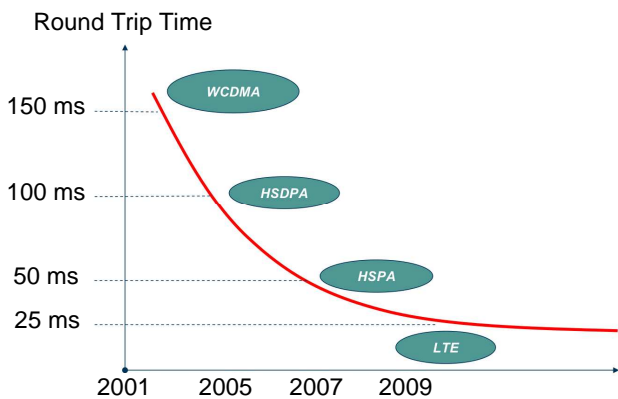


Fig.2. Mutual comparison of the expected delays of radio communications technologies.

### Power LEDs and their using in optical wireless communication systems

For power Led using in optical wireless communication system the most important parameter is bandwidth. According this we can determine the dataflow between cars in time. The estimated bit rate for the transmission of all important information is around the value of 400 kbps [6].

By experimental measurement it was used couple of power LEDs LXHL-LE5C (Luxeon, 555 nm) and LXHL-LW6C (Luxeon, white LED). These LEDs have different colors and luminous flux, but they are electrically compatible (power 5W, current 700mA, same voltage). These power LEDs are mutually compatible and for their comparison any modifications are not needed.

The bandwidth comparison of power LED was done by eye diagram. The eye diagram is a display of digital signal on oscilloscope, when unbiased timing pulses are used like clock. It causes that different data will be repeatedly overlapped, the edges of bit periods are constant and it shows behavior in different situations (rise and fall edge)

The ideal situation is represented by perfect rectangles. The changes in vertical direction mean noise, oversights and other distortion (e. g. from driver circuit). Horizontal shifts are caused by jitter, i. e. time deviation. The edge slope changes with bandwidth, in ideal case they are perpendicular (zero rise time and fall time). In the middle of diagram it appears the shape like human eye, therefore eye diagram, figure 3 [6].

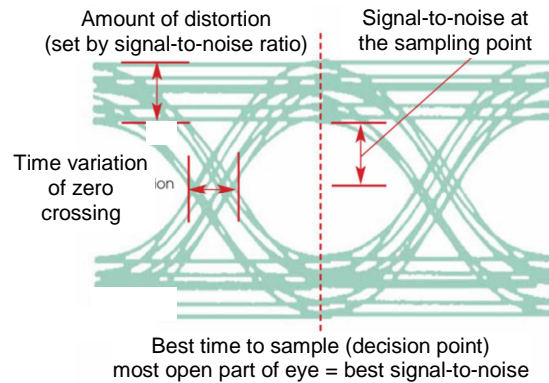


Fig.3. Eye diagram.

The block scheme of system for power LED modulation is shown in figure 4.

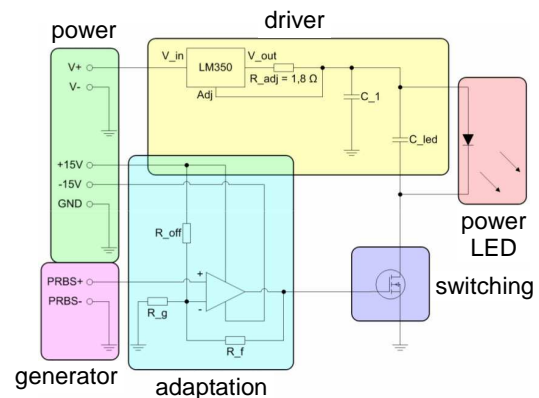


Fig.4. System for modulation of power LEDs.

By experimental comparison of power LEDs LXHL-LE5C and LXHL-LW6C 3 working currents were used:

- $I_p = 100 \text{ mA}$ ,
- $I_p = 400 \text{ mA}$ ,
- $I_p = 700 \text{ mA}$ .

It was found by experimental measurement, that the lower level of bandwidth by power LEDs is 2.2MHz. Because the different behavior is less evident for lower frequencies, it is shown only selected values: till now trouble-free 1.6MHz (upper level), border 2MHz and 2.2MHz (lower level), when the eye began decay. In case current 100mA the LEDs do not influence the available frequency. Nevertheless it is obviously, that rise and fall edges of LXHL-LW6C type have greater tilt, they are slower. The voltage curves are without viewable changes. It could be said that the difference is caused by different reaction in the same conditions, no by driven circuit. The situation is very similar by current increasing on 400mA (Fig. 5).

In the left column there are curves measured on power

LED LXHL-LE5C and in right column LXHL-LW6C (green curve represents output optical power and yellow curve represents voltage on power transistor). The first row represents modulation rate 1.6 MHz, second row 2,0 MHz and the last 2.2 MHz.

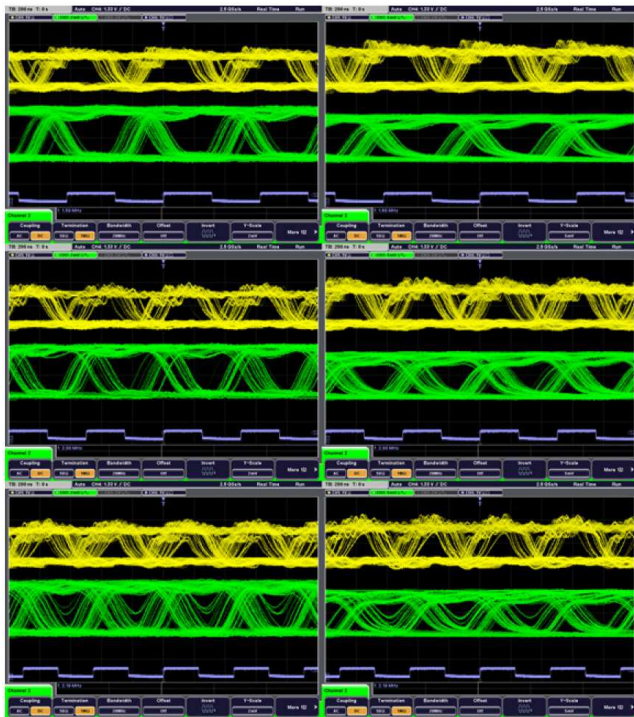


Fig.5. Eye diagrams of power LED LXHL-LE5C and LXHL-LW6C by working current  $I_p = 400$  mA.

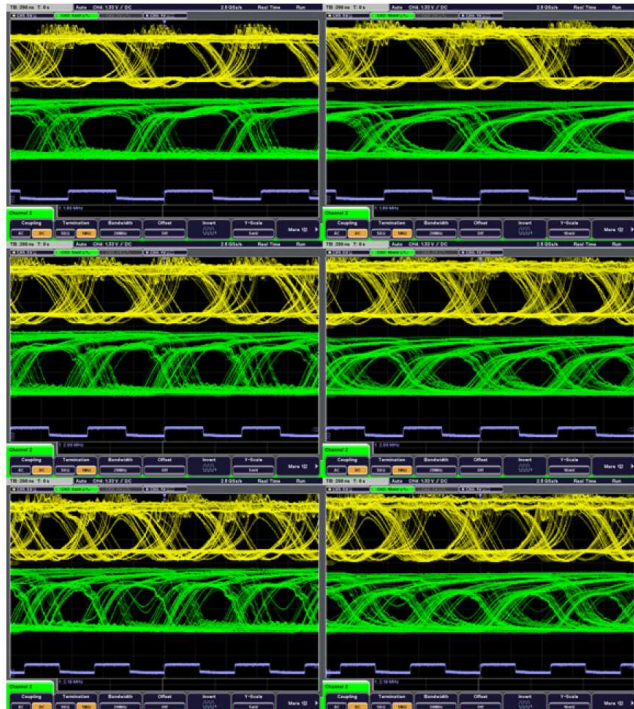


Fig.6. Eye diagrams of power LED LXHL-LE5C and LXHL-LW6C by working current  $I_p = 700$  mA.

If the working point of power LED is in area of maximum current, i. e. around 700mA (Fig. 6), it shows the differences between LED types mostly. Around 1.6MHz it is at first sight evident that the eye surface decreased for type

with white light. Rise edge and fall edge slowed down, the general reaction slowed down for green LED, fall edge is ended sharper, the stabilization on next level is quicker. The same situation deals for rise edges.

## Conclusion

The measured graphs in form eye diagram show us that power LEDs are able to communicate in bandwidth around 2MHz, which fulfills the conditions for bandwidth requirement for transmission of important information between cars. However, if the power LED is used for data transmission, it is unacceptable any apparent impact on primary function, i. e. lighting or highlighting of object. It could be very disturbing if the diode brightness would conspicuously decreases due to communication, eventually if the brightness would notably vary due to communication. To avoid this situation, it is necessary to optimize the used link code.

It is a lot of basic types of link codes. If the power LED works in states „switch off“ and „switch on“ (logical 0 and 1), many advanced codes are unusable. It is possible to use only unipolar codes, which correspond to states realized by diode. The power LED with suitable selected code (e. g. Manchester code) enables the communication between cars, when their distance is shorter than critical border (convoy conditions). The wireless system with power LED can increase the traffic safety.

## Acknowledgement

This paper and research has been supported by the Czech Science Foundation GA 102/09/0550, GA 102/09/1986 and SP2011/47, SP2011/135.

## REFERENCES

- [1] INFISO G4/JJ D(2006) 701311 Pracovní zpráva o Inteligentních Kooperativních Systémech založených na spojení vozidlo- vozidlo (V2V) a vozidlo-infrastruktura (V2I). In JAASKELAINEN, Juhani. *CEN Evropský výbor pro normalizaci: TC 278 Dopravní telematika* [online]. Brussel - Belgie: Europese Commissie, B-1049, 2006 [cit. 2011-07-15]. Available from WWW: <[www.silmos.cz/file.php?id=232](http://www.silmos.cz/file.php?id=232)>.
- [2] ERNST, Thierry. ITS Architectures: The Road to IPv6. In Workshop on ITS experiences in Europe [online]. Murcia: ITS experiences in Europe, 2009 [cit. 2011-07-15]. Available from WWW: <[http://www.geonet-project.eu/?page\\_id=9](http://www.geonet-project.eu/?page_id=9)>.
- [3] Car 2 Car Communication Consortium. CAR 2 CAR Communication Consortium Manifesto [online]. Braunschweig, November 2007 [cit. 2011-07-15]. Available from WWW: <<http://www.car-2-car.org>>.
- [4] KOUDELKA, Petr, et al. Research of power LEDs for mobile communication. *Przeglad Elektrotechniczny*. 2011, 87, 4, s. 1-4. ISSN 0033-2097.
- [5] PUŽMANOVÁ, Rita. Bílé LED – světlo budoucnosti. *Světlo*. 2007, no 5. s. 50-52. ISSN 1212-0812.
- [6] BREED, Gary. Analyzing Signals with the Eye Diagram. *High Frequency Electronics* [online]. 2005, 11, [cit. 2011-04-20]. Available from WWW: <<http://www.highfrequencyelectronics.com>>.

**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](mailto: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](mailto:jan.latal@vsb.cz)  
 Ing. Petr Šiška, Ph.D., VŠB-TU Ostrava, Faculty of Electrical Engineering and Computer Science, Department of Telecommunications. 17. listopadu 15, 708 33 Ostrava-Poruba. E-mail: [petr.siska@vsb.cz](mailto:petr.siska@vsb.cz)

*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](mailto:jan.vitasek@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.vasinek@vsb.cz](mailto:vladimir.vasinek@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](mailto:karel.sokansky@vsb.cz)*

## Light and Human Health

**Abstract.** The evolution of civilization is largely conditioned by the development of knowledge through the senses. Human seeing results from the interaction of visible light and vision. These include environmental factors, which by their influence on human organism determine not only biological but also psychological human existence. Vision is an intermediary to obtain visual information about the surrounding environment. The sight of the benefits of information far exceeds the other senses, information obtained visually estimated at 75 to 90%.

**Keywords:** light and health, SAD, psychophysiological effects of light

### Sight and Vision

Visual human behaviour determines the number of factors, physical factors (light), optical properties of the eye, neurophysiological factors (mechanisms of encoding visual information), including previous human experience and psychological factors. The eye is literally the part of the brain moved on the surface of human body. Human visual system is composed roughly of three parts: the peripheral represented by eye, where the retina is a sensor, then the connecting, consisting of optic nerve, chiasma, optic tractus and mainly visual centers in the corpus geniculatum lateral, and the highest central part consists of the visual cortex formed brain. [1,4]

### Eye Optics

The display quality of the optical system of the eye - the cornea, anterior chamber, pupil, lens and vitreous body - is also in case of optically normal human eye very imperfect with different anatomical irregularities, adapting to changing internal and external conditions and subject to aging. Even with optimal pupil diameter, perfect accommodation and optimum lighting is never the same image on the retina of the object. Vision, however, has at the level of retinal nerve special mechanisms to correct imperfections in optical imaging. These mechanisms are based on the principle of perceptual fields and principle of operation oculomotor system. [1,4]

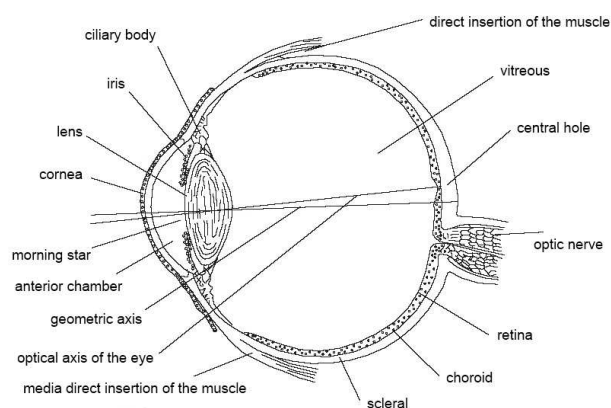


Fig.1. Eyeball adult [1]

### The Structure of the Retina

The retina is a very complex neural tissue formation. It consists of 11-layers. I. neuron visual pathway consists of pigment epithelium, a layer of photoreceptors rods and cones. Already at this level are performed operations which proceeds visual information. II. neuron visual pathways constitute the body of bipolar cells, horizontal cells, positioned between I. and II. neuron and amacrine cells,

with the function of switching and reciprocal feedback between neurons in the visual pathway. III. neuron consists of the inner granular layer cells with Miller, inner plexiform layer, ganglion cell layer, a layer of nerve fibers formed by centripetal projections retinal ganglion cells converging into one point, the optic nerve, which information is fed into the subcortical and cortical brain centers. At this point there are no photoreceptors - a blind spot. At level III. neurons are the other very complex synaptic connections between different types of cells, including feedback synapses to richly communicate together. Photoreceptors are different structure, functions and calculus. The central hole - the fovea, contains an area of about 0.25 mm about 800 000 cones of the total number of 6.5 million. Their location towards the periphery decreases sharply. Sticks in the number of 125 million are distributed more evenly, more in the central part of the loss to the edges of the retina. [1,4]

### Photoreception

Photoreception is conversion process when the light quantum energy is transformed to nerve impulses energy, resulting in visual perception. The retina of the eye is functionally complex nervous apparatus similar brain structures. In these structures is proceeded the selection of useful information into a form capable of transmission to higher levels of the visual system. This process takes place in retinal photoreceptors. By photochemical processes in visual pigments of photoreceptors is light energy converted into energy of nerve impulses. [1,4]

### Perceptual Field

It represents the functional unit of the visual system. In the retina there is no identity of the anatomical and functional organization. Functional unit of the retina is the perceptual field. Perceptual field is the area of retina, from which can be irritated one the retinal ganglion cell, a fiber optic nerve. Location of perceptual fields is stable, but their size depends on the intensity of irritation on the initiative circuit size and the current state of retinal adaptation on brightness. Diameter of the perceptual field is consistent with a set of receptors converge to the cell. Perceptual field is approximately circular shape and diameter of the perceptual field is considerably different. While in the central hole has one photoreceptor (cone) nearly one ganglion cell in the retina paraphoveal is the number of receptors converging to one ganglion cell and of several hundred and in the peripheral retina of several thousand. It follows that the highest resolution is in sight of the central hole, where the average perceptual fields is minimal.

Individual perceptual fields may overlap. It acts on them only a change of light environment, increase or decrease the brightness. These are two antagonistic subsystems, one

of which indicates information about the brightness and the other on the dark, respectively low brightness. Increasing of the brightness of irritation in the middle of the perceptual field leads to the attenuation in the periphery and vice versa. Only negligible part of information coming into the retina is transferred to the highest sections, but the most important one. To the upper sections of the visual system is highly specific information transmitted like brightness level, the differences in brightness, color, changes in time and movement initiative, etc. [1,4]

### **Extraocular System**

Extraocular system is functionally essential condition for obtaining visual information. Changing the brightness of the perceptual field at the periphery of the visual field is the impulse for the extraocular system to jump movement focused look at a place that attracted attention. That means location of the image detail into the fovea – place with the highest resolution. Decision of extraocular system where he will go look, depends on the previous track movements and information that was obtained in this way. Also plays an important role in what has to be identified and what information must be extracted. Eye movements take place simultaneously and have a direct relationship to the stereoscopic, three-dimensional vision. [1,4]

### **Photo Accommodation**

Focus the image on the retina at a distance is happening by accommodation. The stimulus for accommodation is blurring the image on the retina. The front wall of the eye lens protrudes when looking for the near and flattens when looking into the distance. By this it changes its fragility. It is always an active process achieved by neural activity. When fixing the eye to the observed object there is the constant fluctuation of accommodation around some mean value. Accommodative range is dependent on light intensity and quality. With age due to loss of elasticity of the lens and ciliary muscle decreased function of the accommodative ability of the eye decreases. At visual work the sight accommodation to distance can prevent visual fatigue and spasm of accommodation. [1,4]

### **Photopupilar Reflex**

Photopupilar reflex is a rapid response of the eye to the changing amount of light by varying the diameter of the pupil. Increasing illumination leads to contraction of pupils, reducing to its dilation. Photopupilar reflex depends on the brightness of the complaint, the default stadium of visual adaptation, the default width of the pupil and individual's age. To ensure this visual function is necessary to create appropriate lighting and brightness uniformity in the field of view of person and to reduce rapid transitions between significantly differing levels of lighting. [1,4]

### **Adaptation to Light and Darkness**

The human eye can distinguish luminance in the range of 1:1012, ie. from about  $10^{-6}$  to more than  $10^5$  cd.m<sup>-2</sup>. This ability is relatively fast tuning system - adaptation. Progress in two directions - we are talking about adaptation to light and adaptation to darkness. The main point of the adaptation the adaptation is the retina with neural adaptation processes and photochemical processes of pigments in the photoreceptors, less effective is photopupilar reflex. Adaptation to light is faster than adaptation to darkness. [1,4]

### **Color Discrimination and Chromatic Adaptation**

In the range of intensities of normal daylight (vision photopic), the human eye distinguishes the most sensitive wavelength of 555 nm yellow-green region. Scotopic spectral curve of eye adaptation to low brightness is at its peak shifted to shorter wavelengths, 504 nm, blue-green region. The spectral curves of light sensitivity of the human eye are approximately binomial shape quite rapidly declining on both sides. Eye sensitivity to peripheral areas of the visible spectrum is much lower than those of the maxima of sensitivity. Among the scotopic region, where the human eye perceive color, and photopic region is the mesopic transition zone, where with progressive adaptation is changing the luminance ratio of rods and cones. The spectral composition of daylight varies with altitude above the horizon of the sun. Thanks to the chromatic adaptability eye does not perceive these fluctuations. Seeing the color information enhances the possibilities of vision. [1,4]

### **Resolution Acuity**

Resolution acuity vision is the ability to distinguish two points as two separate points. This ability is enhanced by good lighting conditions, unlimited observation time and distance. [1,4]

### **Light Sensitivity**

The minimum stimulus which during the visual adaptation to darkness causes visual perception is the threshold sensitivity of the eye. The upper limit of light sensitivity of the eye in daylight vision achieves brightness of 10 cd.m<sup>-2</sup>, probably close to the brightness of the sun. Light sensitivity to changes in these borders is influenced by age, photopupilar reflex, sensitivity to light and color, the influence of time of day. [1,4]

### **Contrast Sensitivity Vision**

On the border between the object and its immediate background forms photometric luminance contrast. With the requirements for the differentiation of low contrast details the requirements for lighting are increasing. In addition to achromatic, gray contrast is also color contrast important in practice. [1,4]

### **Speed of discrimination**

Speed of discrimination is the time interval for distinguishing and receiving visual information. It is the faster when more detail is observed and greater contrast against its background. It increases with increase in illumination. It is an important indicator of the productivity of visual work and security work. [1,4]

### **View**

Field of view shows a slice of the total space. We call it the part that we see in the fixation of looking straight ahead. The axis of the visual field is a straight line through the fixation point and the center of the retina. Foveal field of vision with a range of 0,75° from the axis of the visual field is the area of sharpest vision. The remainder - peripheral - with an angle of 30° is called a visual cone, where there is orientation in space, information about the movement area, transferring to the new vision foveal interesting point. When binocular vision and scope of the visual field is of 60 - 90 degrees is present, the overlapping of middle part of the field of vision is occurring, the vision and spatial differentiation of three-dimensional objects. [1,4]

## Visibility Conditions

Visibility characterizes the dependence of the four basic physiological functions that interact: resolution, light sensitivity, contrast sensitivity and speed of visual perception to the environmental light conditions.

Visibility criteria are: observed angular size of detail, the level and distribution of brightness in the visual field, observed contrast between background detail and immediate, duration of visual perception.

Visibility affect the physical characteristics of the object, lighting conditions of environment, spatial and color detail traits observed, glare, observer age, fatigue and more. They determine the accuracy and capacity of visual work. [1]

## The Emergence of Biorhythms

Recurrent environmental influences such as alternation of day and night have done by the rotation of the Earth around its axis leads in all living organisms to regular changes. These changes are called biorhythms. Biorhythm is a result of the interaction of inherited talents and influence of the external environment. Biorhythms in living organism occur at the level of molecules, cells, organs and ultimately the whole organism. Oscillation is almost all the features of biorhythms. An important feature is also the period of biorhythms. Circadian - day period lasts 20 to 28 hours. [2]

## Neural Regulation Nonvisual Effect of Light

In mammals, including human, biological clock is stored in the brain called the hypothalamus, which controls many basic functions in the body, including sleep and wakefulness. Regular oscillations arise in suprachiasmatic cores. They are the basis of the circadian system that regulates the body's physiological rhythm. Neural pathways responsible for vision are anatomically separated from the pathways responsible for the circadian regulation.

However, there is a functional connection between them. The primary circadian pacemaker system is light. Nerve pathway, which transmits nonvisual information about light, continues from suprachiasmatic nucleus to the pineal gland. There are alternating light and darkness stimulates neural activity and the production of neurohormone melatonin secretion (sleep hormone). In all mammals, including humans with its high levels of excreted at night minimum during the day. Biorhythms affect almost all physiological functions. [2]

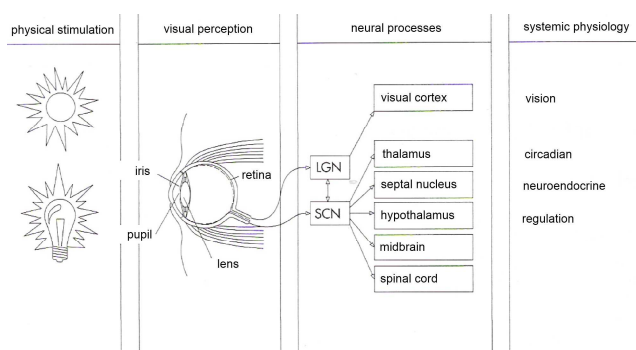


Fig.2. Simplification of neuroanatomy [1]

Biological clock synchronizer with astronomical ones is periodic alternation of light and darkness. Light suppresses melatonin production. For those suppresses is necessary more light than is required for vision. Significantly phase shift the clock can only light with an

intensity greater than 1 500 - 2 000 lux on the vertical plane at eye level. [2]

## Seasonal Affective Disorder

Seasonal affective disorder SAD has been reported in the seasonally dependent persons who are manifested in the autumn and winter months. This creates a seasonal seasonal contraction and lack of sunlight. Typical symptoms of SAD syndrome are emotional depression, anxiety, difficulty concentrating, decreased physical energy, sleepiness, and impaired work ability. With the advent of spring, symptoms usually disappear. SAD syndrome is also exposed to people who are forced to work indoors with insufficient daylight and have to rely solely on artificial light. By light therapy can be achieved improving health. The load of permanent chronobiological forced adaptation to permanent night shifts can also contribute to some diseases such as cardiovascular disease, gastrointestinal problems, as well as cognitive and emotional problems. Proper lighting strategy is a tool to ensure optimum biological circadian stimulation and optimal vision, visual comfort, psychological and behavioral functioning. [3]

## Psychophysiological Effects of Light - Visual Comfort

Visual comfort is defined as a pleasant state of psychophysiological needed for effective work and rest. It's not a feeling, but the physiological state of adaptation of the organism created by external physical factors. Priority for visual comfort is light. It is influenced by other factors such as noise, temperature, air flow, architectural properties of space, color, etc. It is also closely related to fatigue, disease and visual defects. Eyesight is an important regulator of neurophysiological activity of the central nervous system and in this way affects the human psyche. [1,4]

## Ergonomic Criterion

Ergonomic criterion puts more stringent lighting requirements which are required for visual comfort. For visual performance are critical illuminance, luminance ratios in the visual field and visual adaptation condition. The quality of lighting decisions sense of fulfillment space with light, directional light effects, light of light source chromacity, color rendering, true color of the interior and details of work subject and its surroundings. The aim of the light environment is to create good conditions for work and recreation. [1,4]

## Psychophysiological Effects of Light

Among humans, there is a large variety of individual and subjective assessment of light sensitivity. Human psyche significantly is positively effected by the typical characteristics of daylight, his dynamism, sustained irregular changes during the day in quantity and quality of the pacemaker mechanisms of attention.

Direct solar radiations are clearly mentally activating influence. Artificial light contrary, its monotony leads to a reduction in alertness, feelings of sleepiness, fatigue, and loss of power fluctuations, reducing emergency response. Among the short-term psychological states can sort fatigue and discomfort. This can be both good and bad lighting conditions. Psychological effects of glare are major individual differences. It acknowledged the influence of color on the man and his work performance. The great practical impact has a signaling information and meaning of colors. In building interiors color coating surface can affect the psyche of users. [3]



## REFERENCES

- [1] MAŇÁK, V.: Fyziologie zrakového systému aplikovaná na hygienu osvětlování, I. díl. Brno 1977
- [2] BRGER, J.: Biorytmy: tajemství vlastní budoucnosti. 1995. vyd. Praha : Paseka, 1990. 126 s. ISBN 80-7185-019-5.
- [3] BRAINARD, G. C., BERNECKER, C. A.: The effect of light on human psychology and behavior. Proceedings of the 23rd session of the CIE. New Delhi, 1990
- [4] RYBÁR, Petr. Denní osvětlení a oslnění budov. Brno : Era , 2002. 271 s. ISBN 80-86517-33-0.

**Authors:** *ing. et ing. Ivo Penn, Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava, Fakulta elektrotechniky a informatiky, 17. Listopadu 15/2172, Czech Republic, e-mail: [penn.ivo@post.cz](mailto:penn.ivo@post.cz)*

*mgr. Adéla Kadulová, Penn, Univerzita Palackého v Olomouci, Lékařská fakulta, Křížkovského 8, Czech Republic, e-mail: [a.kadulova@seznam.cz](mailto:a.kadulova@seznam.cz)*

## Možnosti ve vývoji LED svítidel

**Abstrakt.** Tento článek dává náhled na současné možnosti vývoje LED svítidel. V úvodu jsou naznačeny možnosti počátku vývoje svítidla z hlediska použití více či méně sofistikovaných komponent. Dále jsou současně poznamenány poznatky týkající se kvalitativních i kvantitativních vlastností LED, chlazení a možností elektronických komponent. V závěrečné části článku jsou uvedeny požadavky a normy kladené na LED svítidla, které musí být splněny pro vydání ES prohlášení o shodě a uvádění svítidla na trh v EU.

**Klíčová slova:** LED svítidla, prohlášení o shodě, normy

### Úvod

LED technologie v současnosti zažívá veliký boom. Mít v nabídce svítidla osazená LED moduly nebo světelnými zdroji musí každý výrobce nebo prodejce, který chce na dnešním trhu se světelnou technikou uspět. Zatímco prodejce může vsadit na některého z dovozců LED řešení ze zahraničí, výrobce je, dříve či později, přinucen konkurencí do portfolia svých výrobků LED nějak zařadit. Ať už použitím retrofitů světelných zdrojů- náhrad za běžné žárovky nebo například zářivky, nebo vývojem nového LED svítidla. Právě touto druhou možností se tento článek zabývá.

### Výběr komponent pro vývoj svítidla

Na dnešním trhu existuje celá řada komponent, které lze pro výrobu svítidla zvolit, také podle možností a hloubky, do které se chceme problematikou zabývat. Začneme tedy těmi nejjednoduššími:

- **Využití hotových sestav LED modulů a zdrojů** - při této možnosti je vývoj svítidla nejjednodušší a kvalita výrobků ve většině případů velmi dobrá. Nevýhodou může být vyšší cena a omezený výběr a možnosti dostupných LED sestav a tím daná i nižší variabilita- například nelze použít na napájení 12/24 V apod. Ze zajímavých produktů v této oblasti uveďme například řadu Osram PrevaLED, určenou pro interiérová svítidla, se světelným tokem až 3000 lm. Tyto moduly mají zpětnovazební obvod, který po celou dobu života světelného zdroje, tedy  $L_{70}=50\,000$  h, udržuje činitel podání barev na velmi dobré hodnotě min. 90. Zajímavá je také řada Philips Fortimo LLM, určená hlavně pro veřejné osvětlení, se světelným tokem až 4500lm a  $R_a=70$ . Tyto moduly udržují konstantní světelný tok po celou dobu života, také 50 000 hodin.

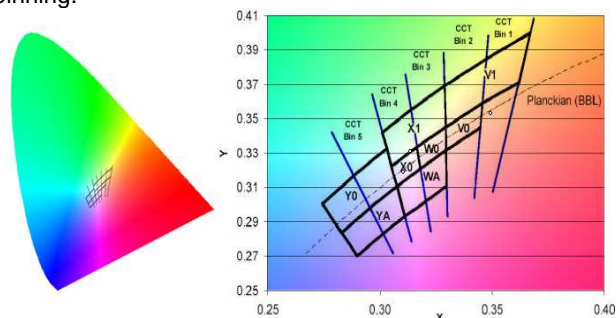


Obrázek 1: Philips Fortimo LLM- LED modul a driver

Při použití těchto produktů je třeba použít LED modul i předřadník stejného výrobce. Výhodnou je zaručená kvalita světla, záruka na použité komponenty a jistota dodávek i v budoucnu.

- **Použití LED hotových driverů** - je další možností při vývoji LED svítidel. Drivery, kvůli VA charakteristice LED, pracují jako zdroje konstantního proudu, typicky 350 nebo 700mA. Zdroje pro napájení LED vyrábí široká škála

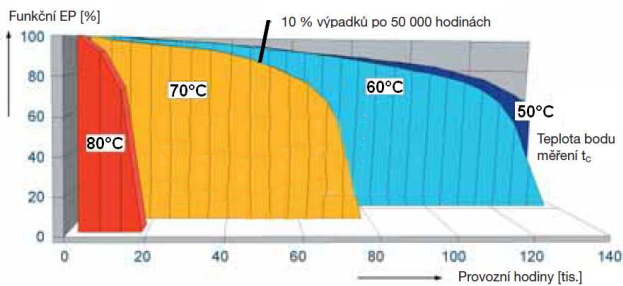
výrobců například Osram OPTOTRONIC, Philips Xitanium nebo MEANWELL. LED moduly si v tomto případě vybírá sám výrobce svítidla – má na výběr mezi výrobcí i moduly různé kvality a parametrů, v případě kterých je rozhodující binning.



Obrázek 2: Binning LED Luxeon

Binning je třídění LED modulů po výrobě do kategorií podle svítivosti a náhradní teploty chromatičnosti, popř. dalších parametrů jako  $R_a$ , napětí apod. Problémem takto konstruovaných svítidel je, že z počátku provozu je kvalita světla velmi dobrá (daná výběrem LED), postupem času však klesá světelný tok i činitel podání barev (dáno různými degradačními vlastnostmi). Částečně eliminovat výše uvedené lze výběrem dobrých výrobců LED, jako například CREE nebo Luxeon. V případě, že výrobce deklaruje u svítidla stejné kvalitativní parametry jako u nových LED, vystavuje se riziku reklamaci na jejich nesplnění po čase provozu. Degradace LED modulů závisí hlavně na teplotě, a proto její udržení co nejnižší má u těchto konstrukcí velké opodstatnění. Dále je třeba vhodným zapojením zajistit, aby výpadek jedné LED nezpůsobil nefunkčnost velké části nebo dokonce celého svítidla.

- **Vlastní výroba včetně elektronické části** - při této koncepci je možné dosáhnout nejnižších výrobních nákladů a svítidla vyrobit přesně na míru svým požadavkům. Konstrukce elektrické části je v dnešní době ulehčena existencí kvalitních integrovaných obvodů sdružujících v sobě všechny funkce nutné pro napájení LED. Z největších výrobců jmenujme například MAXIM, Linear, Texas Instruments, ON Semiconductor nebo National Semiconductor. Vývoj a následná certifikace svítidla je v tomto případě ale nejnáročnější. Při vlastním vývoji elektroniky je také nutné zajištění její dlouhé životnosti, protože ze zkušeností s dosavadními instalacemi LED větších příkonů je zřejmé, že právě elektronika se často stává nejslabším článkem. Na obrázku níže je dobře vidět, že jen teploty elektroniky do 70°C dokáží udržet nízkou míru selhávání. Pokles teploty o 10°C pak vede ke zdvojnásobení doby života.



Obrázek 3: Doba života el. předřadníků v závislosti na teplotě

Není náhoda, že uvedený obrázek zhruba kopíruje stárnutí kondenzátorů. Tyto jsou totiž na teplotě velmi závislé a na jejich parametrech a kvalitě také závisí provozuschopnost celého svítidla. Pro konstrukce volíme výhradně typy s odolností 105°C, nejlépe značek Samxon, Nichicon, Rubycon, Chemi-con nebo Panasonic. Pokud má kondenzátor udaný život 2 000 hodin, 50 000 hodin vydrží při provozní teplotě cca 60°C. V případě LED svítidel se na oteplení elektroniky, mimo její vlastní tepelnou produkci, podílí také teplo produkované LED moduly, proto je nutné měření teploty až přímo ve vyvíjeném svítidle v podmíncech co nejbližším běžnému provozu. Zde se dobře uplatní zalévací hmoty pro elektroniku s vysokou tepelnou vodivostí, které dobře odvádějí teplo produkované čipy a velká a rovná teplosměnná plocha umožní jejich přichycení na plášť svítidla pro optimální odvod tepla.

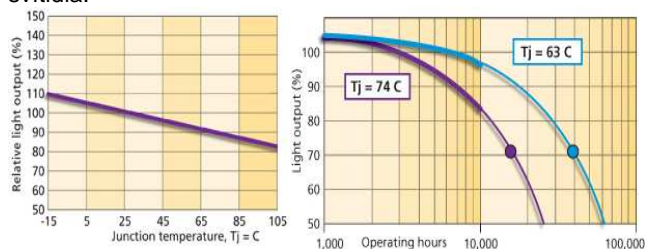
### Zajištění optimálního chlazení

Ať už vybereme kteroukoli z výše uvedených variant vývoje svítidla, nevyhne se nutnosti vyřešit optimální chlazení. Dobré chlazení je třeba pro zajištění stabilního světelného toku, co jak nejmenšího úbytku svítivosti a dlouhého života LED modulů. Při výpočtu oteplení vycházíme z údajů dodaných výrobcem LED. U chlazení máme na výběr z několika typů, volba vhodného závisí na výkonu modulů, rozměrech svítidla a plánovaném toku vzduchu.



Obrázek 4: Možnosti chlazení- membránový, vrtulový a pasivní

Zajímavou možností je využití membránového chladiče Nuventix, který nemá žádné pohyblivé části a slibuje méně než 10% výpadků po dobu 100 tisíc hodin. S výhodou lze pro chlazení použít i vnější plášť svítidla, jeho oteplení nesmí přesáhnout pouze hodnotu udanou na svítidle, podle toho pro jaké prostředí a na jaký podklad je svítidlo určeno. Jakmile vybereme vhodné chlazení, je třeba ověřit teplotní měření. Až poté můžeme vypočítat teplotu na PN přechodu a podle ní určit, z údajů dodaných výrobcem, dobu života svítidla.



Obrázek 5: Vliv teploty PN přechodu na svítivost [1]

### Návrh optického systému

V zájmu co nejvyššího měrného výkonu je třeba pro svítidlo navrhnout co nejúčinnější optický systém. Pro vysokou účinnost je samozřejmě lepší použití reflektorů a refraktorů před difuzory, nebo lze také využít přirozenou vyzářovací charakteristiku LED modulů a jejich světlo směřovat jen jejich natočením nebo cloněním. Pro řadu LED čipů lze přímo koupit hotové reflektory s žádanou charakteristikou, případně upravit stávající svítidla pro LED moduly. Pro vývoj lze využít i specializovaný software, pro ověření je třeba provést světelné měření.

Je třeba si uvědomit, že výsledný měrný výkon svítidla je roven součinu měrného výkonu LED modulu, účinnosti napájecího zdroje a optického systému a všechny činitele jsou stejně důležité.

### Splnění požadavků norem

Po úspěšném vývoji a výrobě vzorků následuje vyhotovení dokumentace ke svítidlu, které využijeme jako podklady pro certifikaci i pro katalog. Abychom mohli vydat prohlášení o shodě a umístit na výrobek označení CE, musíme nejdříve ověřit, jaké normy se na naše svítidlo vztahují.

Normy vztahující se na světelný zdroj:

- ČSN EN 62031 - Moduly LED pro všeobecné osvětlování - Požadavky na bezpečnost

Normy vztahující se na elektronický předřadník:

- ČSN EN 61347-1 - Ovládací zařízení pro světelné zdroje - Všeobecné a bezpečnostní požadavky
- ČSN EN 61347-2-13 - Ovládací zařízení pro světelné zdroje - Část 2-13: Zvláštní požadavky pro elektronická ovládací zařízení modulů LED napájená střídavým nebo stejnosměrným proudem

Normy vztahující se na celé svítidlo

- ČSN EN 60598-1 - Svítidla, Všeobecné požadavky a zkoušky
- ČSN EN 60598-2-1 - Svítidla, Zvláštní požadavky, Stacionární svítidla + další normy řady podle druhu svítidla
- ČSN EN 62471 - Fotobiologická bezpečnost světelných zdrojů
- ČSN EN 61000-3-2 - Elektromagnetická kompatibilita (EMC) - Meze pro emise proudu harmonických
- ČSN EN 61000-3-3 - Elektromagnetická kompatibilita (EMC) - Meze - Omezování změn napětí, kolísání napětí a flikru v rozvodných sítích nízkého napětí pro zařízení se jmenovitým fázovým proudem  $\leq 16$  A, které není předmětem podmíněného připojení
- ČSN EN 55015 - Meze a metody měření charakteristik vysokofrekvenčního rušení způsobeného elektrickými svítilny
- EN 61547 - Zařízení pro všeobecné osvětlovací účely - EMC požadavky odolnosti

Je třeba dodat, že výčet těchto norem nemusí být úplný, další normy se na svítidlo mohou vztahovat podle jeho typu nebo určení.

### Závěr

Vývoj LED svítidel, jak je z článku patrné, není zcela jednoduchou záležitostí. Pokud je pojat zodpovědně, výsledkem se stává kvalitní svítidlo, které parametry a životností předčí konkurenci neznakových svítidel z Asie s nevěrohodnými parametry a nejasnou životností. V případě jednoduché konstrukce a větší výroby, a tím i

nižších nákupních cen, je možné se s takovým svítidlem prosadit na lokálních trzích.

#### PODĚKOVÁNÍ

*Tento článek byl vypracován za podpory grantu VŠB-TU Ostrava, "Optimalizace spotřeby elektrické energie využitím moderních světelných zdrojů", SP 2011/135.*

#### POUŽITÉ ZDROJE

[1] RANIERI, Dave. Choosing LEDs for indoor use. 11/2010.

[2] Katalog Osram, Elektronické předřadníky, strana 11.141.

---

#### **Autoři:**

Ing. Zbyněk Carbol, e-mail: [zbynek.carbol@vsb.cz](mailto:zbynek.carbol@vsb.cz)

Ing. Jan Šumpich, e-mail: [jan.sumpich@vsb.cz](mailto:jan.sumpich@vsb.cz)

Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava, Fakulta elektrotechniky a informatiky, 17. Listopadu 15/2172, 708 33 Ostrava – Poruba, tel.: 597 329 327

## Měření a vyhodnocování spektrálních vlastností odraženého záření od noční oblohy

**Abstract.** The obtrusive light is understood as increased luminance of the night sky. In this paper is considered the increase of luminance of the night sky which causes sky glow that cause worse observation of stars. Public lighting is not only one of source of obtrusive light. Also windows of apartments, advertising lighting and sports lighting belong here. The theme of this article is to determine the light sources from the measured light spectrum and subsequent quantification of their proportion of obtrusive light. The current measurements show that the influence of high pressure sodium lamps used in public lighting systems, to the night sky in the Czech and Slovak regions is significant.

**Keywords:** obtrusive light, light pollution, light spectrum, high pressure sodium lamp

### Úvod

Cílem tohoto článku je zjištění podílu veřejného osvětlení na celkovém světelném vyzařovaném záření (přímém i odraženém) světelných zdrojů rozptýlující se v horním poloprostoru v ovzduší za specifických meteorologických podmínek (zataženo, déšť, sněžení, mlha, vysoká prašnost v ovduší apod.), kdy je toto záření nejlépe viditelné a stává se terčem kritiky obyvatelstva. Tyto klimatické podmínky způsobují nejvyšší jasy noční oblohy, a proto má světelné záření také nejvyšší rušivý potenciál. Článek se zaměřuje na studium vlivu vysokotlakých sodíkových výbojek, které se nejčastěji používají ve veřejném osvětlení. Protože tyto zdroje jsou nejčastěji používané ve veřejném osvětlení, můžeme očekávat jejich významný vliv na noční oblohu.

### Popis měřicího vybavení

Kompletní měřicí systém se skládá ze spektrometru Jeti 1211 na Obr. 1. společně s přenosným počítačem, který je nezbytný pro jeho ovládání. Tento konkrétní spektrometr byl zvolen kvůli své vysoké citlivosti a dlouhým integračním časům až 10 minut. Vysoká citlivost spolu s dlouhou integrační dobou umožňuje vyhodnocovat i velmi nízké jasy noční oblohy.



Obr. 1. Jeti 1211

Spektrometr může měřit následující hodnoty [1]:

- spektrální záření,
- jas,
- osvětlenost,
- chromatické souřadnice x, y, u, v,
- náhradní teplotu chromatičnosti,
- dominantní vlnovou délku,
- index podání barev.

Spektrometr Jeti 1211 je specifikován následujícími parametry:

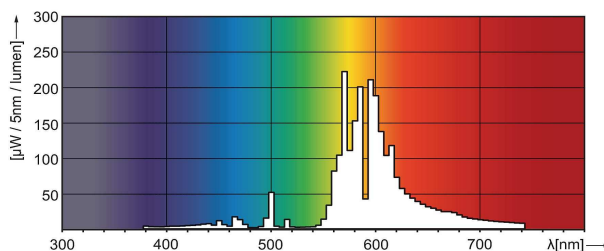
- měřená vlnová délka 350 nm – 1000 nm,
- rozlišení vlnové délky 5 nm,
- pozorovací úhel 1,8°,
- 0,2 cd/m<sup>2</sup> – 7 000 cd/m<sup>2</sup>,
- 2 lx – 50 000 lx,
- přesnost ± 0,7 nm,
- přesnost 2 % (1000 cd/m<sup>2</sup>, 2856 K).

Přístroj se využívá především k měření spektrálního záření při posuzování rušivého světla. I při jeho vysoké citlivosti a dlouhým integračním časům se využívá na spodní hranici svého měřicího rozsahu

### Popis našich experimentálních měření

Měření spektrálního záření provádíme ve městech obvykle ze střech výškových budov, detektor musí být umístěn nad všemi svítidly, pakliže je v měřicí aparatuře na přístroji nasazen kosinův nástavec. Takto může měřit odraženou složku světelného záření od horního poloprostoru. Každé jednotlivé měření je naprosto unikátní, protože se časem mění atmosférické podmínky. Opakované měření lze provést pouze za stejných atmosférických podmínek. Proto je nezbytné, mít přesně zaznamenanou situaci při prováděném měření.

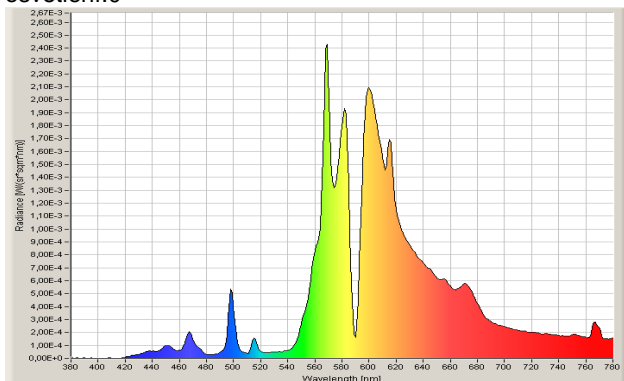
Naše měření jsme prováděli v Ostravě, Bratislavě a Pardubicích. Na Obr. 2. je ukázka spektra vysokotlaké sodíkové výbojky Philips SON-T Plus 100 W, tak jak ji udává výrobce.



Obr. 2. Spektrum vysokotlaké sodíkové výbojky dle výrobce [2]

Na následujícím obrázku Obr.3. je námi změřená stejná výbojka. Na první pohled je patrné, že naměřené hodnoty odpovídají katalogovým. Dále si musíme uvědomit, že bude nezbytné měřit více vysokotlakých sodíkových výbojek, nejen od různých výrobců, ale i o různém příkonu, protože jednotlivé výbojky se v oblasti vyzařovaného maxima  $\lambda = 589$  nm od sebe liší vyzařovaným spektrem. Abychom byli schopni provést vyhodnocení, musíme si stanovit obecnou

vysoke tlakou sodíkovou výbojkou a její vyzářované spektrum, nebo si zajistit informace o typech a výkonech světelných zdrojů od příslušného správce veřejného osvětlení.0



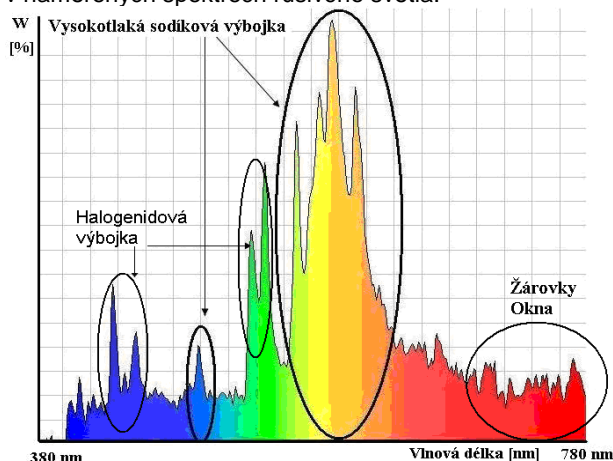
Obr. 3. Spektrum měřené vysokotlaké sodíkové výbojky

### Možnosti vyhodnocování měření

V rámci vyhodnocování spekter nás nezajímá konkrétní velikost měřených hodnot spektrální záře  $W/(sr \cdot m^2 \cdot nm)$ , protože zatím nejsme schopni vyhodnocení provést v absolutních hodnotách. Pokud porovnáme výsledky z různých lokalit, vzniká další proměnná kromě atmosférických podmínek a to - místo měření. Proto vyhodnocení provádíme relativně (poměrově) vůči známým spektrům vysokotlaké sodíkové výbojky.

Z terénních měření víme, že vysokotlaké sodíkové výbojky se v naměřených spektrech projevují silně. Toto odpovídá předpokladům. V současné době se snažíme z naměřených hodnot vyloučit právě hodnoty patřící vysokotlaké sodíkové výbojce. Data, která zbudou po této matematické úpravě, dále rozpracováváme. Existuje však spousta světelných zdrojů, které vyzářují světelné záření i na stejných vlnových délkách jako právě vysokotlaká sodíková výbojka. Mezi ně patří zejména halogenidové výbojky, zářivky a také žárovky se svým spojitým spektrem.

V naměřených hodnotách se snažíme identifikovat další umělé světelné zdroje viz Obr. 4, které se projevují v naměřených spektrech rušivého světla.



Obr. 4. Naměřená data z Bratislavy

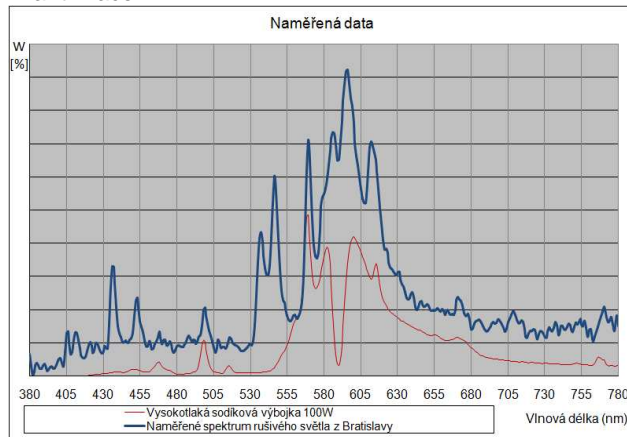
Vysokotlaké rtuťové výbojky mají hlavní podíl záření na vlnových délkách (404 až 407, 436, 546 a 577nm), u halogenidových výbojek se vyznačují intenzivními rezonančními čarami ve viditelné oblasti spektra thalium  $\lambda = 535$  nm a indium  $\lambda = 410$  nm a 451 nm. [3]

Světlo, které měříme, je odražené záření od horního poloprostoru, takže je závislé na spektrálních vlastnostech atmosféry. Naměřené spektrum vysokotlaké sodíkové výbojky v laboratorních podmínkách je naproti tomu energie

vyzářená. Nicméně se předpokládá, že nízká oblačnost ve viditelné oblasti odráží neselektivně tzn. na všech vlnových délkách.

### Návrh Metodiky

Na Obr. 5. je ukázka postupu, jak by se při vyhodnocování mohlo postupovat. Od naměřených dat z terénu, odečíst vliv vysokotlakých sodíkových výbojek ve správném poměru. Výsledkem této operace bude spektrum vypovídající o dalších světelných zdrojích vyskytujících se v rušivém světle. Bude známa nejen jejich specifikace ale i kvantifikace.



Obr. 5. Porovnání spektra rušivého světla se spektrem vysokotlaké sodíkové výbojky

### Závěr

Navržená metoda určování světelných zdrojů a jejich kvantifikace z naměřeného spektra může být vhodná i k jiným účelům než jen k vyhodnocování světelného rušení. Jsme teprve na začátku a čeká nás ještě spousta práce, především s určením koeficientů, které nám umožní energeticky srovnat měření v terénu s měřeními provedenými v laboratoři.

### Poděkování

Článek vznikl v rámci projektu "Optimalizace spotřeby elektrické energie využitím moderních světelných zdrojů" číslo projektu SP 2011/135.

### Literatura

- [1] Operating instructions spectroradiometer specbos 1xx1. Jena: JETI technische Instrumente GmbH, 2010. 89 pages.
- [2] Philips product. URL: <http://www.ecat.lighting.philips.com> [cit 2011-8-1].
- [3] Habel J. a kolektiv., Světelná technika a osvětlování, FCC Public, Praha, 1995, 448 p.
- [4] Novák, T., Sokanský, K., Diviš, D.: The measurement of the spectral qualities of obtrusive light. IEEE 2011. Ed. M. Caciotta, Z. Leonowicz, Wrocław:Wrocław University of Technology, 2011, 978-1-4244-8781-3

### Autoři

Ing. Daniel Diviš., Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava Fakulta elektrotechniky a informatiky, 17. Listopadu 15/2172, Czech Republic, e-mail: [daniel.divis@vsb.cz](mailto:daniel.divis@vsb.cz)  
 prof. Ing. Karel Sokanský, CSc., Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava Fakulta elektrotechniky a informatiky, 17. Listopadu 15/2172, Czech Republic, e-mail: [karel.sokansky@vsb.cz](mailto:karel.sokansky@vsb.cz)  
 Ing. Tomáš Novák, Ph.D., Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava Fakulta elektrotechniky a informatiky, 17. Listopadu 15/2172, Czech Republic, e-mail: [tomas.novak1@vsb.cz](mailto:tomas.novak1@vsb.cz)

## Denní osvětlení uvnitř rekonstruovaných budov

**Abstract.** Přednáška se zabývá problematikou změn denního osvětlení uvnitř rekonstruovaných budov.

**Keywords:** denní osvětlení; okna; rekonstrukce; daylight; windows; reconstruction

### Rekonstrukce budov a denní osvětlení

Současná doba přeje celkovým rekonstrukcím budov. V rámci energetických úspor jsou s použitím dotací měněna okna, zateplovány obvodové pláště, instalovány nejrůznější vnější stínící prvky, zasklívány lodžie. Fasády jsou barevnější.

Kromě nezanedbatelných přínosů však je třeba počítat i s negativy.

Před realizací samotné rekonstrukce se neprovádí nový výpočet či měření denního osvětlení, tudíž chybí kontrola.

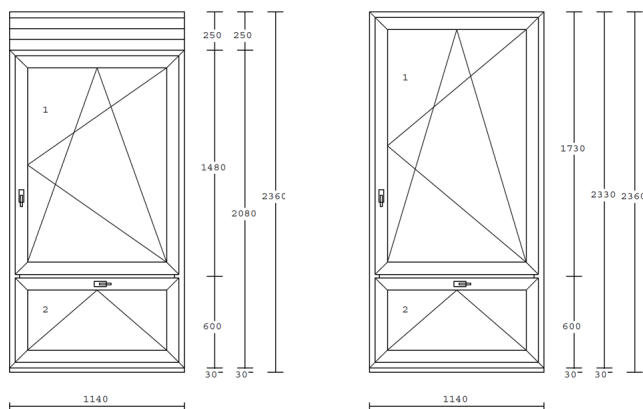
V přednášce budou probrány konkrétní srovnávací příklady stavu denního osvětlení ve vnitřních prostorech před rekonstrukcí a po ní. Nebudou chybět fotografie, výpočty a srovnávací hodnocení dle platných předpisů. Tento příspěvek uvádí pouze jeden ilustrativní případ.

### Výměna oken

Při výměně starých oken za nová se můžeme spolehnout na to, že díky širším rámcům bude plocha osvětlovacího otvoru propouštějící světlo nižší. Dle [1] tak klesne hodnota činitele prostupu světla  $\tau$ .

Nežádka je plocha zasklení dramaticky snížena ještě instalací předokenních stínících žaluzií, jež jsou instalovány přímo v horní části profilu okna.

Obrázek 1: výrobní dokumentace k novým oknům (s přípravou a bez přípravy pro venkovní žaluzie



Zlepšení tepelně-izolačních a protihlukových parametrů je vyváženo značným zhoršením úrovně denního osvětlení.

### Zateplení obvodového pláště budovy

Zateplením budovy se zvětší šířka ostění. Tloušťka zateplení se pohybuje zpravidla mezi 8 a 20 centimetry. V mnohých případech je navíc plocha ostění vyvedena v tmavších barvách. Je-li ostění jiné než bílé, nebo je-li značně barevná fasáda protějšího domu (venkovní stínící překážky) v husté městské zástavbě, dochází nejen ke snížení činitele odrazu, ale může být i při denním světle ohroženo správné vnímání barev.

Také v tomto případě jdou energetické úspory získané zateplením ruku v ruce s nezanedbatelnou degradací denního osvětlení.

Obrázek 2: rozdílná tloušťka zateplení obvodového pláště



### Konkrétní příklad

Ve své praxi jsem se setkal již s množstvím případů zhoršení denního osvětlení vlivem rekonstrukce budovy. Zde bych pro ilustraci předvedl pouze jeden příklad.

Základní škola v nejmenované obci dostala dotaci na výměnu oken za nová, plastová. Zateplení se v první fázi zatím řešit nebude. Stavební firma vybourala stará dřevěná okna. Vzhledem k požadavku na účinnou ochranu před případným přímým oslňujícím slunečním světlem byla dodavatelem osazena snížená okna, jež mají v horní části cca 25 cm vysoký plný profil jako přípravu pro venkovní žaluzie (viz následující fotografie).

Okna byla osazena přímo v horní části profilu okna. Ihned po instalaci pracovníci školy subjektivně zaznamenali zřetelné snížení množství denního světla. Došlo k pochybám, zda i po těchto úpravách budou splněny požadavky platných předpisů pro denní osvětlení učeben. Až v této fázi, a to považuji za velkou chybu, se kdosi začal zabývat myšlenkou na výpočet denního osvětlení.

Účelem provedených výpočtů bylo vzájemné porovnání tří variant bočních osvětlovacích otvorů (oken):

- stará dřevěná okna
- nová plastová okna bez přípravy pro venkovní žaluzie
- nová plastová, shora snížená okna s přípravou pro osazení venkovních žaluzií

Srovnávací výpočty byly provedeny při uvažování prázdných prostorů bez vnitřních zastiňujících překážek. Nebylo uvažováno ani vnější stínění. Představu o dispozici řešených prostorů lze získat z dále uvedených půdorysů a náčrtů.

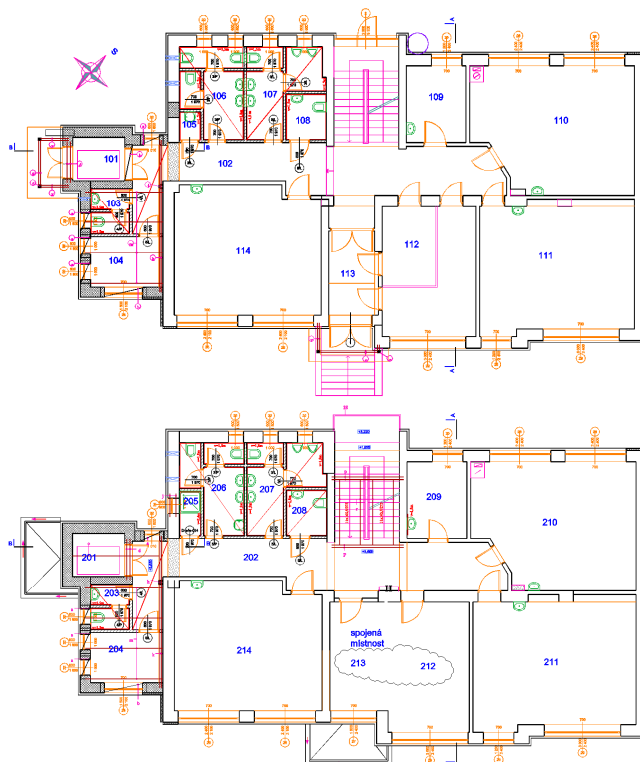
Obrázek 3: fotografie průčelí školy se starými dřevěnými okny



Obrázek 4: fotografie průčelí školy s novými okny



Obrázek 5: půdorys řešených učeben v přízemí a 1. patře



Vynechám obecné informace o prováděných výpočtech a uvedu pouze tabulku souhrnných výsledků (v souladu s [1] zaokrouhlené na jedno desetinné místo).

Tabulka 1 - souhrnné výsledky výpočtů denního osvětlení

souhrnné výsledky pro přízemí					
učebna č.	okna	$D_{min}$ [%]	$D_m$ [%]	$D_{max}$ [%]	$r$ [-]
110	stará	2,7	4,9	8,6	0,315
	nová	2,2	3,9	6,9	0,315
	snížená	1,9	3,4	6,3	0,299
111	stará	2,4	4,4	10,8	0,218
	nová	1,9	3,6	8,7	0,218
	snížená	1,6	3,1	7,9	0,207
114	stará	2,3	4,0	7,7	0,302
	nová	1,9	3,2	6,2	0,302
	snížená	1,5	2,7	5,5	0,265
souhrnné výsledky pro 1. patro					
učebna č.	okna	$D_{min}$ [%]	$D_m$ [%]	$D_{max}$ [%]	$r$ [-]
210	stará	2,7	4,9	8,6	0,317
	nová	2,2	3,9	6,9	0,317
	snížená	1,9	3,4	6,3	0,303
211	stará	2,3	4,4	10,8	0,210
	nová	1,8	3,6	8,7	0,210
	snížená	1,6	3,2	8,0	0,198
214	stará	2,3	4,0	7,8	0,301
	nová	1,9	3,2	6,3	0,301
	snížená	1,4	2,6	5,5	0,266

poznámky:

požadavek  $D_{min} \geq 1,5 \%$ ;  $r \geq 0,2$

okna:

stará = původní dřevěná

nová = plastová, bez přípravy pro venkovní žaluzie

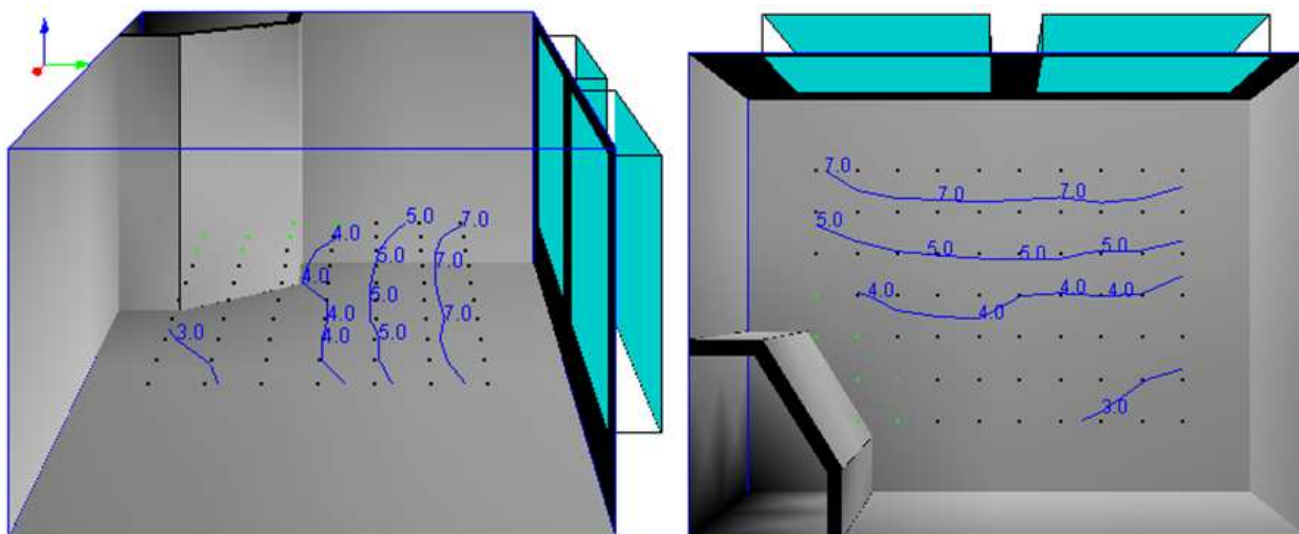
snížená = plastová, shora snížená, s přípravou pro venkovní žaluzie



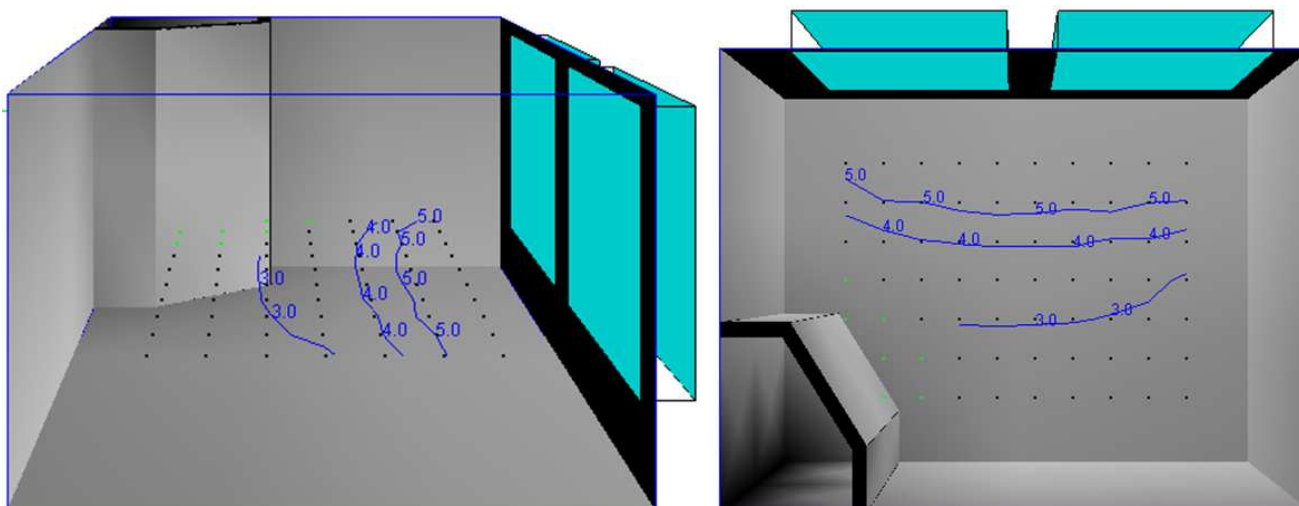
Ještě pár ilustračních obrázků grafického 3D modelování prostoru s izofotami, např. pro učebnu 110.

Obrázek 6: pohled do prostoru a půdorys učebny 110

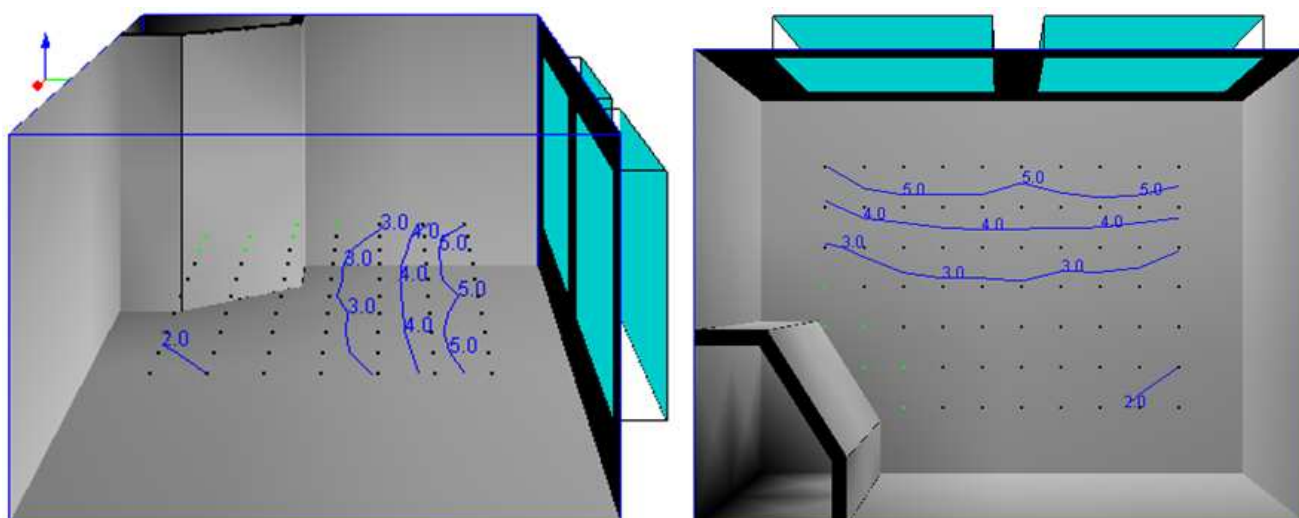
**stará - původní dřevěná okna**



**nová - plastová okna bez přípravy pro venkovní žaluzie**



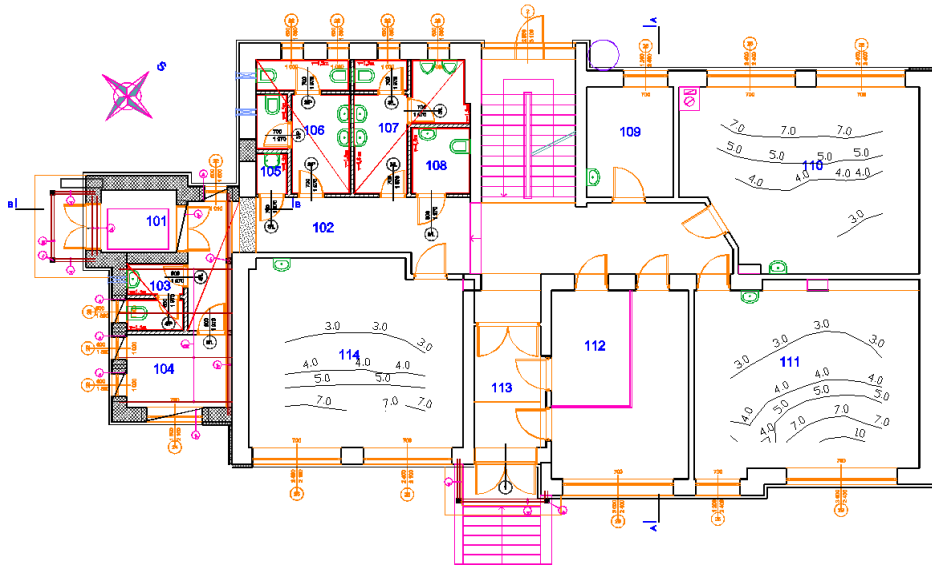
**snížená - plastová s přípravou pro venkovní žaluzie**



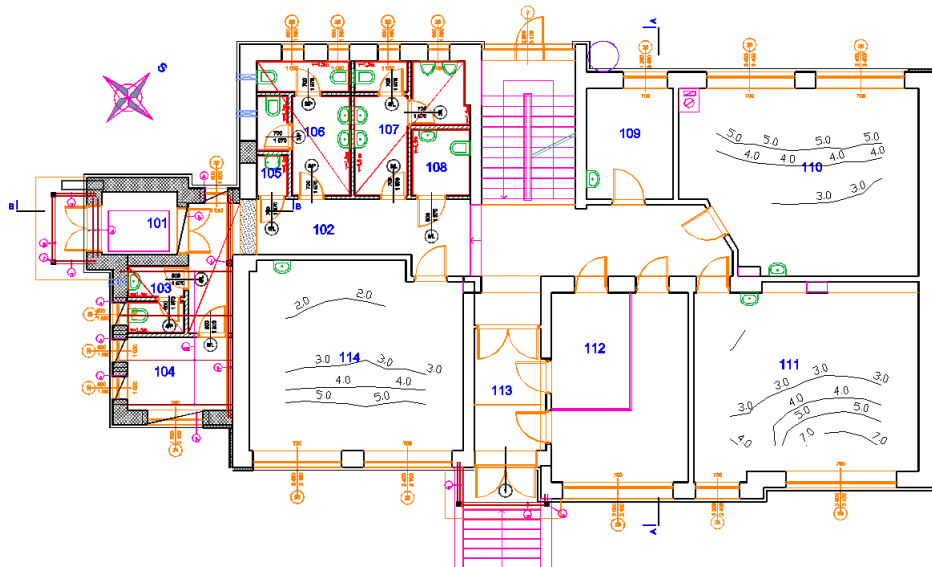
A zobrazení izofoty přímo ve stavebním půdorysu (uvádím zde pouze pro přízemí).

Obrázek 7: izofoty ve stavebním půdorysu.

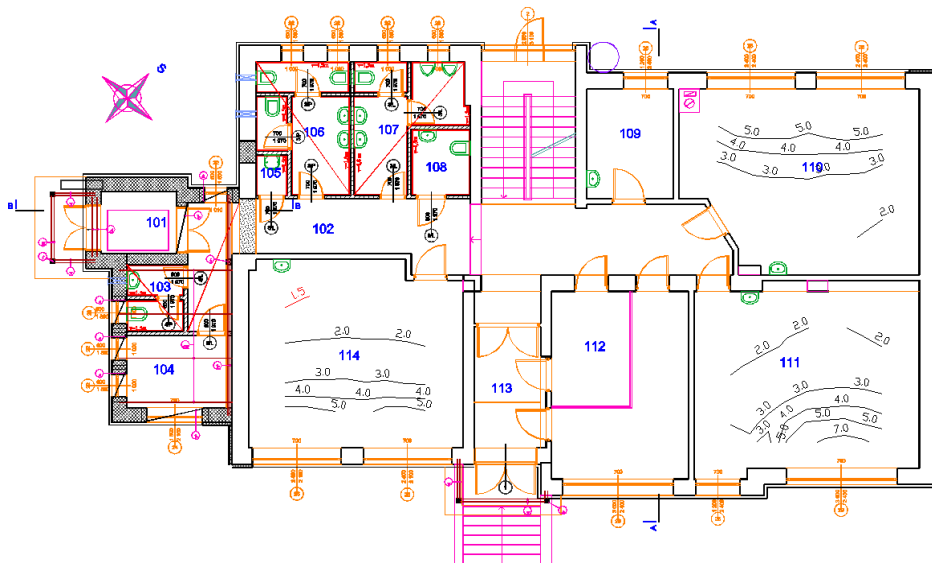
**stará - původní dřevěná okna**



**nová - plastová okna bez přípravy pro venkovní žaluzie**



**snížená - plastová s přípravou pro venkovní žaluzie**



## Závěrečné shrnutí

Z výše uvedených výsledků výpočtu činitele denní osvětlenosti je zřejmé, že i přes znatelný úbytek denního světla vlivem výměny oken, jsou požadavky platných předpisů na vyhovující denní osvětlení učeben splněny.

Vcelku pozitivní výsledek je však v tomto konkrétním případě způsoben velkorysími rozměry osvětlovacích otvorů, malou hloubkou místností a absencí vnějších zastíňujících překážek. Úbytek přibližně třetiny denního světla v prostoru však jistě není důvod k jásotu. Box pro umístění venkovních žaluzií nemusí být nutně instalován do okenního profilu, jsou i jiné možnosti. Snížení horní hrany prosklení je, obzvláště u hlubších prostorů, z hlediska denního světla velice nepřijemné.

Ve své praxi jsem se navíc setkal se znatelně horšími výsledky. Zůstaneme-li u učeben, pak znám případ, že po výměně oken se téměř polovina plochy místnosti dostala do pásma sdruženého osvětlení. Osvětlovací soustava umělého osvětlení pochopitelně nebyla tomuto faktu přízpůsobena.

Hygienická služba, pokud vůbec funguje, tak se zabývá spíše kontrolou nových staveb, nikoli rekonstrukcemi stávajících.

Obdobná situace je také u obytných budov. Každý majitel bytu v domě, kde se měnila okna a zateplovala fasáda, změnu pocítil. Vypínač umělého osvětlení večer zapíná dříve.

Domnívám se, že před každou rekonstrukcí by byla vhodná konzultace s odborníkem na denní osvětlení, jehož rady by mohly do značné míry omezit její negativní vlivy.

## Odkazy

- [1] ČSN 73 0580-1 - Denní osvětlení budov - Část 1: Základní požadavky

## Autor

**Autor:** Ing. Pavel Stupka, Zdravotní ústav se sídlem v Plzni, 17. listopadu 1, 301 00, Plzeň, E-mail: [pavel.stupka@zu.cz](mailto:pavel.stupka@zu.cz)

## Vývojové trendy LED svítidel pro veřejné osvětlení

**Abstrakt.** Na jaře roku 2011 byla ve městě Ostrava provedena analýza trhu z důvodu implementace nových technologií v rámci strategie provozu veřejného osvětlení. Tato analýza si kladla jako základní cíl odhad vývoje nových LED technologií a možnost jejich aplikovatelnosti v rámci veřejného osvětlení. Správce veřejného osvětlení tuto studii zadal z důvodu volby dlouhodobé strategie obnovy osvětlovacích soustav a s tím souvisejícím plánováním investic do zastaralých soustav veřejného osvětlení nebo navyšováním finančních objemů na údržbu osvětlovacích soustav stávajících. V příspěvku jsou rozebrány současné možnosti LED technologií v porovnání s klasickými svítidly osazenými vysokotlakými sodíkovými výbojkami, odhad vývoje technických parametrů LED a v neposlední řadě i cenový potenciál LED technologií.

**Klíčová slova:** veřejné osvětlení, svítidla LED, energetická náročnost, elektrická energie, regulace

### Úvod

Tento článek vznikl na základě studie, která byla zpracována pro správce VO v Ostravě a slouží jako podklad pro plán rozvoje VO v Ostravě. Cílem studie bylo posouzení aplikovatelnosti svítidel LED po technické a ekonomické stránce na veřejné komunikace. Současný problém, který však brání v jejich nasazování je poměrně vysoká pořizovací cena, která je stále v porovnání s klasickými svítidly se sodíkovou výbojkou podstatně vyšší.

Dalším problémem je správná volba chlazení LED modulů tak, aby nedocházelo ke zkracování doby života svítidel. Dále jsou uvedeny konkrétní výpočty s jednotlivými testovanými svítidly a také výpočet návratnosti a odhad současné ceny LED svítidel.

### Specifikace dostupných LED svítidel v roce 2011

Pro adekvátní porovnávání současných technologií s technologiemi LED byly vyspecifikovány na ostravských komunikacích hodnoty sledovaných parametrů pro nejčastěji používané vysokotlaké sodíkové výbojky o příkonu 70 W. Tento typ výbojek je osazen na více než 20-ti tisících světelných bodech (z celkového počtu 40-tisíc světelných bodů). Dominantní část těchto světelných bodů je na komunikacích zatříděných ve třídě S4. Je nutné upozornit i na fakt, že více než 50 % svítidel osazených těmito zdroji je již za doporučenou dobou života (cca 12 let), které je nutné bezpodmínečně vyměnit. Další nejvíce zastoupené třídy komunikací v Ostravě jsou třídy S5, ME3 a ME2. Ostatní třídy komunikací jsou zastoupeny pouze minimálně. Třída S5 je svými nároky na osvětlovací soustavu velmi podobná třídě S4 a dá se tedy realizovat obdobnými typy svítidel. Zatímco vyšší třídy typu ME již vyžadují vyšší příkony vysokotlakých sodíkových výbojek a tím pádem i vyšší příkony LED svítidel, které v současné době nejsou na trhu svítidel ještě zavedené.

V tabulce 1 jsou uvedeny průměrné hodnoty, získané na základě výše uvedených specifikací pro svítidla dostupná v roce 2011 a již renomovanými výrobci otestovaná na četných sériích instalovaných osvětlovacích soustav.

Tabulka 1. Porovnání průměrných parametrů LED svítidel a klasických svítidel se sodíkovou vysokotlakou výbojkou určených pro třídy komunikace S4 a S5

Parametr	Svítidlo LED	Klasické svítidlo - nové (50W sodíková výbojka)	Klasické svítidlo - staré (70W sodíková výbojka)
příkon svítidla	39W	66W	86W
účinnost svítidla	85%	75%	65%
měrný výkon	110 lm/W	80 lm/W	95 lm/W
rozměr stožárů VO	40m	40m	30m
doba života svítidla / zdroje	12let / 12let	12let / 4roky	0let / 4roky
údržba	čištění 1 x za 4roky	čištění a výměna zdroje 1 x za 4roky	čištění a výměna zdroje 1 x za 4roky
udržovací čísel	0,8	0,8	0,7
cena	8000Kč	4000Kč	0Kč
index podání barev	70 až 80	25	25
teplota chromatičnosti	4000K	2200K	2200K
regulace	0 až 100%	0 a 50 až 100%	0 a 50 až 100%

## **Ekonomické porovnání LED svítidel dostupných na trhu v roce 2011**

### **Typová komunikace**

Jako podklad pro možné rozhodnutí o celé osvětlovací soustavě a to nejen na úrovni svítidel je nutné stanovit nejčastěji se vyskytující typ komunikace. V Ostravě je nejčastěji zastoupena komunikace zatříděná do třídy S4 dle ČSN EN 13201-2 (Osvětlení pozemních komunikací – Část 2: Požadavky) a velice významný je i počet světelných bodů položených na této třídě, která má následující parametry.

Tabulka 2. Parametry vzorové komunikace S4

Parametr	Specifikace
šířka komunikace	7m
jízdní pruhy	2
osvětlovací soustava	jednostranná
výška světelného bodu	8m
odsazení svítidla od vozovky	0,5m
požadovaná udržovaná osvětlenost	5lx
minimální požadovaná osvětlenost	11lx
rozteč svítidel	30m
udržovací činitel	0,8

Rozteč 30m je v současnosti nejrozšířenější na této třídě komunikace. Nicméně při kompletní rekonstrukci lze volit v rámci Ostravy rozteče blíží se až k40m. Tyto rozteče jsou u nových technologiích rozumným kompromisem mezi možnostmi distribuce světelného toku, mírou oslnění, členitostí terénu a výskytem překážek (vzrostlá zeleň, křižovatky či budovy).

### **Jednotlivé vypočítané parametry porovnaných svítidel**

V následující tabulce je uveden příklad světelně-technického výpočtu LED svítidel čtyř renomovaných výrobců, která jsou již delší dobu na trhu a jejich funkční stabilita je na vysoké úrovni.

Z výsledků provedených výpočtů vyplývá, že pro 40m rozteč sloupů veřejného osvětlení jsou LED svítidla plně dostačující a splňují všechny normou stanovené požadavky. Průměrná udržovaná osvětlenost a minimální osvětlenost na komunikaci mají pro 40m rozteč dostatečnou rezervu a při uvážení reálných podmínek (30m rozteč) budou tyto parametry vycházet ještě příznivěji. Rovnoměrnost osvětlení komunikace pomocí LED svítidel je daleko lepší a blíží se hodnotě 0,5. Příkony použitých LED svítidel se pohybují kolem hranice 50W, oproti příkonu 83W svítidla s vysokotlakou sodíkovou výbojkou je to značný pokles a možnost úspor. Teplota chromatičnosti uvedených LED svítidel je kolem 4000K, což je vhodný kompromis z hlediska průměrné hodnoty měrného výkonu a pozitivním vnímáním produkovaného světla obyvatelstvem.

V posledním sloupci jsou uvedeny hodnoty svítidla s vysokotlakou sodíkovou výbojkou jako

zástupce nejčastěji používaného svítidla na ostravských komunikacích pro třídy S4 a S5.

Tabulka 3. Světelně-technické výpočty vybraných svítidel LED a klasického svítidla se sodíkovou výbojkou

Parametry (40m rozteč sloupů VO)	Svítidlo klasické	Svítidlo LED 4	Svítidlo LED 3	Svítidlo LED 2	Svítidlo LED 1	Parametry (40m rozteč sloupů VO)
průměr	71x	5,31x	5,61x	5,91x	5,11x	průměr
min	2,21x	2,21x	1,91x	2,61x	2,71x	min
min/průměr	0,32	0,42	0,34	0,44	0,53	min/průměr
příkon svítidla	83W	63W	50W	54W	45W	příkon svítidla
světelný tok svítidla	6600lm	5860lm	5040lm	5400lm	4530lm	světelný tok svítidla
teplota chromatičnosti	2200K	3500K	3500K	4000K	6000K	teplota chromatičnosti

### **Ekonomická rozvaha a návratnost**

Tabulka 4 ukazuje vzájemné porovnání investičních a provozních nákladů svítidla LED a klasického svítidla, z níže uvedeného je zřejmé, že po 12 letech (životnost svítidel odpovídá 50 000h) jsou celkové náklady téměř totožné. Největší rozdíl je v počáteční investici na nákup svítidel, kde svítidlo LED má dvojnásobnou pořizovací cenu. Avšak tato cena je vykompenzována nízkou spotřebou elektrické energie LED svítidla oproti svítidlu ze sodíkovou výbojkou. Postupně se tak vrátí počáteční investice do LED svítidla. Cena elektrické energie je ve výpočtu brána pro zjednodušení (a její složitý odhad do budoucna) jako konstantní po dobu 12 let, což samozřejmě nebude platit když uvážíme současný trend růstu elektrické energie. Při reálném každoročním zvyšování této ceny to bude přispívat k snižování nákladů na provoz LED svítidla a to se bude stávat nadále více a více perspektivnější.

Tabulka 4. Souhrn celkových nákladů na LED svítidlo a klasické svítidlo a vzájemné porovnání

Parametry	Svítidlo LED	Svítidlo klasické	Rozdíl
Průměrný příkon svítidla (kW)	0,050	0,083	0,033
Roční doba provozu (h)	4150	4150	-
Roční spotřeba svítidla (kWh)	207,5	344,45	136,95
Současná cena el. energie za kWh (Kč)	2,01	2,01	-
Cena za roční spotřebu el. energie (Kč)	417,5	693,0	275,5
Průměrná cena svítidla (Kč)	8 000	4 000	-4000
Údržba svítidla za 12 let (Kč)	900	1 566	666
Celkové náklady za dobu života svítidla (Kč)	8 900	5 566	-3334
<b>Náklady na svítidlo za 12 let (Kč)</b>	<b>13 910</b>	<b>13 682</b>	<b>-27</b>

\* pro zjednodušení jsou uvažovány současné ceny práce a elektrické energie

## Závěr

Závěrem lze říci, že na trhu dostupná LED svítidla jsou schopná na nižších třídách komunikací konkurovat klasickým svítidlům s vysokotlakou sodíkovou výbojkou, která jsou dosud majoritně používána. Uvedené výpočty pro LED svítidla vybraná od renomovaných firem a dostatečně vyzkoušená v praxi v plné míře splňují požadavky normy ČSN EN 13201-2 pro třídu S4. Původní zpracovaná studie posuzuje možnosti využití LED svítidel I pro jiné třídy komunikace.

U tříd komunikací s nižšími požadavky na osvětlenost, tzn. třídy S4 a S5 mohou již LED svítidla konkurovat klasickým svítidlům v tom, že za dobu jejich života (12 let) mají téměř totožné náklady (počáteční investice, údržba, elektrické

energie) v porovnání se svítidlem s vysokotlakou sodíkovou výbojkou.

Je třeba poznamenat, že uvedená cena LED svítidla je vztažena na větší objem odebraných svítidel (cena u jednotlivých kusů se může značně měnit) a je daná pro velkého správce osvětlovací soustavy.

Pro třídy komunikace s vyššími požadavky na osvětlenost než má třída S4, to jsou zejména třídy řady ME, nejsou LED svítidla ještě na trhu. Ukončení vývoje LED svítidel se odhaduje za cca 10 let, kdy se má dosáhnout měrného výkonu 200lm/W. Po tomto stádiu se dá očekávat cenová konkurence schopnost, ale i výkonnostní nahraditelnost svítidel osazených až 400W vysokotlakou sodíkovou výbojkou.

## Poděkování

Tento článek byl podpořen projektem "Optimalizace spotřeby elektrické energie využitím moderních světelných zdrojů". Číslo projektu SP 2011/135.

## REFERENCE

- [1] ČSN EN 13201-2 - Osvětlení pozemních komunikací – Část 2: Požadavky.
- [2] Sokanský, K., Novák, T., Šnobl, J.: Využití nových technologií ve veřejném osvětlení města Ostrava, studie pro Ostravské komunikace a.s., Ostrava 2011.
- [3] Sokanský, K., Novák, T., Šnobl, J.: Hodnocení VO z pohledu výkonnostních parametrů, Ve sborníku konference Kurz osvětlovací techniky XXVIII, Dlouhé stráně 2010.
- [4] CIE Pub.115 Berlin Editorial Version II (draft) (2007), Recommendations for the Lighting of Roads for Motor and Pedestrian Traffic.

*Authors: Ing Tomáš Novák, Ph.D.*

*VŠB-TU Ostrava, Department of Electrical Engineering - 420, 17. listopadu 15, 708 33, Ostrava - Poruba, Czech Republic, E-mail: [tomas.novak1@vsb.cz](mailto:tomas.novak1@vsb.cz).*

*Ing. Jaroslav Šnobl,*

*VŠB-TU Ostrava, Department of Electrical Power Engineering - 410, 17. listopadu 15, 708 33, Ostrava - Poruba, Czech Republic E-mail: [jaroslav.snobl@vsb.cz](mailto:jaroslav.snobl@vsb.cz);*

*prof. Ing Karel Sokanský, 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](mailto:karel.sokansky@vsb.cz).*

## Byty z hlediska předpisů a pohledu

**Abstract.** Přednáška bude pojednávat o problematice denního osvětlení i v souvislostech s výměnou oken a zasklívání balkonů a lodží. Spolu s celkovým zateplením budov mají tyto stavební úpravy také značný vliv na kvalitu vnitřního prostředí bytů z hlediska tepelně vlhkostrních podmínek i obsahu chemických látek v ovzduší, dochází k omezení přirozeného větrání bytů a k velkým zdravotním problémům v případech nedostatečného větrání prostor s plynovými spotřebiči typu A a B. Budou uvedeny právně závazné požadavky i doporučení norem na větrání bytů. Z hlediska umělého osvětlení budou porovnány požadavky norem - dříve a dnes, s představami architektů a jejich různými doporučeními. Celá problematika bude doplněna množstvím obrázků.

### Keywords:

### Introduction

Každý žijeme v nějakém bytě, ať už v rodinném domku, bytovce nebo paneláku. Všechny objekty časem stárnou. Zvyšují se požadavky na úspory energií a proto je potřeba rekonstruovat. Provádí se rekonstrukce jednotlivých bytů, ale i celých domů. V současné době je nejčastější výměna oken, zateplení fasád, zasklívání balkonů ale i rekonstrukce bytových jader. Jak to může ovlivnit bydlení v takovém bytě?

Z hlediska stavebních parametrů se byty zabývá **stavební zákon 183/2006 Sb., vyhláška o technických požadavcích na stavby č. 268/2009 Sb.**, z hlediska mikroklimatu a chemie jsou použitelné také údaje ve **vyhlášce 6/2002 Sb.** kterou se stanoví hyg. limity chem., fyzikálních a biol. ukazatelů pro vnitřní prostředí bytových místností některých staveb.

### Požadavky vyhlášky o technických požadavcích na stavby č. 268/2009 Sb.

V § 3 je definováno, co je byt, místnost a obytná místnost

### § 10 udává všeobecné požadavky pro ochranu zdraví, zdravých životních podmínek a životního prostředí

(1) Stavba musí být navržena a provedena tak, aby neohrožovala život a zdraví osob nebo zvířat, bezpečnost, zdravé životní podmínky jejich uživatelů ani uživatelů okolních staveb a aby neohrožovala životní prostředí nad limity obsažené v jiných právních předpisech, zejména následkem:

- h) výskytu vlhkosti ve stavebních konstrukcích nebo na povrchu stavebních konstrukcí uvnitř staveb,
- i) nedostatečných tepelně izolačních a zvukoizolačních vlastností podle charakteru užívaných místností,
- j) nevhodných světelně technických vlastností.

(5) Světla výška místností musí být alespoň

- a) 2 600 mm v obytných a bytových místnostech,
- b) 2 300 mm v obytných a bytových místnostech v podkroví; místnosti se zkosenými stropy musí mít tuto světlovou výšku nejméně nad polovinou podlahové plochy místnosti...

§ 11

### Denní a umělé osvětlení, větrání a vytápění

(1) U nově navrhovaných budov musí návrh osvětlení v souladu s normovými hodnotami řešit denní, umělé i případně sdružené osvětlení, a posuzovat je společně s vytápěním, chlazením, větráním, ochranou proti hluku, prosluněním, včetně vlivu okolních budov a naopak vlivu navrhované stavby na stávající zástavbu.

(2) Obytné místnosti musí mít zajištěno denní osvětlení v souladu s normovými hodnotami.

(3) Obytné místnosti musí mít zajištěno dostatečné větrání čistým vzduchem a vytápění s možností regulace tepla.

(4) V bytových místnostech musí být navrženo denní, umělé a případně sdružené osvětlení v závislosti na jejich funkčním využití a na délce pobytu osob v souladu s normovými hodnotami. Pobytové místnosti musí mít zajištěno dostatečné přirozené nebo nucené větrání a musí být dostatečně vytápěny s možností regulace tepla.

(5) Záchody, prostory pro osobní hygienu a prostory pro vaření musí mít umělé osvětlení v souladu s normovými hodnotami, musí být účinně odvětrány v souladu s normovými hodnotami a musí být dostatečně vytápěny s možností regulace tepla. (*!!! dle ČSN 73 4301 Z1 požadováno 200 lx ve výšce 0,85 m*)

(7) Komunikační prostory musí mít umělé osvětlení v souladu s normovými hodnotami a musí být odvětrány.

§ 12

(4) **Zastínění** stávajících bytových místností novými stavbami nebo jejich novými částmi se posuzuje podle činitele denní osvětlenosti roviny zasklení oken. Zastínění stávajících vnitřních prostorů se považuje za vyhovující, jsou-li dodrženy normové hodnoty. Zastínění nově navrhovaných bytových místností se posuzuje podle činitele denní osvětlenosti na srovnávací rovině uvnitř těchto místností v souladu s normovými hodnotami. Zastínění stávajících i nových bytů se kromě výše uvedeného posuzuje podle oslunění v souladu s normovými hodnotami.

§ 13

### Proslunění

(1) Prosluněny musí být obytné místnosti a ty bytové místnosti, které to svým charakterem a způsobem využití vyžadují. Přitom musí být zajištěna zraková pohoda a ochrana před osluněním, zejména v bytových místnostech určených pro zrakově náročné činnosti.

(2) Všechny byty musí být prosluněny. Byt je prosluněn, je-li součet podlahových ploch jeho prosluněných obytných místností roven nejméně jedné třetině součtu podlahových ploch všech jeho obytných místností. Při posuzování proslunění se vychází z normových hodnot.

(3) U samostatně stojících rodinných domů, dvojdomů a koncových řadových domů má být součet podlahových ploch prosluněných obytných místností roven nejméně jedné polovině součtu podlahových ploch všech obytných místností bytu.

§ 14

### Ochrana proti hluku a vibracím

## § 16

### Uspora energie a tepelná ochrana

(1) Budovy musí být navrženy a provedeny tak, aby spotřeba energie na jejich vytápění, větrání, umělé osvětlení, popřípadě klimatizaci byla co nejnižší. Energetickou náročnost je třeba ovlivňovat tvarem budovy, jejím dispozičním řešením, orientací a velikostí výplní otvorů, použitými materiály a výrobky a systémy technického zařízení budov. Při návrhu stavby se musí respektovat klimatické podmínky lokality.

(2) Budovy s požadovaným stavem vnitřního prostředí musí být navrženy a provedeny tak, aby byly dlouhodobě po dobu jejich užívání zaručeny požadavky na jejich tepelnou ochranu splňující

a) tepelnou pohodu uživatelů,

d) nízkou energetickou náročnost budov

(3) Požadavky na tepelně technické vlastnosti konstrukcí a budov jsou dány normovými hodnotami.

## § 26

### Výplně otvorů

(3) Akustické vlastnosti výplní otvorů musí zajistit dostatečnou ochranu před hlukem ve všech chráněných vnitřních prostorech stavby současně za podmínek minimální výměny vzduchu v době pobytu lidí  $25 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$  /osobu nebo výměny vzduchu v místnosti nejméně jedenkrát za 2 hodiny. Dále musí být dodržena hodnota maximálně přípustné koncentrace oxidu uhličitého 1000 ppm, která slouží jako ukazatel intenzity a kvality větrání.

*Tato část směřuje dohromady požadavky na vlastnosti oken spolu současně při současném dodržení požadavků na větrání a je v praxi zcela zavádějící. V připravované novelizaci vyhlášky budou požadavky na větrání přesunuty do § 11 a limitní koncentrace CO<sub>2</sub> se zvyšuje na 150 ppm.*

## § 39

### Bytové domy

(3) Prostor hlavního domovního schodiště bytového domu musí mít denní osvětlení.

## § 40

### Rodinné domy a stavby pro rodinnou rekreaci

(2) Světlá výška obytných místností v rodinném domě a pobytových místností ve stavbě pro rodinnou rekreaci musí být nejméně 2 500 mm, v podkroví 2 300 mm. V obytných a pobytových místnostech se šikmým stropem musí být nejmenší světlá výška dosažena alespoň nad polovinou podlahové plochy místnosti.

Všeobecně je známo jaký vliv má osvětlení na psychický i fyzický stav člověka. Při projektování vnitřních prostorů je proto důležité uživatelům vytvořit přiměřené světelné podmínky. Ty vyplývají z požadavků na zrakový úkol a zrakovou pohodu. Zraková pohoda není však závislá jen na intenzitě světla, ale i na jeho kvalitě nebo barevném řešení interiéru.

### Požadavky na denní osvětlení obytných budov jsou stanoveny normou ČSN 73 0580-2

Průměrná hodnota č.d.o., pokud je požadována ČSN 73 0580-1, je nejméně 2 %.

V obytných místnostech (3.2.2), ve kterých se nepožaduje splnění průměrné hodnoty č.d.o. podle ČSN 73 0580-1, musí být ve 2 kontrolních bodech v ½ hloubky místnosti, ale nejdále 3 m od okna, vzdálených 1m od vnitřních povrchů bočních stěn, hodnota č.d.o. nejméně 0,7 % a prům.

hodnota z obou těchto bodů, nejméně 0,9 %. Jsou-li okna ve dvou stýkajících se stěnách, postačí, je-li tento požadavek splněn alespoň u jedné z dvojic kontrolních bodů.

### Obecné požadavky stanovuje norma ČSN 73 0580-1.

V nově navrhovaných budovách musí mít vždy vyhovující denní osvětlení (4.2.2)

a) obytné místnosti bytů

Dle kapitoly 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 oslňování. Zvláště se musí zabránit oslňování odrazem světla od lesklých povrchů v dolní části zorného pole, na které je lidský zrak zvláště citlivý (např. lesklá pracovní plocha, lesklá podlaha apod.).

Barvy povrchů interiéru mohou významně ovlivnit ráz místnosti, ale i zrakovou pohodu. Obecně platí, že tmavé a syté barvy prostor zmenší. Nejsvětlejší barvy patří na strop a stěny kolem oken. Tmavá barva okolo oken způsobí velký kontrast, který může významně unavovat zrak.

Norma doporučuje (4.6.3) hodnoty činitele odrazu světla hlavních povrchů vnitřních prostorů strop s činitelem odrazu světla 0,7

a) stěny s činitelem odrazu světla 0,5

b) plochy bezprostředně sousedící s osvětlovacími otvory (okenní příčle, rámy, parapety, pilíře, okenní stěny při bočním osvětlení...) s činitelem odrazu světla nejméně 0,7

c) 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.

Kolorita povrchů (4.6.4) 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).

Vnitřní povrchy (4.9.2) clon, žaluzií, rolet a závěsů mají mít činitel odrazu světla přibližně tak velký, jako okolní stěny.

### Požadavky na umělé osvětlení bytů obsahuje ČSN 73 4301 Změna Z1 - Obytné budovy

B.2.1 Osvětlovací soustavy ve vnitřních prostorech bytů musí být variabilní a umožňovat více kombinací pro různé aktivní činnosti i pro pasivní odpočinek. Osvětlovací soustavy v jedné místnosti by měly zajistit vyhovující osvětlení pro časté případy, kdy uživatelé vykonávají současně odlišné činnosti a potřebují každý jiné osvětlení, přičemž nesmí jeden druhému svým osvětlením rušit (úroveň osvětlení, jasy a úhly clonění svítidel a usměrnění světelného toku.).



Tabulka B.1 – Nejnižší požadované hodnoty  $\bar{E}_m$ ,  $UGR_L$  a  $R_a$

Prostor	Udržovaná osvětlenost	Index oslnění	Index podání barev	Výška vodorovné srovnávací roviny nad podlahou
	$\bar{E}_m$ (lx)	$UGR_L$	$R_a$	(m)
1 Domovní dvory, atria	10	–	–	0
2 Domovní, méně frekventované komunikace	20	25	60	0
3 Vnitřní části domovních vstupů, vstupy do výtahů u objektů s malou frekvencí	30	25	60	0
4 Na místě se jménem uživatele bytu, na zvonkovém tablu a na vstupu do bytu	30	–	–	–
5 Celkové osvětlení obytné místnosti (které se ještě doplňuje místním osvětlením)	50	22	80	0,85
6 Komunikace v bytě	75	22	80	0
7 Obytné kuchyně, šatny, spíže	100	22	80	0,85
8 Sušárny, úschovny kočárků a kol	100	28	60	0,85
9 Domovní, frekventované komunikace včetně vnitřních částí vstupů a vstupy do výtahu – zvýšený pohyb v objektu nebydlicích osob	100	25	60	0
10 Domovní prádelny	150	25	80	0,85
11 Koupelny, WC	200	22	80	0,85
12 Domácí dílny, místnost pro domácí práce, mandl	300	22	80	0,85
13 Kuchyňská pracovní linka, varná deska sporáku	300	22	90	–

**POZNÁMKY**

- 1) Uvedená výška vodorovné srovnávací roviny nad podlahou musí být upravena, je-li činnost vykonávána v jiné výšce (například nižší stoly pro děti a podobně).
- 2) Uživatelé bytů si v rozhodující většině případů zřizují, udržují a užívají celkové i místní osvětlení obytných místností sami podle vlastní úvahy. Pro svítidla celkového osvětlení jsou zpravidla podle projektu rozmístěny vývody světelného obvodu, pro místní osvětlení se využívají zásuvky. Osvětlení ostatních prostorů bytu (příslušenství, hygienická zařízení atd.) se navrhuje v projektu. Podobně je tomu je u domovních komunikací a dalších společných prostorů.

Také v bytě jsou místa, která odpovídají svými požadavky na vidění zrakově náročným pracovištím. Ta se řeší dle ČSN EN 12464-1 Světlo a osvětlení - Osvětlení pracovních prostorů - Část 1: Vnitřní pracovní prostory.

### Výměna oken

Co se stane, když u bytu provedeme výměnu starých dřevěných oken za nová plastová nebo eurookna? Pokud chceme zachovat vzhled okna (příčky, barva rámu), což nám nařizují předpisy (Stavební zákon §103 Stavby, terénní úpravy, zařízení a udržovací práce nevyžadující stavební povolení ani ohlášení e) udržovací práce, jejichž provedení nemůže negativně ovlivnit ... vzhled stavby)

) o zachování rázu domu, dochází ke snížení činitele denní osvětlenosti. Nové rámy jsou totiž širší. Z toho důvodu se sníží činitel prosklení. Pokud je k tomu zateplena fasáda, situace se ještě zhorší. Venkovní stěna nabude o 12 až 15 cm, tzn. zvětší se tloušťka zdi. Také na ostění je přidána izolační vrstva. Okenní otvor je hlubší a menší. Činitel denní osvětlenosti se opět sníží. Byty, které již při projektování měly č.d.o. 1,5% hraničně splněn, již splňovat tento požadavek nebudou.



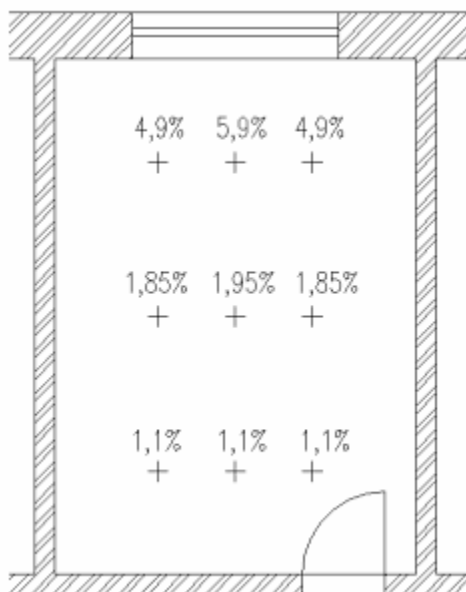
obr 1 Výměna oken

## Stromy

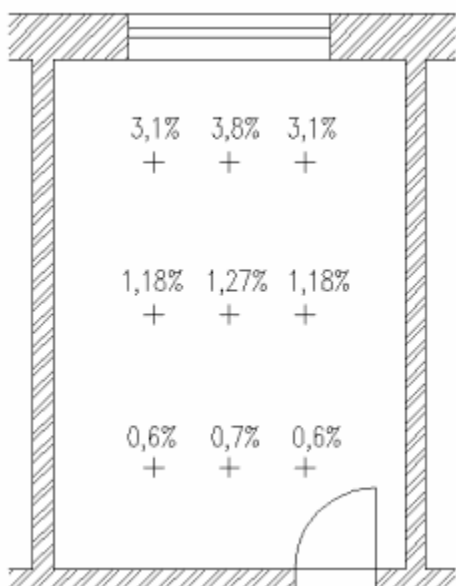
Častým problémem na našich sídlištích jsou dřeviny vysazované „v akci Z“. Ale i u rodinných domků si majitelé počínali podobně. Získané dřeviny se sázeli často před okna. Nikdo však nepočítal s tím, že tyto stromy vyrostou. Proto je důležité dodržovat zásadu: **vzdálenost sázené dřeviny od obvodové zdi budov musí být stejná, jako je její předpokládaná maximální výška.** (Vyhláška pro školy č. 410/2005 Sb. o hygienických požadavcích na prostory a provoz zařízení a provozoven pro výchovu a vzdělávání dětí a mladistvých §3 odst.(4)). Toto by mělo platit obecně u všech staveb s místnostmi s trvalým pobytem osob. Pokud není tato vzdálenost dodržena dochází ke snížení denního osvětlení. To má vliv ale i na vlhkost v bytě, případně i vznik plísní.

## Balkón

Úbytek č.d.o. u místnosti s balkónem oproti místnosti pouze s oknem je vidět z obrázku č. 2 a č. 3.



Obr. 2 - Hodnoty č.d.o. - bez vnějšího stínění



Obr. 3 - hodnoty č.d.o. - s vlivem balkónové desky

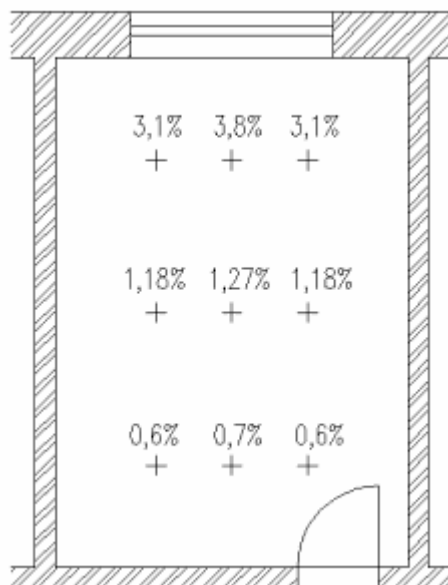
Vlivem množství venkovních stínících překážek, balkónů či lodžii není projektant schopen navrhnout obytnou místnost

s vyhovujícím denním osvětlením v celé ploše. Řeší se návrhem rozměrných osvětlovacích otvorů v kombinaci se zkracováním obytné části místnosti pomocí vestavěných skříní, šaten a úložných nebo komunikačních prostorů. Velikost vnější odražené složky činitele denní osvětlenosti je závislá na barvě a odstínu a na intenzitě jejího osvětlení denním světlem.

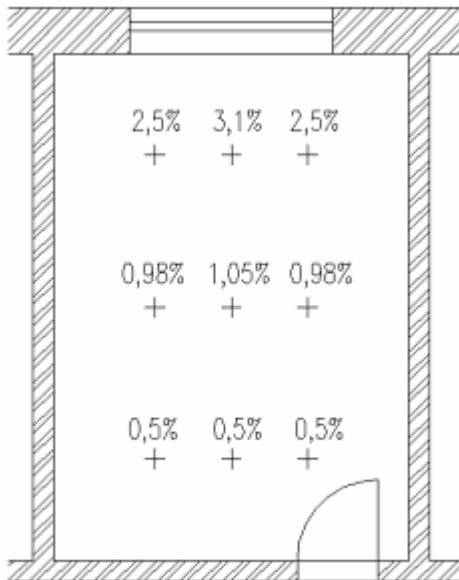
Proto není lhostejné, v jakých barvách bude provedena fasáda. Z hlediska odraznosti je nejvýhodnější použití bílých a velmi světlých nátěrů. Například v současné době tak oblíbená červená či oranžová barva vykazuje činitel odrazu světla jen v rozmezí 0,1 - 0,4.

Rozdíl mezi tmavě a světle vymalovanou lodžii může tvořit až cca 30% hodnoty činitele denní osvětlenosti. To však neplatí obecně, vždy záleží na celkovém uspořádání místnosti a venkovních stínících překážkách.

V dnešní době se často setkáváme u panelových domů se zasklíváním lodžii. To přináší celou řadu výhod, ale i nevýhod. Zasklením se sníží množství denního světla pronikajícího do interiéru. Objekty jsou navrhovány tak, že jen těsně vyhovují požadavkům na denní osvětlení. Tím, že před stávající okenní konstrukci předsadíme ještě další skleněnou stěnu, dojde ke snížení denního osvětlení v místnosti za lodžii o cca 20%. Může se tak stát, že místnost, která do té doby byla z hlediska úrovně denního osvětlení vyhovující, již po montáži zasklení požadavky na hodnoty činitele denní osvětlenosti nesplní. Porovnání hodnot činitele denní osvětlenosti v místnosti se zasklenou lodžii a s lodžii bez zasklení je patrné na následujících obrázcích č. 4 a č. 5.



Obr. 4 - Hodnoty č.d.o. v místnosti s lodžii bez zasklení



Obr. 5 - Hodnoty č.d.o. v místnosti se zasklenou lodžii

Zasklením se významně mění vzhled panelového domu. Je nutné proto zajít na stavební úřad, kde někdy stačí ohlášení, jindy musíme zažádat o stavební povolení. Se zasklením musí souhlasit vlastník domu nebo bytové družstvo. Tím se vyhneme pokutě za neoprávněné zasklení a také negativní působení chaotického zasklívání lodžii a balkonů. Nutno posoudit statické zatížení, zatížení větrem (zvláště ve vyšších patrech. Železobetonová konstrukce není navržena ani udělána tak, aby odolávala vysoké vlhkosti vzduchu. V případě pozdější celkové rekonstrukce a zateplení domu, hrozí nutnost demontáže.

Pokud místnost přiléhající k balkónu nebo lodžii je osvětlena denním světlením jen na přípustnou hodnotu, zasklením se činitel denní osvětlenosti značně sníží.

Hodnotíme-li kvalitu vnitřního prostředí v bytech, zajímají nás nejen osvětlení a oslunění ale i tepelně vlhkostní podmínky, koncentrace chemických látek, pachy a oděry.

Hovoříme-li o škodlivinách ve vnitřním prostředí, které mohou mít nepříznivý vliv na zdravotní stav člověka nebo jenom na pocit nepohody, máme na mysli: domácí prach (plísň, roztoci, pyly) chlupy zvířat, hmyz, vlákna z textilií, oděry (deodoranty, čisticí prostředky, kouř, kosmetické přípravky, osvěžovače vzduchu, barvy, laky, koberce), formaldehydy (stavební materiály, nábytek, čisticí prostředky, kouření),  $\text{No}_x$ ,  $\text{CO}_2$ , radon...

Optimální relativní vlhkost vzduchu ve vnitřním prostředí je 40 až 45 % při teplotách 20 až 24 °C. Vlhkost by neměla dlouhodobě překračovat 60 %, kdy už dochází k vytváření vhodných podmínek pro růst plísní a mikroorganismů. Nadměrnou vlhkost je třeba z prostředí vždy odvést dostatečným větráním, spolu s řadou dalších chemických látek, pachů a oděrů, které se v interiéru vyskytují. Jednou

z chemických látek, kterou v prostoru nevnímáme je oxid uhličitý  $\text{CO}_2$ .

Jeho zdrojem je především člověk:

#### Emise metabolického $\text{CO}_2$

$\text{CO}_2$ bdělá osoba	16 l/h na osobu
$\text{CO}_2$ spící osoba	10 l/h na osobu

Účinky $\text{CO}_2$ na lidský organismus	
cca 350 ppm	úroveň venkovního prostředí
do 1000 ppm	doporučená úroveň $\text{CO}_2$ ve vnitřních prostorách
1200-1500 ppm	doporučená maximální úroveň $\text{CO}_2$ ve vnitřních prostorách
1000-2000 ppm	nastávají příznaky únavy a snižování koncentrace
2000-5000 ppm	nastávají možné bolesti hlavy
5000 ppm	maximální bezpečná koncentrace bez zdravotních rizik
> 5000 ppm	nevolnost a zvýšený tep
> 15000 ppm	dýchací potíže
> 40000 ppm	možná ztráta vědomí

#### Základní požadavky na koncentraci $\text{CO}_2$ ve vnitřním prostoru:

Stát	Max. koncentrace $\text{CO}_2$
<b>Finsko</b>	Venkovní koncentrace + 1500 ppm, řízené větrání 800 ppm
<b>Německo</b>	1000 ppm
<b>Velká Británie</b>	HSE <5000 ppm, CIBSE <1000 ppm
<b>Norsko</b>	1000 ppm
<b>Estonsko</b>	1000 - 1500 ppm
<b>ASHRAE Standard 62</b>	1000 ppm

Hodnota 1 500 ppm  $\text{CO}_2$  v místnosti je obecně ještě akceptovatelná hladina plynu ve vnitřním prostředí budov. Jsou k dispozici výsledky řady měření koncentrace  $\text{CO}_2$  ve školách a bytech (Státní zdravotní ústav, Ekowatt, Atria), která vykazují vysokou četnost více než dvojnásobného překročení stanovených limitů. V bytech dochází k významnému překročení limitů zejména v ložnicích v nočních hodinách, výjimkou nejsou hodnoty přesahující 2 500 ppm. Ve školách k překročení limitů dochází již po krátké době po zahájení vyučování, výjimkou nejsou trojnásobná překročení limitů.

Limitní koncentraci  $\text{CO}_2$  1000 ppm = 0,1 obj. % (v připravované novelizaci se tento limit zvyšuje na 1500 ppm) pro pobytové prostory a byty stanovuje vyhláška o technických požadavcích na stavby (č. 268/2009 Sb.).

#### Naměřené koncentrace ve vybraných prostorách (zdroj www.TZB-info)

	Ráno	Odpoledne
Redakce I.	981	2 154
Redakce II.	866	1 803
Redakce III.	1 020	2 316
Mateřská škola	764	1 348
	Před lekcí spinningu	Po lekcí spinningu

Fitness centrum	785	2 026
	Před 1. vyuč.hodinou	Po 3. vyuč. hodině
Učebna střední školy	933	2 475
	Před spaním	Ráno
Ložnice v běžném bytě	845	2 003

### Větrání

V našich bytech stále převažuje přirozené větrání, tj. větrání okny, kdy základem je průnik vzduchu netěsnostmi oken a samozřejmě je třeba čas od času okno otevřít a „pořádně vyvětrat“. A tady je velký problém vycházející ze snahy maximálně šetřit energii, tj. omezovat tepelné ztráty, které přirozeným větráním vznikají. Proto se vedle zateplování fasád utěsňují okna, nebo se osazují zcela nová těsná, kde se infiltrace blíží nule a přirozené větrání přestává být funkční.

Současný vývoj oken z hlediska tepelně technických vlastností a možností přirozeného větrání vychází ze dvou požadavků:

- U rekonstrukcí a nových budov je to snaha o snižování energie na vytápění (nebo chlazení), řešená
  - úpravou součinitele prostupu tepla  $U_w$  [W/m<sup>2</sup>K]  
Původní jednoduché okno s jedním sklem v dřevěném rámu mělo  $U_w = 5,2$  W/m<sup>2</sup>K, v současnosti jsou za dobrý standard považována okna s  $U_w = 1,2$  W/m<sup>2</sup>K, pro nízkoenergetické domy je požadavek na  $U_w = 0,75$  W/m<sup>2</sup>K, pro pasivní domy je v připravované „oknařské“ normě požadavek na  $U_w = 0,5$  W/m<sup>2</sup>K, což je požadavek,

s jehož dodržením bude mít asi řada firem zabývajících se výrobou oken značné potíže.

- snížením součinitele spárové průvzdušnosti okna, tj. omezením infiltrace, tedy možnosti přirozeného větrání prostoru.

Nastává tu i opačný problém. U nových budov je to snaha o jiný architektonický výraz budovy. Objevuje se stále větší procento prosklení obvodových plášťů budov bez jakékoli ochrany proti sluneční radiaci, protože „stínící prvky by kazily architektonický záměr a vzhled budovy“. Často zde pak dochází k přehřívání prostor vlivem sluneční radiace a vytváří se prostředí, které osobám s hůře fungující termoregulací (dětmi a starším osobám) může přispět ke zhoršení jejich zdravotního stavu. Toto se dá sice bez problémů vyřešit chlazením prostor, ale proč opět používat energeticky náročné opatření spojené s dalšími problémy - hlukem, nepříznivým vlivem proudu chladného vzduchu apod.

Oba uvedené trendy tedy mohou mít značný vliv na zhoršení kvality vnitřního prostředí budov a základním technických opatření jak toto odstranit je dostatečné větrání.

### Porovnání požadavků na větrání pro jednotlivé typy prostředí - národní předpisy

Prostředí	Předpis	Množství přiváděného vzduchu
Pracovní prostředí	NV č. 361/2007 Sb. NV č. 68/2010 Sb.	min 50 / 70 / 90 m <sup>3</sup> h <sup>-1</sup> na pracovníka
Stravování	vyhláška č. 137/2004 Sb. <b>č. 602/2006 Sb.</b> ☞☞	min 50/60/70/100/150 m <sup>3</sup> h <sup>-1</sup> <b>ruší požadavky vyhl. č. 137 na větrání bez náhrady</b>
Školství	vyhláška č. 410/2005 Sb.	20 až 30 m <sup>3</sup> h <sup>-1</sup> na žáka
Bazény, sauny	vyhláška č. 135/2004 Sb.	hala bazénu nejméně 2 h <sup>-1</sup>
Pobytové místnosti	vyhláška č. 6/2003 Sb.	<b>požadavky nejsou</b> (pouze na WC, sprchy)
Vnitřní prostředí staveb	vyhláška č. 268/2009 Sb.	25 m <sup>3</sup> /h, 0,5 h <sup>-1</sup>
Bytové stavby, byty	není právně závazný předpis ČSN 73 0540-2 ČSN EN 15665/Z1	0,3 až 0,6 h <sup>-1</sup> 0,3 až 0,5 h <sup>-1</sup>

### Podrobné požadavky na větrání bytů podle ČSN EN 15665/Z1

Požadavek	Trvalé větrání (průtok venkovního vzduchu)		Nárazové větrání (průtok odsávaného vzduchu)		
	Intenzita větrání [h <sup>-1</sup> ]	Dávka venkovního vzduchu na osobu [m <sup>3</sup> /(h-os)]	Kuchyně [m <sup>3</sup> /h]	Koupelny [m <sup>3</sup> /h]	WC [m <sup>3</sup> /h]
Minimální hodnota	0,3	15	100	50	25
Doporučená hodnota	0,5	25	150	90	50

## Požadavky na větrání – zahraniční předpisy

předpis	kuchyně (m <sup>3</sup> h <sup>-1</sup> )	koupelny (m <sup>3</sup> h <sup>-1</sup> )	WC (m <sup>3</sup> h <sup>-1</sup> )
DIN 18017/3		40 - 60	20 - 30
DIN 1946/6	40 - 60	40 - 60	20 - 30
ECE Compendium	36 - 180	36 - 180	
BSF 1998:38	36 - 54	36 - 108	36
ČR	100 - 150	60	25

Požadavky na větrání kuchyní, koupelen, WC podle různých zahraničních předpisů a doby provozu (doporučené hodnoty)

zahraniční předpis	intenzita výměny vzduchu	množství větracího vzduchu
DIN 4701	0,5 h <sup>-1</sup>	
VDI 2088	0,4 - 0,8 h <sup>-1</sup>	
NKB Publication	≥ 0,5 h <sup>-1</sup>	30 m <sup>3</sup> h <sup>-1</sup>
ECE Compendium	≥ 0,5 h <sup>-1</sup>	
BSF 1998:38	0,4 h <sup>-1</sup>	1,26 m <sup>3</sup> h <sup>-1</sup> m <sup>2</sup>
ČR ČSN 06 0210	0,5 h <sup>-1</sup>	
ASHRAE USA	-	27 m <sup>3</sup> h <sup>-1</sup> os <sup>-1</sup>
STN 060210	≥ 0,3 h <sup>-1</sup>	

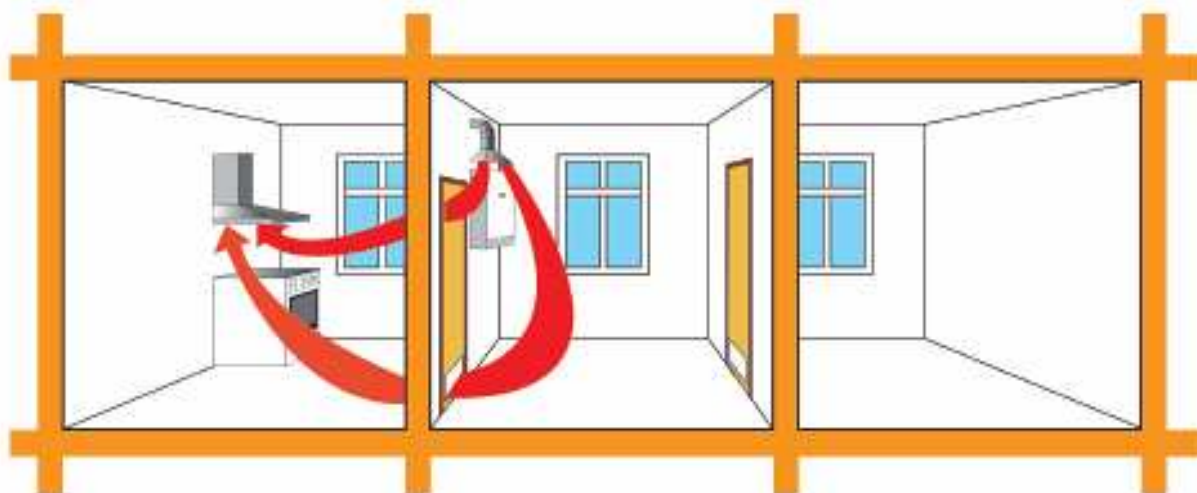
Požadavky na větrání obytných místností podle různých zahraničních předpisů (doporučené hodnoty)

Pro případ plynových spotřebičů v bytech typu A (sporáky) a B (plynové kotle s odvodem spalin mimo prostor, spalovací vzduch si berou z prostoru) v bytech je třeba vycházet z požadavků TPG 70401 „Odběrná plynová zařízení a spotřebiče na plyná paliva v budovách“ (používají se s využitím ustanovení ČSN EN 1775):

a) Místnost se spotřebiči typu A musí mít alespoň jednonásobnou výměnu vzduchu, a to při zavřených oknech a dveřích

b) V místnostech se spotřebiči typu B se vychází z požadavku na množství spalovacího vzduchu 1,6 m<sup>3</sup>.h<sup>-1</sup> na 1 kW jmenovitého tepelného příkonu při  $\Delta p = 4$  Pa

Nedostatek spalovacího vzduchu zhoršuje proces hoření a spaliny mají větší obsah oxidů dusíku i uhlíku, než při dokonalém spalování. Bohužel v současné době prudce narůstá počet otrav oxidem uhelnatým a často tyto otravy končí smrtí. Žádná sebevčetnější digestoř nad sporákem nemůže dostatečně odvést vznikající spaliny, není-li zároveň zajištěn přívod vzduchu do místnosti. V utěsněné místnosti vytváří spuštěná digestoř podtlak, který může až uhasit plamen. Je-li uspořádání plynových spotřebičů jako na obr. č. 6, je pro uživatele takového utěsněného bytu otrava oxidem uhelnatým velmi pravděpodobná.



**Obr. 6** Při spuštění digestoře v utěsněných prostorách hrozí vlivem vytvořeného podtlaku nebezpečí porušení tahu komína a proudění spalin do místností

V nově přidané příloze č. 11 v revidovaném TPG 704 01 jsou pak pro stávající prostory s těsnými okny uvedena nutná opatření k zajištění požadovaného množství vzduchu – ve smyslu potřebného odtěsnění (délka upraveného těsnění) těsných oken, která slouží k rychlému odhadu množství větracího vzduchu po provedeném „odtěsnění“. Je to trošku paradox, kdy musíme vědomě znehodnotit jednu původní vlastnost okna – jeho těsnost, abychom ve zdraví v prostoru s plynovým spotřebičem přežili.

#### REFERENCES

- [1] Zákon č. 183/2006 Sb. o územním plánování a stavebním řádu (Stavební zákon) v platném znění
- [2] Vyhláška o technických požadavcích na stavby č. 268/2009 Sb.
- [3] vyhláška 6/2002 Sb. kterou se stanoví hyg. limity chem., fyzikálních a biol. ukazatelů pro vnitřní prostředí pobytových místností některých staveb.
- [4] Vyhláška č. 410/2005 Sb. o hygienických požadavcích na prostory a provoz zařízení a provozoven pro výchovu a vzdělávání dětí a mladistvých
- [5] ČSN 73 0580-1 Denní osvětlení budov - část 1: Základní požadavky (6/2007)

- [6] ČSN 73 0580-2 Denní osvětlení obytných budov - část 2: Denní osvětlení obytných budov (6/2007)
- [7] ČSN 73 4301 Změna Z1 - Obytné budovy
- [8] ČSN EN 12464-1 Světlo a osvětlení - Osvětlení pracovních prostorů - Část 1: Vnitřní pracovní prostory.
- [9] TPG 70401 Odběrná plynová zařízení a spotřebiče na plynná paliva v budovách
- [10] článek TZB Vliv balkonů a lodžii na denní osvětlení vnitřních prostor - Ing. M. Hofmanová
- [11] ČSN EN 15665 - Větrání budov - stanovení výkonových kritérií pro větrací systémy obytných budov (11/2009)
- [12] Kolektiv: Manuál prevence v lékařské praxi, díl III. Prevence nepříznivého působení vlivů obytného prostředí na zdraví (SZÚ Praha, 1996) (staré, ale pořád se to používá)
- [13] Z. Mathauserová: Hygienické předpisy ve výstavbě, ČKAIT, Praha 2010, ISBN 978-80-87438-07-7

**Authors:** Ing. Zuzana Mathauserová, NRL SZÚ Praha, [zmat@szu.cz](mailto:zmat@szu.cz), Ing. Jana Lepší, ZÚ se sídlem v Plzni, [jana.lepsi@zuplzen.cz](mailto:jana.lepsi@zuplzen.cz)

## Stanovení denní osvětlenosti pod rovnoměrně zataženou oblohou za účelem snížení energetické náročnosti v budovách

**Abstrakt.** Článek se zabývá problematikou výpočtu denního osvětlení pod rovnoměrně zataženou oblohou. Cílem je stanovení hodnoty osvětlení venkovní nezastíněné roviny na základě místních a časových parametrů (zeměpisné souřadnice, datum, čas). Získané hodnoty budou sloužit k vyčíslení potenciálu úspor při použití stmívatelných osvětlovacích soustav v prostorech využívajících jak denní, tak umělé osvětlení.

**Klíčová slova:** Denní světlo, energetické úspory, stmívatelné osvětlovací soustavy, souřadnice slunce

### Úvod

Současné ekonomické požadavky vedou ke snižování energetické náročnosti budov. V oblasti vnitřního osvětlení vedou tyto požadavky k větší míře využití denního světla v kombinaci se světlem umělým (sdružené osvětlení). Technická úroveň současných osvětlovacích soustav umožňuje v soustavách sdruženého osvětlení regulaci světelného toku na konstantní hladinu osvětlenosti pomocí stmívání soustav umělého osvětlení a realizovat tak snížení spotřeby elektrické energie.

Aby bylo možné stanovit potenciál úspor a návratnost stmívatelných osvětlovacích soustav, je nutné znát úroveň vnější intenzity osvětlení. Ta je ale proměnlivá. Vzhledem k tomu, že činitelé denní osvětlenosti se počítají z rovnoměrně zatažené oblohy, tak i výpočty konkrétních osvětleností, budou prováděny za této situace.

Na základě stanovení režimu využívání místnosti, budovy (typ zrakového úkolu, požadovaná osvětlenost, obsazenost, pracovní doba, směnný provoz apod.) pak lze určit energetickou náročnost této regulované osvětlovací soustavy a stanovit dobu návratnosti investice oproti osvětlovací soustavě neregulované.

Je nutné zmínit i to, že denní světlo ovlivňuje základní biologické pochody v lidském organismu, a proto jsou stavební normy a hygienické předpisy koncipovány tak, aby ho ve vnitřních prostorech zabezpečily co nejvíce.

• **Činitel denní osvětlenosti** - , kterým se stanovuje míra příspěvku denního světla v budovách v místech zrakových úkolů, je podíl vnitřní osvětlenosti (přímým i odraženým světlem) a osvětlenosti venkovní nezastíněné roviny za rovnoměrně zatažené oblohy. Příspěvky přímého slunečního světla jsou z obou osvětleností vyloučeny. Hodnota činitele denní osvětlenosti v sobě zahrnuje vlivy zasklení, znečištění, vnitřního i venkovního stínění atd. Naopak, díky využití rovnoměrně zatažené oblohy, eliminuje vliv natočení oken a světlíků na různé světové strany. Činitel denní osvětlenosti  $D$  se udává v procentech a stanoví se dle vztahu:

$$D = \frac{E}{E_v} \cdot 100[\%], \quad (1)$$

kde

$E$  – je osvětlenost bodu dané vnitřní srovnávací roviny v lx;  
 $E_v$  – je srovnávací osvětlenost v bodě venkovní nezastíněné roviny v lx. [1]

• **Rovnoměrně zatažená obloha** – je stav oblohy, který v reálu nastává maximálně několikrát za rok. Nicméně tento stav umožňuje vytvoření modelu oblohy, se kterým lze pracovat, a který jednoznačně stanovuje jakým způsobem se chovají jasy oblohy od horizontu až k zenitu. Námí využívaný model rovnoměrně zatažené oblohy při tmavém

terénu uvažuje oblohu s gradací jasu od horizontu k zenitu 1:3 (dle CIE). Jas libovolného bodu oblohy je pak dán vztahem:

$$L_\gamma = L_z / 3 \cdot (1 + 2 \cdot \sin \gamma) \text{ [cd.m}^{-2}\text{]}, \quad (2)$$

kde:

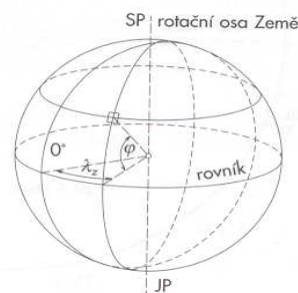
$L_\gamma$  - je jas oblohy v úhlu  $\gamma$  nad horizontem

$L_z$  - je jas oblohy v zenitu [1]

### Souřadnice Slunce a geometrie slunečního paprsku

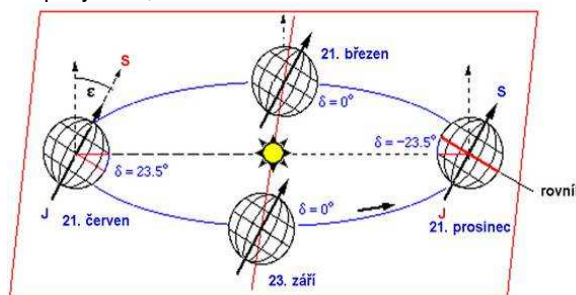
Pro stanovení konkrétních jasů oblohy, které umožní výpočet osvětlenosti venkovní nezastíněné roviny je nutná znalost polohy slunce vůči vyšetřované srovnávací rovině. Uvedeny jsou jen nejčastěji používané způsoby určování souřadnic Slunce, které se používají ve výpočtu oslunění budov.

• **Analytické výpočty souřadnic Slunce** - výpočet zdánlivé polohy Slunce na obloze je determinován geografickou polohou daného místa na Zeměkouli, rotací Země a vzájemnou polohou Slunce a Země ve vesmíru. Pro výpočty denního osvětlení a proslunění budov je postačující náhrada nepravidelného tvaru Zeměkoule. Poloha libovolného bodu na zemském povrchu se obvykle určuje zeměpisnou šířkou  $\varphi$  a zeměpisnou délkou  $\lambda_z$  viz obrázku. 1.



Obrázek 1: Zeměpisné souřadnice bodu na povrchu Země. [1]

Při pohybu Země okolo Slunce po mírné eliptické oběžné dráze je rovina zemského rovníku odkloněna od roviny ekliptiky o 23,45° viz obr.2.



Obrázek 2 : Deklinace pro čtyři charakteristické dny v roce. [www.papaplycko.blog.cz](http://www.papaplycko.blog.cz)

### • Deklinace Slunce

Úhel, který svírají sluneční paprsky s rovinou zemského rovníku se nazývá deklinace Slunce  $\delta$  a v průběhu roku se neustále mění. Pro konkrétní časový údaj jsou přesné hodnoty deklinace uvedeny ve hvězdářských ročenkách. Pro naše účely se deklinace zjišťuje pomocí matematických výrazů. Výpočtově se vychází z předpokladu, že nulová deklinace nastává o půlnoci, která předchází dnu jarní rovnodennosti 21. března. Vycházíme ze vztahu.

$$\delta = 23,45^\circ \sin \left[ \frac{360^\circ}{365 \cdot (J - 81)} \right] [\text{rad}], \quad (3)$$

kde

$J$  – je pořadový den v roce [1]

V den zimního slunovratu (obvykle 22. prosince), kdy je ke Slunci nejvíc přikloněna jižní polokoule Země je hodnota deklinace Slunce  $\delta = -23,45^\circ$  a v době letního slunovratu (zpravidla 21. června) je  $\delta = 23,45^\circ$ . Ve dnech jarní a podzimní rovnodennosti (21. března a 22. září) se Slunce nachází nad rovníkem Země a deklinace má nulovou hodnotu.

### • Čas a hodinový úhel Slunce

Délka slunečního dne je tradiční a nejrozšířenější jednotkou času na Zemi. Časová rovnice má během roku maximální hodnoty 16. května (+3,8 min.) a 3. listopadu (+16,4 min.) a minimální hodnoty 12. února (-14,4 min.) a 25. července (-6,3 min.).

Místní sluneční čas je definován jako střední sluneční čas. Místní poledne nastává tehdy, když přes místní meridián přechází střední Slunce, pak hovoříme o středním poledni. Každý meridián má svůj vlastní střední čas. Bylo by velmi nepraktické, aby se čas na hodinách měnil na každém meridiánu. Určité oblasti mají zavedeny jednotný čas. Středoevropský čas SEČ je shodný se středním slunečním časem na  $\lambda_z = 15^\circ$  východní zeměpisné délky a jako pásmový hodinový čas platí v rozsahu zeměpisných délek  $7,5^\circ \leq \lambda_z \leq 22,5^\circ$ . Ze středoevropského času určíme pravý sluneční čas podle vztahu.

$$PSC = SEČ + \frac{\lambda_z - 15^\circ}{15^\circ} + ET [\text{hod}], \quad (4)$$

kde

$\lambda_z$  - je zeměpisná délka ve stupních

PSC – pravý sluneční čas v hodinách

SEČ – středoevropský čas v hodinách

ET – časový rozdíl mezi PSC – SSC v hodinách [1]

### • Výška Slunce

Výška slunce  $\gamma_s$  je úhel který svírá sluneční paprsek s horizontální rovinou. Pro výpočet výšky Slunce se používá známý vztah:

$$\gamma_s = \arcsin [\sin \varphi \cdot \sin \delta - \cos \varphi \cdot \cos \gamma \cdot \cos(15^\circ PSC)] [^\circ] \quad (5) [1]$$

V technických výpočtech se obvykle zanedbává vliv lomu slunečních paprsků v atmosféře a nepravidelnosti deklinace Slunce, protože i v nejnepříznivějším případě způsobují chybu v určování souřadnic Slunce menší než  $1^\circ$ .

### Výpočty denních osvětleností

Na základě znalosti polohy slunce a rozložení jasů na rovnoměrně zatažené obloze lze přistoupit k řešení konkrétních osvětleností venkovní nezastíněné srovnávací roviny v konkrétních lokalitách a v konkrétních dnech a hodinách.

### • Horizontální osvětlenost

První krok výpočtu je stanovení horizontální osvětlenosti fiktivní roviny nad danou lokalitou. Ta stanovuje maximální úroveň slunečního světla při jasné (bezoblačné obloze), tedy i referenční hodnotu pro zjištění dostupnosti osvětlení na zemském povrchu.

Extraterestriální horizontální osvětlenost  $E_V$  bude v každém dni jiná. Proto se světelná solární konstanta  $E_{V0}$  pro rovnodennost musí korigovat denní vzdáleností Slunce od Země a to pomocí činitele excentricity  $\varepsilon$ .

$$\varepsilon = 1 + 0,034 \cos \left[ \frac{360^\circ}{365} \cdot (J - 2^\circ) \right] [-], \quad (6)$$

$$E_V = E_{V0} \cdot \varepsilon \cdot \sin \gamma_s [\text{lx}], \quad (7)$$

kde

$E_{V0}$  – světelná solární konstanta 133 334 lx [1]

### • Difúzní osvětlenost

Difúzní osvětlenost  $D_V$ , tedy osvětlenost venkovní nezastíněné horizontální roviny pod rovnoměrně zataženou oblohou při znalosti konkrétních zeměpisných a časových souřadnic pak lze stanovit na základě následujícího vztahu.

$$D_V = \left( \frac{D_{Vm}}{E_V} \right) E_{V0} \cdot \varepsilon \cdot \sin \gamma_s [\text{lx}] \quad (8)$$

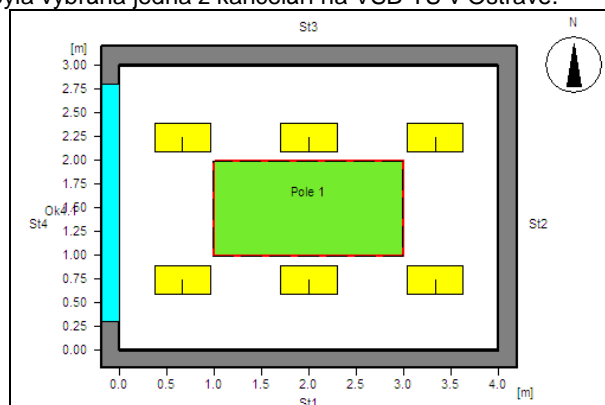
Kde

$D_{Vm} / E_V$  – koeficient propustnosti oblohového světla [1]

Přepočtem této hodnoty osvětlenosti  $D_V$  přes činitel denní osvětlenosti na osvětlenost ve vnitřním pracovním prostoru způsobenou denním světlem, pak lze dopočítat požadované hodnoty osvětleností. Rozdíl mezi osvětleností způsobenou denní složkou a normou požadovanou hodnotou osvětlenosti je nutné dotovat osvětlením umělým.

### Výpočet úspor ve stmívatelné osvětlovací soustavě sdruženého osvětlení

Na základě znalosti difúzní osvětlenosti venkovní nezastíněné roviny a činitele denní osvětlenosti daného bodu zrakového úhlu můžeme podle vztahu (1) v každý okamžik vypočítat vnitřní osvětlenost. Jako příklad výpočtu byla vybrána jedna z kanceláří na VŠB-TU v Ostravě.



### Intenzity osvětlení

Průměrný činitel denní osvětlenosti	$D_{av}$	: 4.9
Minimální činitel denní osvětlenosti	$D_{min}$	: 2.1
Maximální činitel denní osvětlenosti	$D_{max}$	: 10.2

Obrázek. 3 – hodnoty  $D$  na srovnávací rovině v kanceláři na VŠB-TU.[3]

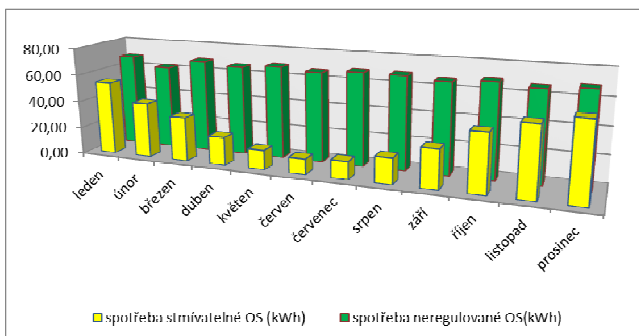


Jako požadavek pro výpočet potenciálu úspor byla pro tento konkrétní případ zvolena minimální osvětlenost v každém bodě zrakového úhlu na hodnotu 500 lx. Osvětlenost způsobená denním světlem je hodnota osvětlenosti, o kterou lze stmívat instalovanou umělou osvětlovací soustavu, přičemž minimální osvětlenost (součet denní a umělé složky) v místě zrakového úhlu neklesne pod požadovanou hodnotu.

Kancelář je osvětlen 6-ti kusy svítidel (3 řady po dvou kusech směrem od okna) osazenými lineárními zářivkami T5 - 3x14W. Celkový příkon osvětlovací soustavy kanceláře (včetně ztrát v předřadných přístrojích) je 277W. Ve výpočtech bylo také zahrnuto snížení měrného výkonu svítidel, který je způsoben provozem svítidel v režimu stmívání. Pro tento případ se uvažovala hodnota 95% měrného výkonu svítidel při jmenovitém světelném toku (100 %). Režim využití místnosti je každodenně od 7 do 15 hodin.

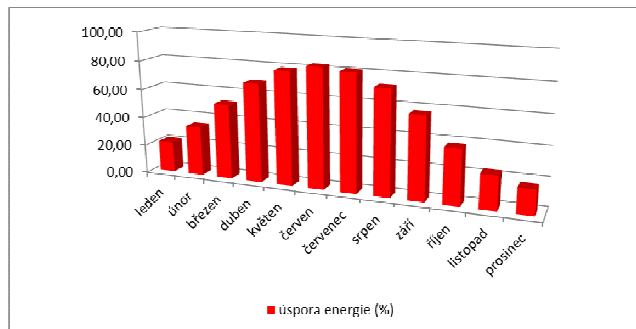
Pro nestmívatelnou osvětlovací soustavu byla vybrána nejhorší situace. To znamená, že všechna svítidla byla zapojena pouze na jeden elektrický okruh, a aby bylo dosaženo osvětlenosti 500 lx v každém místě zrakového úhlu, tak musí být osvětlovací soustava sepnutá celou dobu využití kanceláře, protože pouze pomocí denního světla nelze tuto hodnotu v nejdálkových místech zrakového úhlu od okenních otvorů docílit.

Pro stmívatelnou osvětlovací soustavu byla vybrána ta varianta, kdy jsou všechna svítidla regulována na stejnou hodnotu světelného toku podle situace v nejhorším místě dle denní osvětlenosti. Předpokládá se, že v tomto místě bude umístěno jedno čidlo regulující celou osvětlovací soustavu podle konstantního jasu v předem definovaném bodě zrakového úhlu.



Obrázek 4 – Porovnání spotřeby klasické a stmívatelné OS

Spotřebu elektrické energie osvětlovacích soustav (viz Obrázek 4) a z toho vyplývající úspory (viz Obrázek 5) lze vždy modelovat pouze pro konkrétní situace, kdy je v daném prostoru stanoven režim využití a požadovaná intenzita osvětlení. Úspory lze pak modelovat pro různé typy osvětlovacích soustav s různými úrovněmi jejich řízení od nestmívatelné osvětlovací soustavy spínané současně, až po osvětlovací soustavy, ve kterých je umožněno řízení každého svítidla osvětlovací soustavy dle příspěvku denního světla extra s využitím čidla přítomnosti osob a možností programování celkové úrovně osvětlení dle konkrétně vykonávané zrakové činnosti. Jiný režim využívání prostoru, a jiná úroveň řízení osvětlovacích soustav změní dosahované úspory.



Obrázek 5 – Úspory dosažitelné regulovatelnou osvětlovací soustavou

Podle výše uvedeného konkrétního příkladu by za jeden rok bylo v modelové kanceláři uspořeno 424 kWh elektrické energie, což je cca 50% spotřeby soustavy původní.

Lze předpokládat, že reálným provozem bude dosaženo ještě vyšších úspor než jsou úspory získané modelováním. V rámci možností modelování oblohy a eliminace vlivu světových stran lze počítat pouze s rovnoměrně zataženou oblohou. Ta díky své oblačnosti pohlcuje značnou část světelné energie, která by dopadala na venkovní nezastíněnou srovnávací rovinu. Nicméně pro odhad možných úspor je tato metoda dostatečná a v rámci současných normativních a hygienických požadavků se počítá s rovnoměrně zataženou oblohou.

### Závěr

Cílem práce autorů článku je výroba SW pro stanovení potenciálu úspor v soustavách sdruženého osvětlení. Jeho předpokládané využití pak bude při návrzích a rekonstrukcích osvětlovacích soustav, při energetických auditech budov a při tvorbě doporučení pro snižování jejich energetické náročnosti.

### PODĚKOVÁNÍ

Tento článek byl vypracován za podpory "Optimalizace spotřeby elektrické energie využitím moderních světelných zdrojů". SP 2011/135.

### Literatura

- [1] RYBÁR, P. a kol.: Denní osvětlení a oslunění budov, ERA 2001. ISBN 80-86517-33-0
- [2] DARULA, S. a kol.: Osvětlování světlovody, Grada Publishing 2009, ISBN 978-80-247-2459-1
- [3] Program RELUX 2007 professional
- [4] <http://www.inge.cz/katalog/vmr-t5---595-m600/112/>
- [5] Norma ČSN 73 0580-1 Denní osvětlení budov, ČSN 73 0580-2 Denní osvětlení obytných budov

### Autoři:

Ing. Tomáš Novák, Ph.D., e-mail [tomas.novak1@vsb.cz](mailto:tomas.novak1@vsb.cz)  
 Ing. Jan Šumpich, e-mail: [jan.sumpich@vsb.cz](mailto:jan.sumpich@vsb.cz)  
 Ing. Zbyněk Carbol, e-mail: [zbynek.carbol@vsb.cz](mailto:zbynek.carbol@vsb.cz)  
 Prof. Ing. Karel Sokanský, CSc., e-mail [karel.sokansky@vsb.cz](mailto:karel.sokansky@vsb.cz)

Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava, Fakulta elektrotechniky a informatiky, 17. Listopadu 15/2172, 708 33 Ostrava – Poruba, tel.: 597 329 327

# Mikroprocesorově řízený luxmetr s automatickým provozem a digitálním záznamem dat pro dlouhodobá měření (nejen) nízkých osvětleností

**Abstrakt.** Příspěvek se zabývá přístrojovou podporou dlouhodobého snímání světelně-technických dat naměřených pod noční oblohou. Cílem takovýchto měření je kvantifikace rušivého světla a srovnání úrovní rušivého světla v obydlených průmyslových oblastech a mimo ně. Pro dlouhodobá měření nízkých úrovní osvětleností (cca  $10^{-2}$  lx) a jasů (cca  $10^{-3}$  cd/m<sup>2</sup>) je nutné používat nejen měřicí přístroje s velkou citlivostí, ale také zcela autonomní s možností ukládání naměřených dat.

**Klíčová slova:** luxmetr, rušivé světlo, osvětlenost, mikroprocesor

## Úvod

Tento článek popisuje návrh a realizaci luxmetru, který je vhodný pro dlouhodobé vyhodnocování stavu rušivého světla v nočních hodinách. Cílem vyhodnocování rušivého světla je získávání informací o jeho vlivu v jednotlivých lokalitách při různých meteorologických podmínkách. Jedná se především o vliv veřejného osvětlení. Nicméně nejen tento zdroj ovlivňuje jas noční oblohy. Je nutné brát v potaz i vliv ostatních zdrojů světla, jako jsou například okna, světelné reklamy, obchodní a průmyslová centra atd.

Vývoj luxmetru, jenž vyhovuje požadavkům na dlouhodobé měření velmi nízkých hladin osvětleností, byl vyvolán nemožností takovéto zařízení získat na trhu měřících přístrojů. Měřicí přístroje dostupné na trhu, splňující požadavky na měření nízkých hladin osvětleností, nespĺňovaly požadavky ostatní, které se týkaly především dlouhodobého sběru dat. To znamená, že nespĺňovaly požadavky na přenos naměřených dat, minimalizaci spotřeby, automatického přepínání rozsahů, vestavěné hodiny reálného času atd. Výše uvedené důvody tedy vedly k tomu, že došlo k návrhu a realizaci luxmetru, který vyhovuje výše uvedeným požadavkům.

## Specifikace hlavních požadavků pro vývoj digitálního luxmetru

Při návrhu koncepce digitálního luxmetru byly brány v úvahu tyto požadavky:

- Křivka citlivosti lidského oka pro fotopické vidění – přestože je luxmetr primárně koncipován pro měření nízkých hladin osvětleností, které mohou odpovídat jasovým poměrům, při nichž se lidské oko nachází v oblasti mezopického až skotopického vidění, tak bylo zvoleno čidlo vyhodnocující dopadající záření podle křivky citlivosti lidského oka pro fotopické vidění. Důvodem tohoto zásadního rozhodnutí byla možnost porovnávání naměřených dat s ostatními přístroji. Dominantní část přístrojů pro světelně-technická měření disponuje touto citlivostí, i když zrakový orgán pracuje při nízkých hladinách jasu s jiným převodem mezi dopadajícím zářením a zrakovým vjemem.

- Široký rozsah měření, od  $10^{-2}$  lx do  $10^5$  lx – je využitelný v rámci dlouhodobých měření pro získávání osvětleností nejen v nočních, ale také v denních hodinách. Tato data se v současné době dají aplikovat v oblasti dopadajícího záření pro fotovoltaické elektrárny.

- Možnost kalibrace nuly – nastavení nulové hodnoty při měření nízkých hladin osvětleností je u tohoto typu přístroje nezbytné.

- Dlouhodobý provoz bez obsluhy – dlouhodobým provozem se chápe zjišťování hladin osvětleností pod noční

oblohou při různých meteorologických podmínkách, což s sebou přináší nutnost zcela autonomního provozu.

- Napájení z bateriového zdroje nebo ze sítě – napájení přístroje z baterie je nezbytné při terénních měřeních s obsluhou, tedy při krátkodobých měřeních.

- Automatické přepínání rozsahů – má přímou souvislost s měřením osvětleností i pod denní oblohou, která disponuje velkou dynamikou a pro korektní dlouhodobá měření je tedy nezbytné.

- Možnost ukládání měřených dat do paměti a jejich pozdější přesun do počítače – tato vlastnost je velmi dobře využitelná společně s hodinami reálného času při terénních měřeních.

- Možnost měření a současného odesílání měřených dat do počítače – se objevila v požadavcích z důvodu měření rychlých změn osvětleností a to zejména při ověřování náběhových charakteristik světelných zdrojů.

- LCD zobrazovač – s možností změny jeho jasu se v požadavcích objevil z důvodu přizpůsobení jasu displeje různým jasovým podmínkám ve dne i v noci a samozřejmě i z důvodu snížení spotřeby při dlouhodobých autonomních měřeních.

- Hodiny reálného času nezávislé na napájení luxmetru – jsou velmi důležité z důvodu porovnávání naměřených dat z různých lokalit při předpokladu, že tyto lokality jsou meteorologicky blízké a dá se předpokládat stejné odrazné podmínky na obloze. Díky takovému porovnání lze pozorovat vliv pozemních světelných zdrojů na rušivé světlo v různých lokalitách [1].

## Hardwarová část digitálního luxmetru

Základní částí luxmetru s vysokou citlivostí (schopnost vyhodnocovat i osvětlenosti cca  $10^{-2}$ lx) je kvalitní čidlo, jenž je svou citlivostí přizpůsobené křivce citlivosti lidského oka. Pokud není čidlo dostatečně kvalitní, není možné sebelepším elektronickým obvodem vyhodnotit objektivně osvětlenost.

Na Obr. 1 je zobrazeno blokové schéma zapojení luxmetru, které se skládá z těchto hlavních bloků:

- blok měření,
- jednočipový mikrokontrolér ATMEGA8,
- uživatelské rozhraní,
- hodiny reálného času,
- paměť EEPROM,
- USB komunikace,
- napájecí zdroj.

Blok měření tvoří převodník I/U, elektronický přepínač rozsahů a AD převodník. Aby bylo možné zajistit lineární převod osvětlenosti na elektrickou veličinu již od velmi

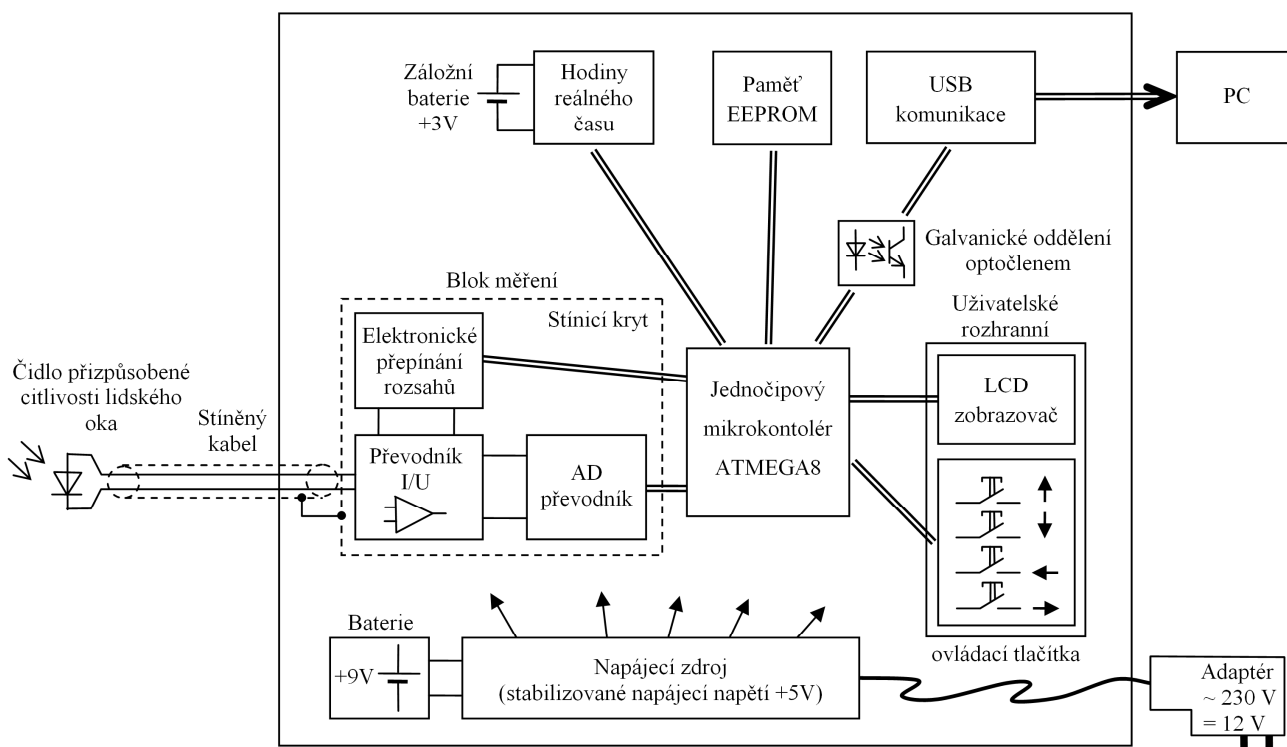
malých hodnot osvětlenosti, vyhodnocuje se proud na výstupu čidla, a to pokud možno ve stavu nakrátko. To lze realizovat převodníkem proud-napětí s operačním zesilovačem. Proud, se kterými převodník pracuje při osvětlenostech do 1lx jsou ovšem velmi malé, řádově nA. Pro práci s tak malými proudy musí být schopen operační zesilovač vyhodnocovat velmi malé vstupní proudy, nejlépe o několik řádů menší než je pracovní proud. Tyto požadavky splňují operační zesilovače s FET vstupem. Mezi další důležité parametry, jež musí operační zesilovač splňovat je co nejmenší šum a drift. Aby bylo možné operační zesilovač provozovat z bateriového napájení, musí bezproblémově fungovat již při nízké úrovni napájecího napětí. Uvedeným požadavkům nejlépe vyhovoval operační zesilovač AD822. Z důvodu maximálního omezení vnějšího rušení (zajištění dostatečné přesnosti) je analogová část luxmetru stíněná. Pro přepínání rozsahů slouží analogový elektronický přepínač ADG728, jehož pět vstupů a jeden výstup jsou zapojeny ve zpětné vazbě operačního zesilovače AD822. Přepínání rozsahů se provádí prostřednictvím sériově řízeného rozhraní I2C, který obsluhuje mikrokontrolér ATMEGA8. Analogová hodnota z operačního zesilovače je dále převedena na digitální hodnotu s využitím velmi přesného 18-ti bitového AD převodníku MCP3421, který je rovněž řízen mikrokontrolérem přes I2C sériové rozhraní.

Jednočipový mikrokontrolér ATMEGA8 firmy ATMEL zajišťuje obsluhu jednotlivých periférií, mezi které patří elektronický přepínač rozsahů, AD převodník, LCD zobrazovač, čtyři ovládací tlačítka, hodiny reálného času, paměť EEPROM a komunikaci s počítačem.

Uživatelské rozhraní obsahuje LCD zobrazovač a čtyři ovládací tlačítka. LCD zobrazovač dovede zobrazit celkem 64 znaků, které jsou rozděleny do čtyř řádků po šestnácti znacích. Aby bylo možné naměřené hodnoty přečíst i za snížené viditelnosti, je možné u LCD zobrazovače aktivovat podsvětlení. Ovládací tlačítka zde slouží především k procházení menu a jeho nastavování.

Hodiny reálného času zprostředkovávají aktuální informace, které obsahují datum a čas a tvoří je obvod DS1338. Aby hodiny reálného času pracovaly i po vypnutí napájecího napětí, je obvod DS1338 napájen ze záložní 3V baterie. Paměť EEPROM je zde použita sériově programovatelná paměť AT24C1024, která je organizovaná jako 131 072 slov, z nichž každé obsahuje 8 bitů. Paměť zde slouží k uložení naměřených hodnot osvětlenosti v určitém čase.

USB komunikaci mezi mikrokontrolérem a počítačem zprostředkovává převodník RS232/USB, který je tvořen obvodem FT232RL. Datová komunikace mezi mikrokontrolérem a převodníkem RS232/USB je galvanicky oddělena pomocí dvou optočlenů. K napájení obvodu FT232RL se využívá 5V napětí z počítače, které je standardně přivedeno prostřednictvím USB kabelu [2].



Obr.1. Blokové schéma zapojení luxmetru

### Softwarová část digitálního luxmetru

Luxmetr je možné připojit k počítači pomocí USB rozhraní, které je v dnešní době nejrozšířenější. Samotná komunikace však probíhá přes tzv. „virtuální sériový port“, který je vytvořen na USB sběrnici. Je to obvyklý způsob používaný u mnoha měřicích přístrojů, přijímačů GPS a podobně. Komunikace mezi luxmetrem a počítačem probíhá ve znacích. Například hodnota 35,7 lx se přenese jako „:35,7 lx<CR>“, kde CR je v tomto případě ASCII hodnota 13 (enter). Pro příjem těchto naměřených dat z virtuálního sériového portu byla vytvořena aplikace v

systemu LabVIEW, která v určitých časových intervalech ukládá přijímaná data do textového souboru. V případě potřeby je možné v závislosti na osvětlení cyklicky zapínat a vypínat zvolený spotřebič, jímž může být například reflektor. Výstupní soubor tvoří textová tabulka obsahující čas a hodnotu osvětlenosti. Pro každý den se automaticky zakládá nový soubor. Výstupní soubory lze snadno importovat například do programu Excel a zde dále zpracovávat.

### Uživatelské menu digitálního luxmetru

Při prvním zapnutí luxmetru se na LCD zobrazováči ukáže hodnota osvětlení v režimu Auto a zároveň informace o aktuálním času a datu. Pomocí tlačítka Up/Down je možné z režimu automatického přepínání rozsahů přejít do režimu manuálního nastavení s rozsahy do 3lx, 30lx, 300lx, 3Klx, 30Klx, 100Klx. Tlačítkem Left se nám zobrazí uživatelské menu obsahující následující nabídku:

- Offset cal.
- Set backlight
- Set date
- Set time
- Datalog period
- Start datalog
- Stop datalog
- Measured data
- USB communication

Posun kurzoru na konkrétní nabídku v uživatelském menu se provádí tlačítky Up/Down. K potvrzení zvolené nabídky slouží tlačítko Right, které má rovněž funkci tlačítka Enter.

#### Podrobný popis jednotlivých nabídek uživatelského menu:

##### Offset cal.:

Při zvolení nabídky Offset cal. se automaticky provede kalibrace offsetu pro všechny rozsahy. Kalibrace offsetu se musí provádět při absolutní tmě, což je možné pouze s ochrannou krytkou čidla.

##### Set backlight:

Doba podsvětlení LCD zobrazovače se nastavuje v nabídce Set backlight. Uživatel si může zvolit některou z těchto nabídek:

- none
- 1s
- 2s
- 5s
- 10s
- 30s
- 1min
- permanent

##### Set date, Set time:

Nabídka Set data nebo Set time slouží pro nastavení aktuálního data nebo času.

##### Datalog period:

Nastavení periody automatického ukládání naměřených dat do paměti EEPROM.

##### Start datalog, Stop datalog:

Nabídka Start datalog a Stop datalog slouží k zahájení nebo ukončení automatického ukládání naměřených dat do paměti EEPROM.

##### Measured data:

V nabídce Measured data je možné si prohlédnout naměřená data uložená v paměti EEPROM.

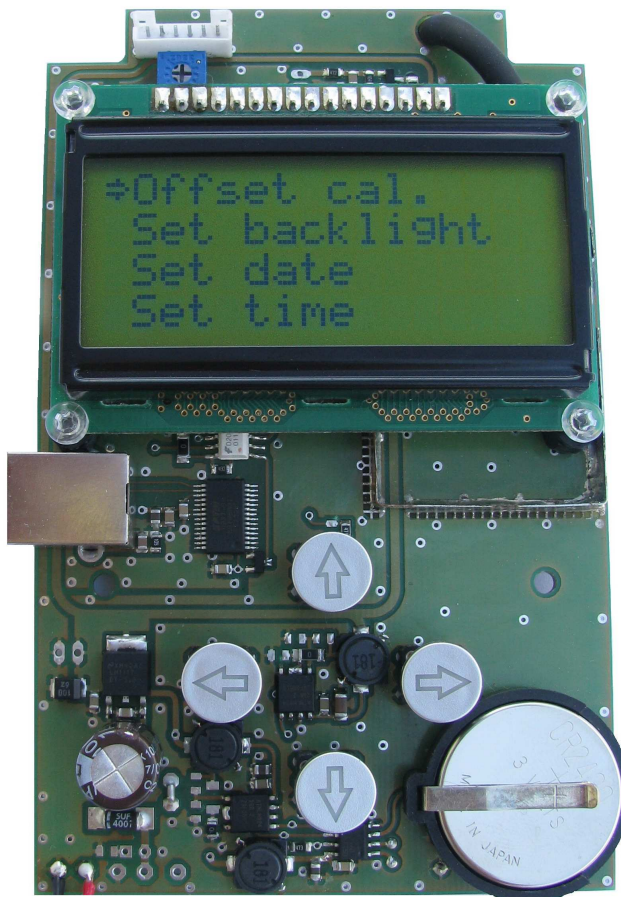
##### USB communication:

Tato nabídka povoluje USB komunikaci při požadavku uložení naměřených dat z paměti EEPROM do počítače.

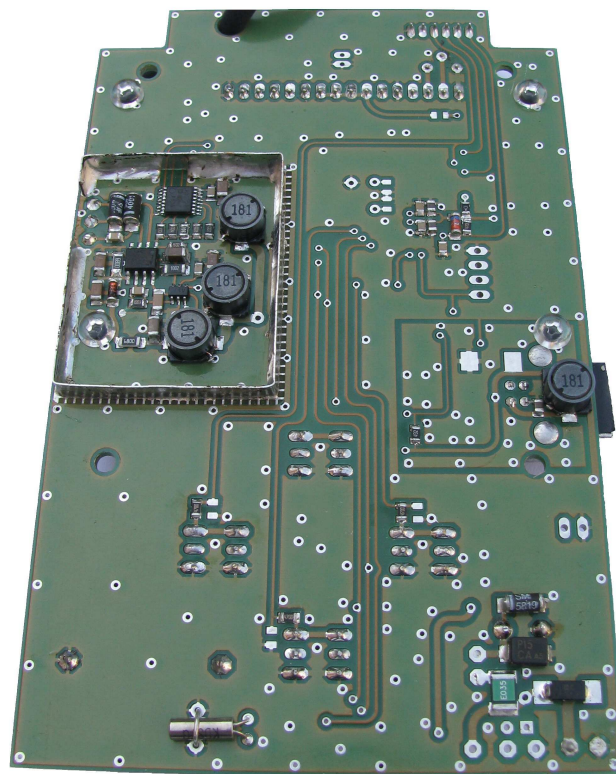
### Fotodokumentace realizovaného digitálního luxmetru

Na Obr.2 je zobrazena osazená deska plošných spojů digitálního luxmetru při pohledu shora. LCD zobrazovač ukazuje první část nabídky uživatelského menu.

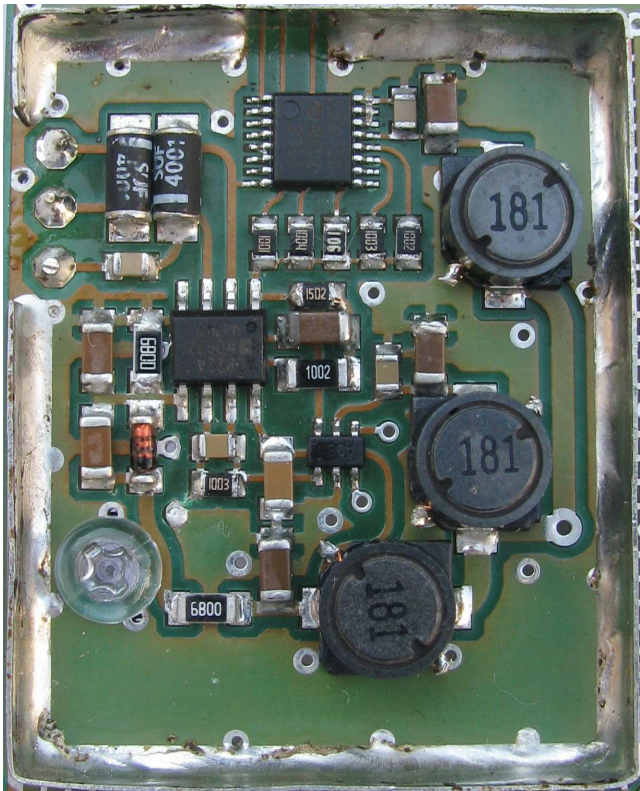
Obr.3 ukazuje osazenou desku plošných spojů digitálního luxmetru při pohledu zespodu. V levé horní části je v pocínované stínící krabici umístěn hlavní měřicí blok luxmetru. Tento měřicí blok obsahuje dvojitý operační zesilovač, analogový digitálně řízený přepínač, jenž je zapojen ve zpětné vazbě vstupního operačního zesilovače.



Obr.2. Osazená deska plošných spojů digitálního luxmetru – pohled shora



Obr.3. Osazená deska plošných spojů digitálního luxmetru – pohled zespodu



Obr.4. Detail stíněné analogově-digitální části luxmetru

A/D převodník je rovněž součástí tohoto bloku. Napájení všech integrovaných obvodů je z důvodu omezení rušení filtrováno s využitím LC filtrů. Detail stíněné analogově-digitální části luxmetru je ukázán na Obr.4.

#### Závěr

S využitím výše uvedeného luxmetru a jeho příslušenství je možné měřit a vyhodnocovat světelně-technické parametry noční oblohy. Široký rozsah měření osvětlenosti je využitelný v rámci dlouhodobých měření pro

získávání osvětlenosti nejen v nočních, ale také v denních hodinách. Velkou výhodou realizovaného luxmetru je jeho dlouhodobý provoz bez obsluhy s možností ukládání měřených dat do paměti a jejich pozdější přesun do počítače. Vzhledem k tomu, že luxmetr obsahuje hodiny reálného času, které jsou nezávislé na napájení luxmetru, je možné provádět porovnávání naměřených dat z různých lokalit při předpokladu, že tyto lokality jsou meteorologicky blízké a dá se předpokládat stejné odrazné podmínky na obloze. Díky takovému porovnání lze pozorovat vliv pozemních světelných zdrojů na rušivé světlo v různých lokalitách.

#### Poděkování

Článek byl zpracován za podpory projektu SGS SP2011/135, Optimalizace spotřeby elektrické energie využitím moderních světelných zdrojů.

#### REFERENCE

- [1] Sokanský, K., Novák, T., Závada, P., Kolář, V., Hrbáč, R.: Development of measuring instruments for long-term measurement of low level illuminances and luminances. In International Conference on Environment and Electrical Engineering. 2010 IEEE, Czech Republic, Prague, p. 89-92. ISBN 978-1-4244-5374-0.
- [2] Novák, T., Sokanský, K., Závada, P., Kolář, V., Hrbáč, R.: Přístroje pro dlouhodobé měření nízkých úrovní osvětlenosti a jasů, Světlo, FCC Public, 3/2010, s. 40-42, ISSN 1212-0812. Sokanský, K., Novák, T., Závada, P., Kolář, V., Hrbáč, R.:

**Authors:** Ing. Roman Hrbáč, Ph.D.

VŠB-TU Ostrava, Department of Electrical Engineering - 420, 17. listopadu 15, 708 33, Ostrava - Poruba, Czech Republic, E-mail: [roman.hrbac@vsb.cz](mailto:roman.hrbac@vsb.cz)

Ing. Tomáš Novák, Ph.D.

VŠB-TU Ostrava, Department of Electrical Engineering - 420, 17. listopadu 15, 708 33, Ostrava - Poruba, Czech Republic, E-mail: [tomas.novak1@vsb.cz](mailto:tomas.novak1@vsb.cz)

prof. Ing. Karel Sokanský, 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](mailto:karel.sokansky@vsb.cz)

# Influence of Temperature to Change Operational Parameters of Small Light Sources

**Abstract.** This article is focused to description of the small light sources, their characteristics and problems with using them. Furthermore, the article will be focused to description of the measuring workplace, where will be measured the influence of temperature to change the operational parameters of the small light sources. It will be mainly the measurement of the power light diodes. The change of temperature of PN junction will be adjusted by the laboratory apparatus and equipments and at the same time will be measured a change of the operational parameters. The paper will be next supplemented with the processed results of the measured values.

**Keywords:** LED, operational parameters, temperature, peltier, PN junction

## Introduction

The small light sources are increasingly becoming part of the whole lighting in the all areas of application. These light sources typically have at least basic integrated optics and typically produce less of the waste heat during their operation than the standard conventional light sources.

However, this waste heat is necessary transfer over a very small area. For that reason, often the overheating of the light sources is occurred and this problem subsequently to the lower conversion efficiency of electrical energy into light, degradation and shorter lifetime. Therefore, this article deals with the implementation of the control devices and other equipments to measure the operational parameters depending on the temperature of the light source. Furthermore, deal with the evaluation of the obtained information.

## The problems associated with use of small light sources

As suggested in the introduction, the small light sources (mainly LEDs) are typically by several differences, which are differed from ordinary conventional light sources.

Most of today produced small light sources (such as LEDs) already contain the optics (optically active systems). So, these sources have all the necessary already integrated on a small chip. The trend of today in the area of LED technology is a miniaturization. At the same time the heat losses are increased with increasing input power of LED modules. Today, it is necessary to transfer tens of watts of power losses by a small area about the size of several square centimetres. This problem poses high requirements to the cooling systems and the quality of contact surfaces. Despite all efforts temperature of PN junction of LED is often exceeded 90 degrees Celsius, the efficiency of converting electricity to light is reduced and the semiconductor material of LED is slowly degraded. So the technical life of the lamp is greatly reduced.

## The temperature control system

For these fundamental reasons, the design of lights is necessary to perform with increased precision, so as to avoid the above problem. The LED technologies used in the modern lights are created by the simulation of heat transfer from the PN junction diode, through the chip pad to the cooler.

The influence of temperature PN junction to change of the operational parameters of LEDs are evaluated in the laboratory test workplace. Large and high-quality laboratories are equipped with expensive measuring instruments and systems directly created for this purpose. But this measurement can be done with ordinary measuring

equipment assembled in a suitable measuring chain in the smaller light laboratories.

The output variables of this measurement are voltage drop across the PN junction, losses of power, produced luminous flux and the resistance of diode. The input variables are current that powers the diode and the chip temperature.

The temperature control system is the most important and most complex of the complete measuring chain. The active element is the peltier equipped with the cooler. The peltier is connected to the bridge, so the electronic pulses are used to change the polarity of the current and thus temperature is regulated. Temperature is measured by the temperature sensor mounted on the aluminium base. The whole system runs in a loop and is controlled by the microcontroller. The deviation of temperature is evaluated and is generated the PWM signal, which feeds the bridge. This system is illustrated in Figure 1.

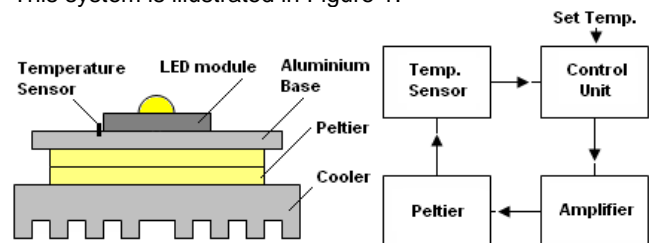


Fig.1. The temperature control system



Fig.2. The realization of temperature control system

This system is implemented with the large cooler with the active fan heat dissipation. Operating temperature range is from -20 to +100 degrees Celsius with a resolution of 1 degree. Up to 10 watts of power dissipation can be transferred by the adequate input power at low temperatures. The real realization of this system is shown in Figure 2, including a control unit and mounting brackets for LED modules.

### The measurement of operational parameters

The measurement of operational parameters of LEDs is consisted of the present measure of voltage drop, current and produced luminous flux. So we need to record the single values this parameters for the chosen values of current and temperature. It is very arduous and lengthy process. And in addition, it is necessary to wait at each change of temperature to equilibrate. The simple measuring chain of this system is shown in Figure 3. It allows to measure individual points in VA characteristics depending on temperature.

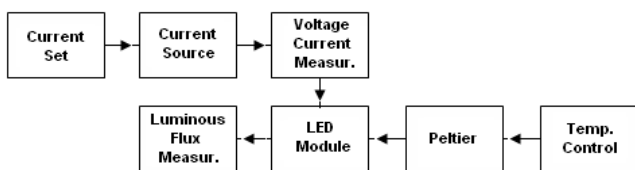


Fig.3. Simple measuring chain

To accelerate and refine of this measuring chain, we have to make several changes. The measurement of VA characteristics by single points is lengthy, therefore a sawtooth wave generator is preferable to use. The period of generator must be selected between 100 ms and 1 second, to eliminate the dynamic properties of the diode. If the measurement is enough short (at short pulses), it is possible to measure up to a 300% of rated current, without damage of the diode. However, it is necessary to use a current source to power the diode, therefore the V/I converter is implemented. The temperature gradient is advantageous to use approximately 1 degree Celsius for 10 periods. So temperature is changed minimally during a single measure. The measurement of luminous flux is performed use a fast photodiode with a properly adjusted transimpedance amplifier. In this way a large number of measured values is obtained. All measured values are processed by a multi-channel oscilloscope and subsequently evaluated by the appropriate computer technology. The measure chain of this system is shown in Figure 4.

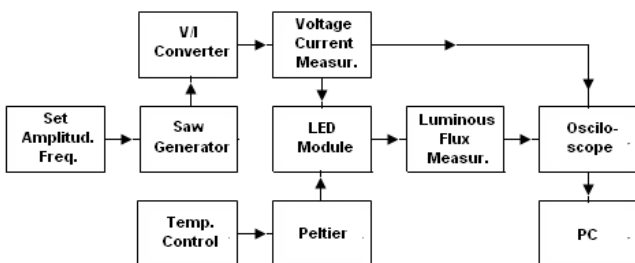


Fig.4. Full measuring chain

The maximum value of the current is easily selected by setting the amplitude of the sawtooth wave generator. The resolution of measured values is given by the sampling frequency of oscilloscope.

### Measured values

LEDs from the world's leading manufacturers (Philips, Osram and Cree) were measured by our laboratory equipments.

The samples of 3 LEDs were measured with the same parameters. The nominal input power of each diod is 1 W and the maximum current is 350 mA. The diods were measured in the temperature range from -5 to +90 degrees Celsius and in the current range from 0 to 1 A. The measuring period was set to 100 ms. The case of LEDs in SMD are shown in Figure 5.



Fig.5. Measured LEDs

Unfortunately, the parasitic capacity of PN junction of diode was manifested in the measurement. This problem was corrected by adding a parallel resistor size 10 kΩ to the diode. The measurement was not affected by the resistor size, but the parasitic capacity of diode was eliminated. Waveforms measured by oscilloscope with and without compensation parasitic capacitance are shown in Figure 6.

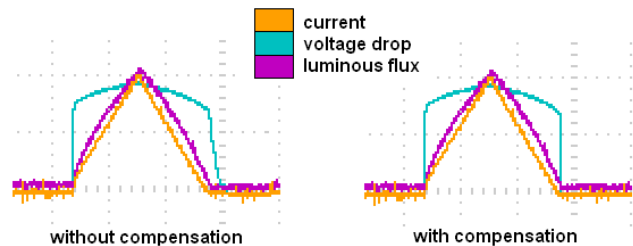


Fig.6. Waveforms measured by oscilloscope

The next measured and processed values are for Philips Luxeon K2 LED. And they are plotted from 0 to 90 degrees Celsius with a resolution of 10 degrees.

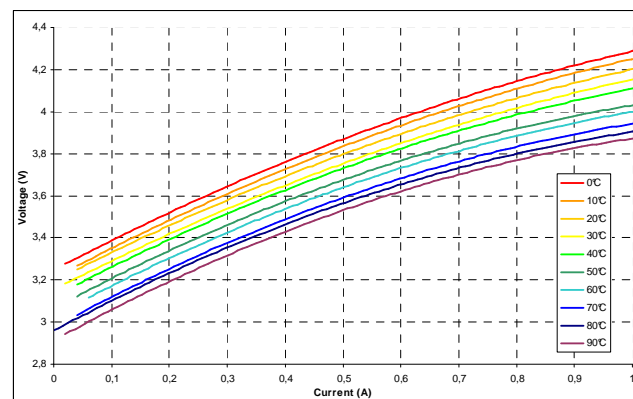


Fig.7. VA characteristics from the absolute values

In the Figure 7 are shown single VA characteristics of diode depending on the temperature. With increasing temperature the voltage drop is decreased. In the Figure 8 is shown the same chart created from the relative values.

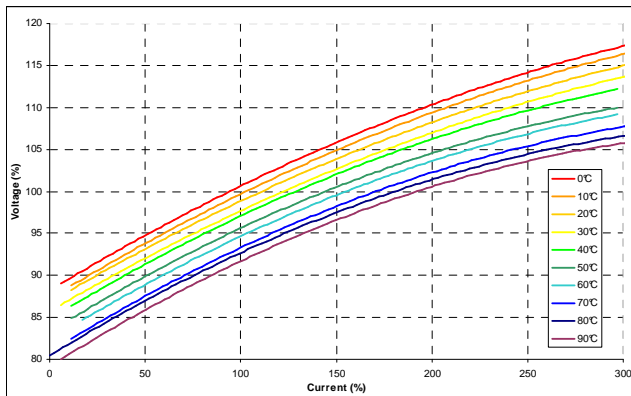


Fig.8. VA characteristics from the relative values

The dependence of input power on current are shown in charts no. 9 and 10. The charts are again plotted in relative and absolute values.

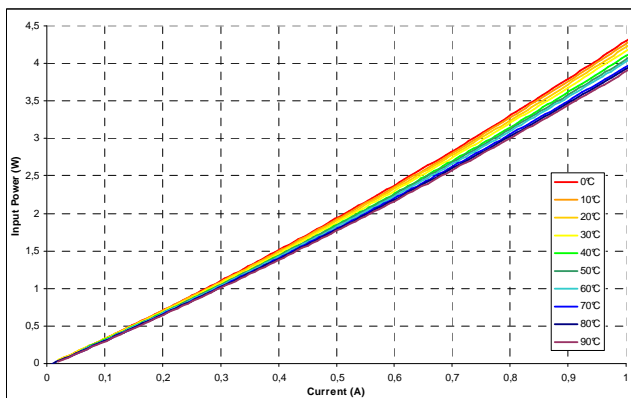


Fig.9. Dependence of input power on current (absolute values)

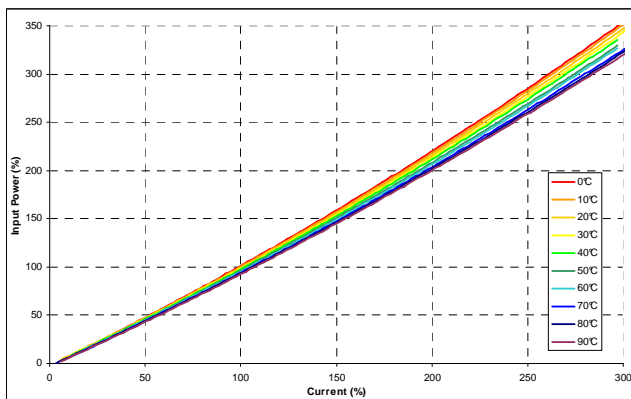


Fig.10. Dependence of input power on current (relative values)

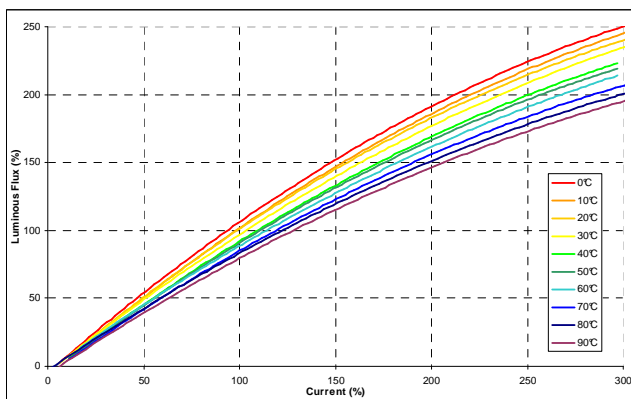


Fig.11. Dependence of produced luminous flux on current

The dependence of produced luminous flux on current is shown in Figure 11. The graph depicted in Figure 13 shows the measured data cross characteristic of LED. This characteristic is plotted for temperatures of 20 and 90 degrees Celsius. So we can see a shift of variables, when the temperature is changed.

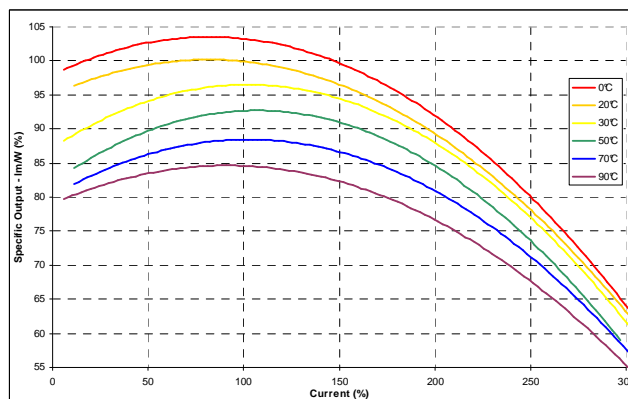


Fig.12. Dependence of specific output on current

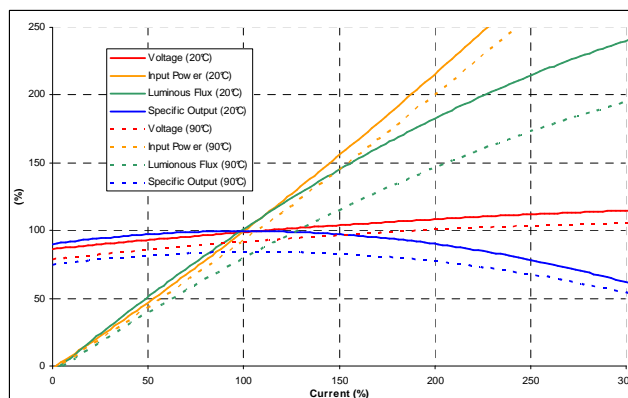


Fig.13. Cross characteristic at 0 and 90 degrees Celsius

## Conclusion

The reasons, why the measurements of operating parameters of LEDs are important, were described in this article. Further, the complete measurement system with an example of measured and processed results were shown. This article may be used as a model for designing similar measure systems for the temperature stabilization and the automatic measurement of operating parameters.

## Acknowledgments

This paper contains the results of research works funded from project of specific research program of Brno University of Technology No. FEKT-S-11-19.

The research was performed in Center for Research and Utilization of Renewable Energy Sources. Authors gratefully acknowledge financial support from European Regional Development Fund under project No. CZ.1.05/2.1.00/01.0014.

## References

- [1] IESNA Lighting Handbook 9th edition, Reference & Application, IESNA New York, USA, ISBN 0-87995-150-8.
- [2] Варфоломеев Л. П., Степанов В. Н., Рохлин Г. Н. : Справочная книга по светотехнике, ISBN 5-87789-051-4.

**Authors:** Ing. Michal Krbal, doc. Ing. Petr Baxant, Ph.D., Brno University of Technology, Czech Republic  
e-mail: [xkrbal00@stud.feec.vutbr.cz](mailto:xkrbal00@stud.feec.vutbr.cz), [baxant@feec.vutbr.cz](mailto:baxant@feec.vutbr.cz)



# LED – Nová Dimenze Světla v Architektuře

## 1. Světlo je čtvrtá dimenze

Světlo má zásadní vliv na interpretaci prostoru, orientaci a vnímání jednotlivých zón a objektů. Je vždy důležité pomocí cíleně řízeného a směřovaného světla stanovit vhodné hladiny osvětlenosti pro jednotlivé části prostoru a tím vytvořit kontrast a hierarchii. Vše je třeba navrhovat s ohledem na maximální vizuální komfort bez negativních vlivů jako je oslnění, a to volbou vhodných typů svítidel a jejich rozmístění. Kvalitním světelným návrhem lze současně dosáhnout vysoké efektivity po stránce energetické a provozní.

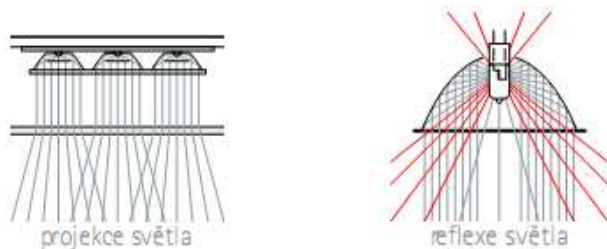
## 2. Nová výzva - LED

V posledních letech zaznamenala svítidla s technologií na bázi LED (Light Emitting Diode) obrovský rozvoj. Jejich praktické využívání přináší celou řadu výhod:

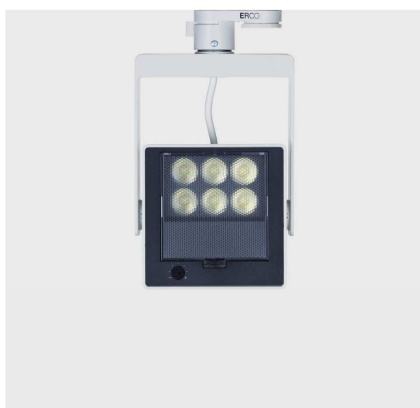
- vysoká energetická úspornost
- výrazné snížení tepelné zátěže a tím redukce chlazení a nákladů za klimatizaci
- téměř bezúdržbový provoz bez výměny světelných zdrojů
- ochrana materiálů z důvodu absence UV a IR záření
- velmi dobré podání barev a tím zvýšení věrohodnosti a atraktivity
- odstranění rozptýleného světla a vytvoření většího kontrastu

- možnost regulace a scénografie díky stmívání a okamžitému náběhu (oproti výbojkám)

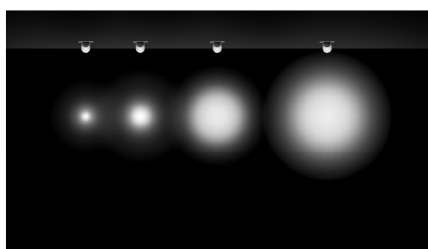
Výrazná efektivita LED diod však není způsobena jen samotnými diodami, ale především celým optickým systémem svítidel. Ten je založen (v případě svítidel ERCO) na principu projekce světla namísto reflexe, jako je tomu u standardních reflektorů. Primární optika je u vlastní diody. Sekundární optiku tvoří tzv. kolimátor, který usměřňuje veškeré světlo z diody paralelně pouze jedním směrem. Třetí optika je ve formě výměnných sférolitických čoček, které umožňují docílit libovolný světelný efekt vhodný pro danou světelnou scénu.



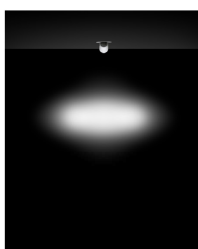
optický systém - sled čoček



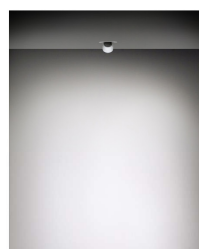
svítidlo Logotec LED



narrow spot, spot, flood, wide flood



oval flood



wallwasher

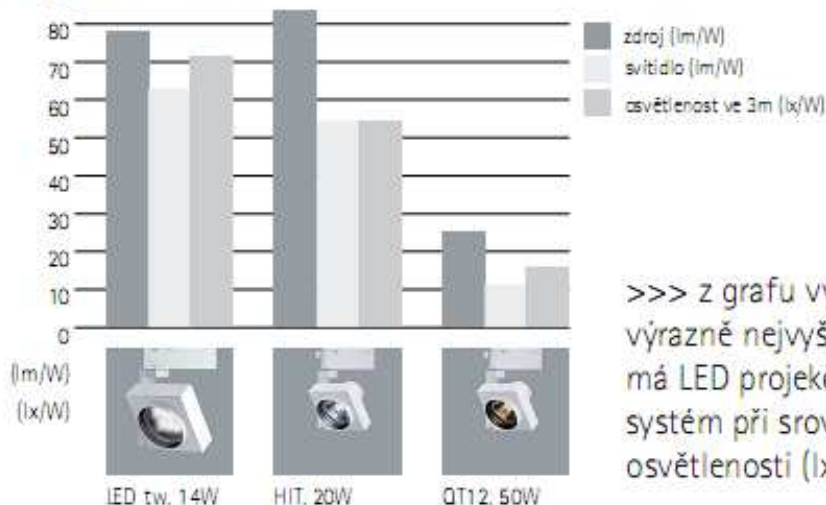
S jedním svítidlem tak lze svítit až šesti různými způsoby. Jsou to čtyři rotačně symetrické světelné distribuce (narrow

spot, spot, flood, wide flood), oválná a asymetrická typu wallwasher (rovnoměrné osvětlení celých stěn).

Velkou výhodou tohoto optického systému je také naprosté odstranění rozptýleného rušivého světla. Celkově tento optický systém dosahuje výrazně vyšší účinnosti při

srovnávání osvětlenosti –  $lx/W$  s různými světelnými zdroji (LED, HIT, QT).

### Projekce vs. reflexe



>>> z grafu vyplývá, že výrazně nejvyšší účinnost má LED projekční optický systém při srovnávání osvětlenosti ( $lx/W$ )

### 3. Efektivní vizuální komfort

Při vstupu do jakéhokoliv prostoru je žádoucí mít dojem, že svítidla vůbec nesvítí. Vnímáte pouze prostor, příjemné prostředí, zdůrazněné objekty a vysoký vizuální komfort. Všechna svítidla by měla mít dokonalé clonění využívající např. techniku tzv. „darklight“ reflektorů, kdy je úhel clonění shodný s úhlem světelné distribuce.

Kromě vizuálního komfortu však světelný koncept a použité techniky velmi významně ovlivňují také energetickou efektivitu. Ze strany investorů je tento aspekt samozřejmě významně posuzován i s ohledem na návratnost investice. Z kalkulací vyplývají tyto závěry. Vyšší investice do kvalitního a efektivního osvětlení je velmi rychle kompenzována redukcí nutného příkonu a spotřebou energie. Navíc v době pořízení je vyšší investice do světla ihned srovnána nižší investicí do klimatizace.

Snížení tepelné zátěže zase přispívá k mnohem vyššímu komfortu uvnitř prostoru a návratnost investice také zásadně podporuje bezúdržbový provoz osvětlení bez nutnosti neustálých výměn různých světelných zdrojů.

A to vše je může být dosaženo tak, že v popředí stojí architektura, atmosféra, expozice, zboží či značka. Základem úspěchu je především kvalitní světelný koncept.

### 4. Aplikace a realizace

V současnosti lze říci, že je možné reálně využít LED technologie jako minimálně adekvátní náhradu

standardních světelných systémů, a to téměř ve všech aplikacích v architektonickém osvětlení interiéru i exteriéru. Jako důkaz uvádíme několik realizovaných projektů, kde bylo použito 100% osvětlení na bázi LED.

#### GANT Myslbek Praha

Jedná se o první projekt tohoto druhu vůbec, kdy je celý prostor prodejny od výloh přes vlastní prodejnu až po zkušební kabiny nasvícen výhradně touto technologií. Pro zvládnutí této výzvy byly definovány jednotlivé části prodejny se zohledněním maximálního efektivního vizuálního komfortu.

Výloha jako pozvánka ke vstupu:

Byl navržen flexibilní systém, který umožňuje optimálně realizovat rozdílné a měnící se uspořádání výlohy podle jednotlivých sezón:

- vertikální rovnoměrné osvětlení pozadí
- akcentování figurín
- zdůraznění značky GANT a její identity

Pro řešení byly použity napájecí lišty jako perfektní infrastruktura a revoluční svítidla ERCO Logotec LED. Ta využívají zmíněnou techniku sférolitických čoček, která umožňuje realizovat rozdílné světelné úlohy jako vertikální (wallwashing), akcentující a efektové osvětlení. Je třeba zdůraznit, že příkon jednoho svítidla je pouze 14W. Se dvěma svítidly na jednu figurínu je však docíleno velmi výrazného akcentu (4000 až 5000 lux), což je srovnatelné s výbojkou HIT 70W!

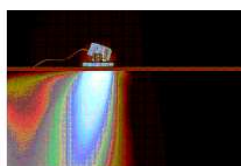
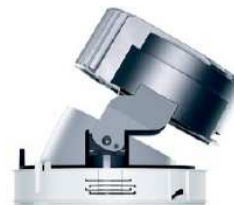


Prodejna je prostor pro zákazníka:

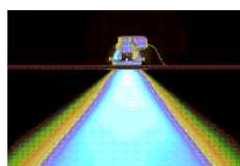
Po vstupu do prodejny je podstatné to, aby se zde zákazník cítil dobře, pohodlně si vybral a vyzkoušel zboží ve správném světle a samozřejmě nakoupil. Proto byl rozdělen prostor prodejny na tyto části:

- plochy stěn s podsvícenými regály
- prezentační stoly
- část pokladního pultu
- zkušební kabiny

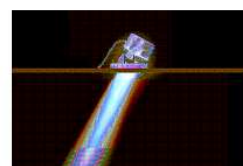
V principu je kladen důraz na vertikální osvětlenost (wallwashing) pro celkový vjem prostoru a pocit světlosti v kombinaci s akcentujícím osvětlením pro prezentaci zboží. Bylo zvoleno uspořádání ve formě zapuštěných stropních svítidel. Designová řada ERCO Quintessence obsahuje rozdílné světelné techniky a detaily osazení. Proto byl navržen modulový koncept, který se skládá z wallwaseru, směrovatelného spotu a downlightu v různé kombinaci.



wallwaser



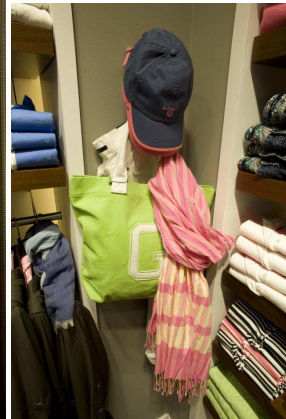
downlight



directional

V prodejně jsou navíc použita speciální svítidla typu washlight a doublewashlight. Je to kombinace downlightu a wallwaseru v jednom svítidle tak, že dokážete nasvítit rovnoměrně stěny a současně prostor pod svítidly. Kromě různých světelných distribucí se také kombinují rozdílné intenzity či příkony LED svítidel v rozsahu od 7W do 35W.

V případě Myslbeku s novou LED technologií jde o úsporu energie přesahující 30% oproti HIT výbojkám při zachování stejného konceptu osvětlení a stejného poměru hladin osvětlenosti, jaké byly realizovány již v posledních několika prodejnách s HIT technologií.



### Expoziční prostory

Obecně platí, že světlo v muzeu a galerii je jedna z nejnáročnějších úloh pro světelný návrh, protože vzhledem k způsobu prezentace exponátů a jejich ochrany platí mnoho protichůdných požadavků. Uvedené realizace

(National Gallery London, Museum Kunstpalast Düsseldorf) opět dokazují, že LED technologie je již naprosto zralá i pro tyto prostory. Navíc představují tyto technologie úspory energie až 80% oproti standardním halogenovým zdrojům.



### 5. Závěr

Promyšleným světelným konceptem a nasazením různých světelných technik a distribucí je možné realizovat rozdílné hladiny osvětlenosti, které vytvářejí kontrasty, hierarchii, a tím plastický dojem celého prostoru. Celý světelný koncept

tak umocňuje příjemnou atmosféru, vnímání objektů, atraktivitu předmětů a podobně. Kvalitní světlo a vysokou efektivitu lze v současné době dosáhnout pomocí LED technologií s návratností investice v řádu dvou až pěti let podle typu projektu.

**Authors:** Novák, Michal, Ing., ERCO Lighting GmbH, org.složka Praha, Jana Masaryka 3/456, 120 00 Praha 2, Česká republika, [info.cz@erco.com](mailto:info.cz@erco.com), [www.erco.com](http://www.erco.com)

## Osvětlení a energetické posuzování budov

**Abstract.** Tento příspěvek má za úkol ukázat základní rozdíly mezi posuzováním energetické náročnosti pro osvětlení budov mezi energetickým auditem vypracovaným v souladu s vyhláškou.

**Klíčová slova:** energetický audit; směrnice EC pro spotřebu energie v budovách 2002/91/EC; vyhláška č. 213/2001 Sb., kterou se vydávají podrobnosti náležitostí energetického auditu, ve znění pozdějších předpisů; Vyhláška č. 148/2007 Sb., o energetické náročnosti budov; ČSN EN 15193:2008; číselný ukazatel energie pro osvětlení (LENI); diagram osvětlenosti denním světlem.

### Úvod

Účelem tohoto příspěvku je poukázat na problematiku určování energetické náročnosti budovy v oblasti osvětlení (dle vyhlášky 148/2007 Sb.) a základní rozdíly mezi tímto určením a energetickým auditem (v jeho části pro umělé osvětlení) vypracovaným dle vyhlášky č. 213/2001 Sb., ve znění pozdějších předpisů.

### Základní informace o energetickém auditu

Účel a náležitosti energetického auditu vychází ze zákona 406/2000 Sb. v platném znění a na něho navazující vyhlášky č. 213/2001 Sb. v platném znění, to znamená, že energetický audit je soubor činností, které provádí energetický auditor za účelem vypracování informačního dokumentu o stavu budovy, způsobu využívání energie a hospodaření s energií v budově a energetickém hospodářství. Energetický audit současně zahrnuje návrh opatření, která je potřeba učinit k dosažení energetických úspor.

Cílem energetického auditu je zhodnocení současného stavu a definování následných variant opatření k realizaci energetických úspor, a to jak z hlediska energetického, tak i ekonomického a environmentálního (vliv úspor energie na životní prostředí).

Energetický audit musí dle legislativních předpisů obsahovat:

1. zhodnocení současného stavu budovy a energetického hospodářství,
2. výši technicky dosažitelných energetických úspor,
3. návrhy variant energetických úspor a zdůvodnění doporučení dané varianty včetně ekonomického vyhodnocení,
4. posouzení využití obnovitelných zdrojů energie pro předmět energetického auditu včetně ekonomického zhodnocení,
5. závěrečný posudek energetického auditora.

Jak je z bodu 3. patrné, je pro závěry na technická opatření i v oblasti umělého osvětlení ekonomické vyhodnocení, tedy návratnost případné investice. Hodnocení energetické náročnosti pomocí energetického auditu (EA) slouží ke stanovení skutečné energetické náročnosti budov a k hledání možných úspor elektrické energie.

### Posuzování energetické náročnosti dle vyhlášky č. 148/2007 Sb.

Při posuzování energetické náročnosti budovy (a tedy i potřeby elektřiny pro umělé osvětlení) ze srovnání s energetickou náročností referenční budovy. Samozřejmě, při dodržení obecných technických požadavků na výstavbu, které jsou dány legislativními předpisy pro výstavbu.

Způsob vytvoření referenční budovy, s kterou je posuzovaná budova srovnávána, není na rozdíl od způsobu hodnocení energetické náročnosti jednotlivých technických zařízení (podléhajících povinnému energetickému hodnocení) budovy žádným evropským legislativním předpisem stanoveno. Z tohoto byl například pro bytovou a občanskou výstavbu vytvořen „Národní kalkulační nástroj“.

### Posuzování energetické náročnosti osvětlení dle vyhlášky č. 148/2007 Sb.

Pro posuzování energetické náročnosti osvětlení platí ČSN EN 15193, kde je zavedena hodnota LENI - číselný ukazatel celkové roční energie pro osvětlení požadované v budově a uvedené v kWh/na m<sup>2</sup> rok. Tato norma stanoví i energii (dle jejich využití), doby a činitele, které je nutno vzít v úvahu při výpočtu energetické náročnosti.

Hodnocení energetické náročnosti podle ČSN EN 15193 je určeno ke vzájemnému porovnání budov podobného typu a vychází z normových vstupních údajů, jako jsou např. doba provozu, využití denního světla apod. Tento způsob hodnocení vypovídá hlavně o tom, jak energeticky účinně je daný objekt navržen.

### Důležité okolnosti, které ČSN EN 15193 nezahrnuje Budovy s památkovou ochranou

U objektů s památkovou ochranou je problematika možnosti hodnocení energetické náročnosti pro umělé osvětlení a možných změn k jejímu snížení komplikována požadavky památkové ochrany. V tomto případě se jedná především o tyto požadavky:

- a) Zachování funkčního využití původních svítidel, která se ani po renovaci nehodí pro osazení energeticky úsporných světelných zdrojů;

*POZNÁMKA* I při dostatečném prostoru uvnitř svítidla pro osazení kompaktního světelného zdroje s patičí E 27 nebo E 14 je nutno brát v úvahu možnost chlazení zabudovaného předřadníku. Jeho přehřívání vede k významnému zkrácení životnosti světelného zdroje.

- b) Nemožnost osazení optimální osvětlovací soustavy na strop z důvodu ochrany jeho výzdoby (malby, štuková výzdoba, historické tapety apod.);

- c) Vyhrazení místa pro umístění jednoho centrálního svítidla v prostoru (místnosti) s požadavky na tvar a vybavení svítidla;

*POZNÁMKA Tato skutečnost nutí projektanta osvětlovací soustavy navrhovat především do prostorů s administrativní či výukovou činností svítidla s nepřímou složkou osvětlení zajišťovanou výbojkou, doplněnou obvykle po obvodu svítidla žárovkami pro osvětlení prostoru po kratší časový úsek, např. do plného světelného výkonu výbojky. Toto řešení vede často k tomu, že osoby vykonávající činnost v tomto prostoru preferují pouhé využití doplňující části svítidla vybavené žárovkovými světelnými zdroji.*

- d) Požadavek u reprezentativních místností na osazení speciálních svítidel, např. křišťálových lustrů s objímkami pro osazení světelných zdrojů s patiči E 14.

V těchto budovách lze hodnotit spotřebu elektrické energie jen s ohledem na zajištění hospodárnosti provozu uživateli, respektive na možnosti drobných technických úprav, především v zázemí a v místech, kde památková ochrana tyto zásahy nevyklučuje.

Na tyto objekty nelze uplatňovat hlediska vybraných hodnot číselného ukazatele energie pro osvětlení (LENI), přestože se jedná o typy budov popsané v ČSN EN 15193. Pokud je v hodnoceném objektu pouze jednotlivý prostor s umělým osvětlením, které musí respektovat požadavky památkové ochrany, vyčlení se tento prostor i v hodnocení, aby ostatní částí bylo možno hodnotit podle číselného ukazatele energie pro osvětlení (LENI).

#### **Budovy s pronajatými prostory**

ČSN EN 15193 vychází z předpokladu úplné dostupnosti podkladů pro hodnocení energetické náročnosti budovy. Jedná se především o projekty, kde je k dispozici řádný světelnotechnický projekt, resp. u dokončených staveb dokumentace skutečného provedení elektroinstalace včetně změn v počtech, umístění a typech svítidel. I doporučení na rozdělení měření odběru elektrické energie pro osvětlení a ostatní spotřebu vychází z předpokladu jednoho uživatele objektu, nebo z toho, že případnému nájemci prostor v posuzované budově je platba za spotřebovanou elektrickou energii (kumulovaně za elektřinu spotřebovanou pro osvětlení i pro ostatní elektrické spotřebiče) jako složka nájmu odvozená z pronajaté plochy, obvykle účtována v části plateb za služby. V existujících administrativních a obchodních budovách a v objektech pro zdravotnictví (např. polikliniky) je však současným trendem oddělení celkové spotřeby elektrické energie nájemce (měřeno jedním fakturačním elektroměrem) od ostatní spotřeby elektřiny objektu. Zároveň je velmi často ponecháno na nájemci, jakou osvětlovací soustavu si zařídí, resp. jak nahradí soustavu stávající, zachycenou v dokumentaci. V těchto případech, má-li být provedeno věrohodné hodnocení spotřeby elektrické energie pro umělé osvětlení, musí majitel objektu zajistit možnost odborného průzkumu osvětlovacích soustav v pronajatých prostorách. U stávajících budov a zvláště tam, kde není k dispozici projektová dokumentace, může být určitým vodítkem pro posouzení osvětlovacích soustav a jejich stavu i platná revizní zpráva.

#### **Budovy s věcným břemenem v oblasti umělého osvětlení.**

Některé budovy jsou rovněž zatíženy „věcným břemenem“ v oblasti umělého osvětlení. Jedná se například o slavnostní osvětlení používané pro potřeby zdůraznění panoramatu města, které je napájeno z budovy a nikoliv z veřejného osvětlení, nebo osvětlení garáží, které jsou součástí posuzované budovy, které jsou však dimenzovány i pro další účely, nikoliv jen pro potřebu této budovy.

ČSN EN 15193 tyto případy neřeší. Logicky však z kontextu vyplývá že posuzovatel musí v případě slavnostního osvětlení jeho spotřebu elektrické energie nezahrnovat do spotřeby budovy a v případě vynuceného prostoru garáží tyto posuzovat samostatně, nebo k budově přidat jen část odpovídající potřebám posuzované budovy.

#### **Pomocné podklady k ČSN EN 15193**

S ohledem na snazší využití ČSN EN 15193 byla k ní jako komentář vypracována technická normalizační informace – TNI 73 0327 „Energetická náročnost budov – Energetické požadavky na osvětlení“. Účelem této TNI je doplnění a podrobný popis postupů pro stanovení výsledného příkonu a spotřeby elektrické energie osvětlovacích soustav v různých typech objektů v návaznosti na ČSN EN 15193 s ohledem na geografickou polohu České republiky. Dále jsou uvedeny rozsahy hodnot poměrných instalovaných příkonů a spotřeb elektrické energie na osvětlení pohybující se v rozsahu od prakticky dosažitelných hodnot po hodnoty povolené (doporučené). Jsou zde rovněž uvedeny popisy strategických postupů pro dosažení úspor elektrické energie na osvětlení.

V této TNI jsou rovněž uvedeny vybrané hodnoty číselného ukazatele energie pro osvětlení (LENI) pro typy budov podle ČSN EN 15193, kde jsou budovy klasifikovány v těchto kategoriích: budovy administrativní, budovy pro výchovu a vzdělávání, nemocnice, hotely, restaurace, sportovní zařízení, budovy pro velkoobchodní a maloobchodní služby a výrobní činnost. Vybrané hodnoty LENI jsou s ohledem na požadavky vyplývající z právních předpisů uvedeny i pro budovy pro bydlení.

Tato TNI dále obsahuje:

- informativní doplňující nebo upřesňující ustanovení převzatá z ČSN EN 12464-1, ČSN 73 4301 a souboru norem ČSN 33 2000;
- informace v návaznosti na právní předpisy;
- podklady pro zpracovávání energetických auditů v části dotýkající se spotřeby energie pro umělé osvětlení jako součásti hodnocení celkové spotřeby elektrické energie v objektu.
- diagram osvětlenosti denním světlem s návodem na jeho snadné využití;
- tabulkové hodnoty denní osvětlenosti  $E_D$  (lx) na horizontální nezacloněné venkovní rovině v dubnu pro rovnoměrně zataženou oblohu a geografické souřadnice Prahy (zeměpisná šířka 50°N) pro jednotlivé měsíce v roce.

#### **Závěr**

V praxi se pro hodnocení energetické náročnosti budov používají různé postupy, přičemž jejich účel je odlišný. Hodnocení energetické náročnosti podle ČSN EN 15193 je určeno ke vzájemnému porovnání budov podobného typu a vychází z normových vstupních údajů, jako jsou např. doba provozu, využití denního světla apod. Tento způsob hodnocení vypovídá hlavně o tom, jak energeticky účinně je daný objekt navržen.

Hodnocení energetické náročnosti pomocí energetického auditu slouží ke stanovení skutečné energetické náročnosti budov a k hledání možných úspor elektrické energie s finanční návratností a musí vycházet ze skutečných hodnot.

#### REFERENCE

- [1] Zákon č. 406/2000 Sb. o hospodaření energií, ve znění pozdějších předpisů
- [2] Vyhláška č. 148/2007 Sb., o energetické náročnosti budov
- [3] Vyhláška č. 213/2001 Sb., kterou se vydávají podrobnosti náležitostí energetického auditu, ve znění pozdějších předpisů
- [4] ČSN EN 15193 „Energetická náročnost budov – Energetické požadavky na osvětlení
- [5] TNI 73 0327 „Energetická náročnost budov – Energetické požadavky na osvětlení“

---

*Authors: Ing. Karel Dvořáček, Janovského 23. Praha 7, Česká republika, e-mail: karel.dvoracek@email.cz*

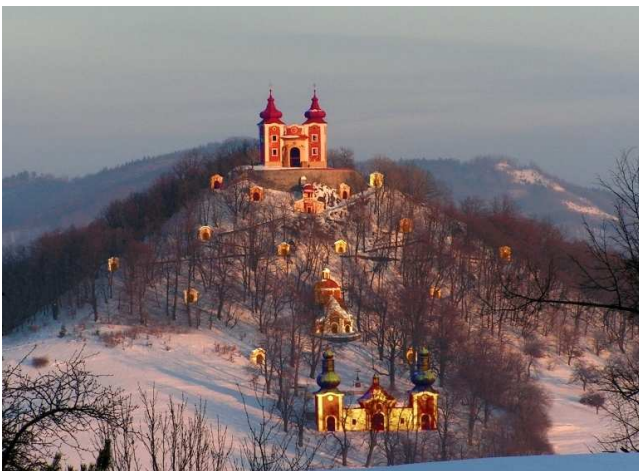
## Návrh iluminácie kalvárie v Banskej Štiavnici

**Abstrakt.** Banskoštiavnická Kalvária predstavuje rozsahom i obsahom unikátny architektonicko-krajinný celok. Je najvýznamnejšou barokovou kalváriou na Slovensku. Celý komplex sa skladá z 25-tich kaplniek, z toho troch kostolov so vzácnou maľovanou výzdobou. Obsahuje drevený a kováčsky mobiliár a drevené maľované reliéfy. Objekty kaplniek a kostolov sú zasadené do svahu utuženého lávového stĺpa uprostred vyhasnutej sopky – kopca Scharffenberg (Ostrý vrch). Príspevok prezentuje návrh iluminácie.

**Kľúčové slová:** kalvária v Banskej Štiavnici, iluminácia, slávnostné osvetlenie,

### Úvod

Kalvária leží na východnom okraji mesta Banská Štiavnica približne 2 km od centra, ktorého počiatky súvisia s výskytom striebra a zlata. Zo samotného vrchu kalvárie je vynikajúci výhľad na všetky svetové strany. A naopak horný kostol zase pôsobí majestátne z diaľkových pohľadov.



Obr.1. Zimný pohľad na Kalváriu

Návrh iluminácie bol zrealizovaný spoluprácou pracovníkov a študentov Fakulty architektúry a Fakulty elektrotechniky a informatiky Slovenskej technickej univerzity v Bratislave. Požiadavka znela osvetliť sakrálne stavby na Banskoštiavnickej Kalvárii. Keďže spodný kostol je už osvetlený, predmetom návrhu sú kaplnky, stredný a horný kostol.

### Základné požiadavky pre osvetľovanie

Na osvetľovanie Banskoštiavnickej kalvárie boli kladené vysoké nároky z viacerých hľadísk:

- architektonická náročnosť: osvetlenie nesmie pôsobiť rušivo, oslňovať pozorovateľa pri sledovaní okolia Banskej Štiavnice z vrcholu kopca od horného kostola,

- vyhotovenie svietidiel musí byť také, aby odolávalo poveternostným vplyvom, a vandalizmu,

- osvetľovacia sústava nesmie byť umiestnená na stožiaroch (čo robí problém pri osvetľovaní striech, najmä pri hornom kostole,

- jas osvetľovaných fasád by nemal byť väčší ako  $5 \text{ cd}\cdot\text{m}^{-2}$ .

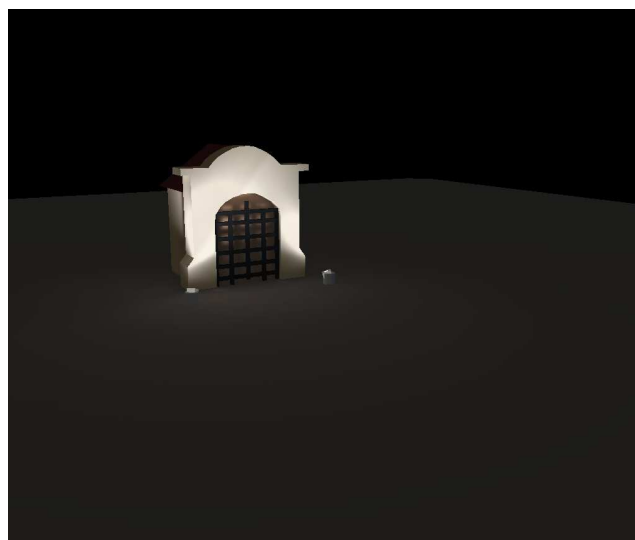
### Osvetlenie kaplniek

Jednou z hlavných požiadaviek pri osvetlení kaplniek bolo aby sa na uchytenie svietidiel nepoužili stožiare. Ich veľký počet by pôsobil rušivo. Preto navrhnuté osvetlenie je smerované zo zeme.



Obr.2. Detail jednej z kaplniek na kalvárii

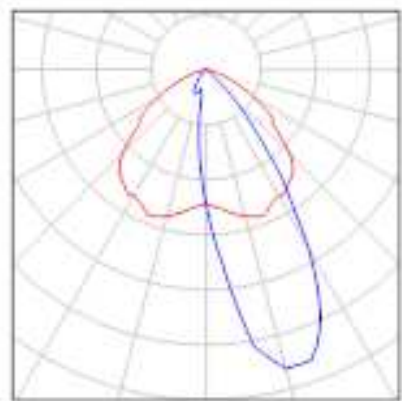
Navrhnutých bolo niekoľko variantov, pričom prvý uvažuje použitím svietidiel s LED svetelným zdrojom. Svietidlá sú zabudované v zemi.



Obr.3. Vizualizácia osvetlenia kaplnky



2 ks Philips LEDflood Recessed BBP731  
 9xLED-K2-U00/CW A  
 C. výrobku:  
 Světelný tok svítidla: 900 lm  
 Výkon svítidla: 0.0 W  
 Klasifikace svítidel dle CIE: 100  
 Kód CIE Flux Code: 70 95 100 100  
 57  
 Osazení: 9 x LED-K2-U00/CW  
 (Opravný faktor 1.000).

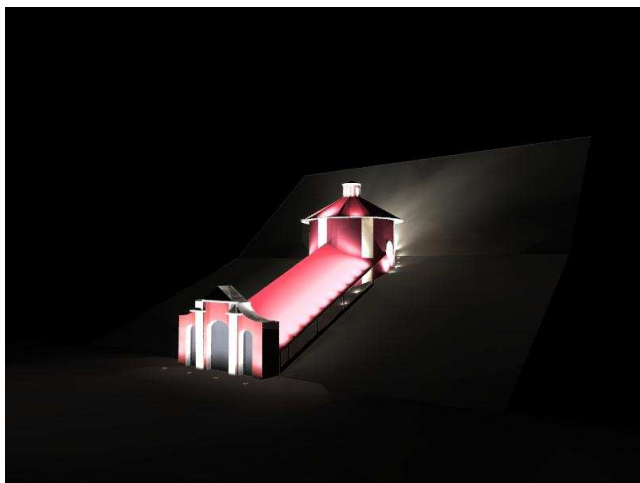


Obr.4. LED svietidlá pre osvetlenie kaplniek

### Osvetlenie stredného kostola

Stredný kostol je umiestnený vo svahu a jeho stavba stúpa smerom hore do kopca. Pri návrhu osvetlenia sme museli dbať na to, aby nedochádzalo k oslneniu pozorovateľov z horného kostola.

Pri tomto návrhu bolo veľmi dôležité zosúladiť návrhy architekta s reálnymi možnosťami a to jednak s technickými a jednak s finančnými.



Obr.5. Vizualizácia osvetlenia stredného kostola

Architekt definoval dôležité časti kostola, ktoré bolo vhodné zvýrazniť. Použité sú LED svietidlá v kombinácii so svietidlami s halogenidovými výbojkami.

Aby bola splnená požiadavka maximálneho jasú fasády  $5 \text{ cd.m}^{-2}$ , svetelný tok svietidiel na priečelí bol smerovaný na piliere, ktoré potom zvýraznia celú prednú fasádu. Osvetlenie strechy je riešené lineárnymi LED svietidlami.

### Osvetlenie horného kostola

Horný kostol má tvoriť dominantu kopca Banskoštiavnickej Kalvárie na ktorú sa ma zamerať pozorovateľ z rôznych pohľadov. Kalvária má byť jednu z dominant Banskej Štiavnice. Preto bolo potrebné pri osvetľovaní kostola obmedziť použitie vysokých stožiarov, aby nepôsobili rušivo.

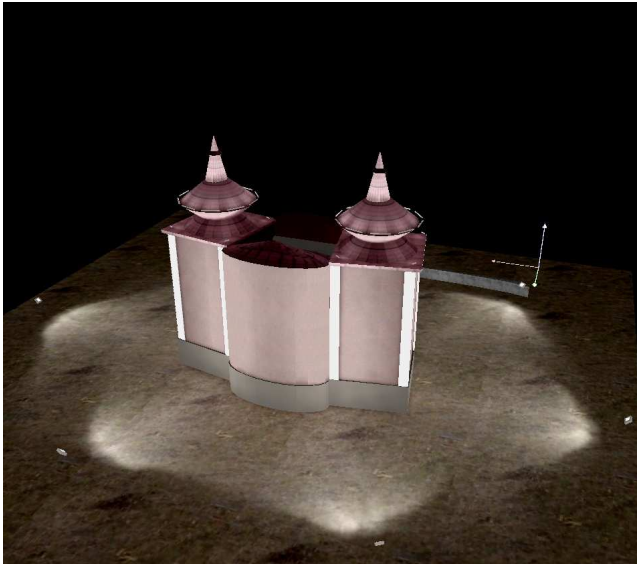
Navrhnutá osvetľovacia sústava je tvorená svietidlami s halogenidovými výbojkami a lineárnymi LED line svietidlami. Halogenidové výbojky osvetľujú fasády kostola zo všetkých štyroch strán a čiastočne aj strechu. Pre lepšie modelovanie kopúl strechy sú použité svietidlá LED line umiestnené priamo na streche.



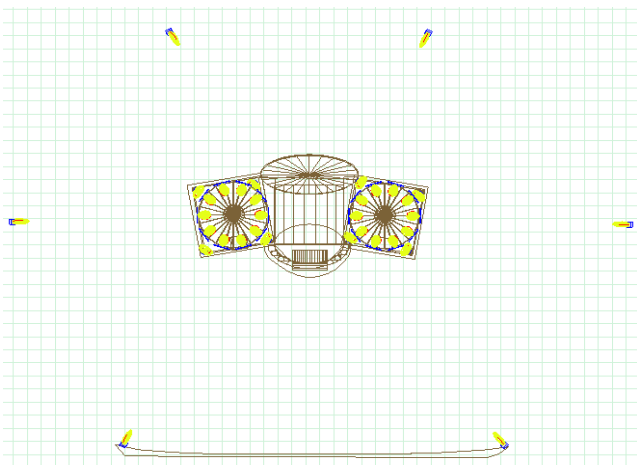
Obr.6. Osvetlenie horného kostola



Obr.7. Osvetlenie horného kostola – čelný pohľad



Obr.8. Osvetlenie horného kostola – pohľad zozadu



Obr.9. Rozmiestnenie svietidiel okolo horného kostola

## Záver

Mesto Banská Štiavnica tvorí významné historické dedičstvo Slovenska a tomu zodpovedá aj povinnosť pristupovať k nemu s rešpektom, aby sa zachovalo vo svojej kráse aj pre budúce generácie. To bol prvoradáci cieľ, ktorý sme si kládli pri návrhu osvetlenia kalvárie. Samotné návrhy obsahovali niekoľko variantov, pričom v príspevku uvádzame iba tie najprepracovanejšie. Výber konkrétneho riešenia bude závisieť najmä od finančných možností v závislosti od získaných prostriedkov.

V súčasnosti je mesto Banská Štiavnica zaradené do svetového dedičstva UNESCO.

## Použitá literatúra

[1] Kiss, P.: Osvetlenie sakrálnych priestorov. Bratislava: STU FEI, 2009. Diplomová práca.

**Autori:** Ing. František Krasňan, PhD., Ing. Pavol Kiss, Prof. Ing. Alfonz Smola, PhD., Slovenská technická univerzita v Bratislave, Fakulta elektrotechniky a informatiky, Ilkovičova 3, 812 19 Bratislava, Slovenská republika, e-mail: frantisek.krasnan@stuba.sk, alfonz.smola@stuba.sk

## Veľkoplošné LED obrazovky a bezpečnosť na cestách

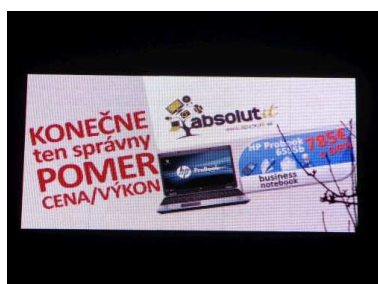
**Abstrakt.** Čím ďalej častejšie možno stretnúť na križovatkách alebo popri cestách v meste veľkoplošné reklamné LED obrazovky. Ich uhlopriečka nezriedka dosahuje aj viac ako desať metrov a sú umiestňované do najfrekventovanejších častí miest. Keďže je to fenomén posledných rokov, nie sú doposiaľ známe štúdie či a v akej miere tieto obrazovky vplyvajú na riziko dopravných nehôd a či je vôbec vhodné ich umiestňovanie práve na križovatkách a v tesnej blízkosti frekventovaných úsekov ciest. Súhlas k inštalácii takejto obrazovky musí dať v prvom rade mesto a tiež dopravný inšpektorát. Ako však dať súhlasné stanovisko, keď nie sú známe legislatívne požiadavky, ktoré by mali tieto obrazovky spĺňať? Príspevok pojednáva o súčasnom stave na Slovensku a o platnej európskej legislatíve, z ktorej možno pri posudzovaní veľkoplošných LED obrazoviek vychádzať a prezentuje reálne merania vykonané na Slovensku.

**Kľúčové slová:** oslnenie v doprave, bezpečnosť cestnej premávky, meranie jasu LED obrazoviek

### Úvod

Jasy moderných veľkoplošných LED obrazoviek, ktoré sa používajú ako reklamné plochy na križovatkách, frekventovaných komunikáciách a na námestiach, v súčasnosti dosahujú hodnoty prekračujúce  $10\,000\text{ cd.m}^{-2}$ . Takto vysoké jasy počas dňa nespôsobujú problémy, ba naopak, vysoký jas zabezpečuje, že obrazovky sú čitateľné i počas slnečného dňa.

Ak by bola obrazovka prevádzkovaná pri plnom výkone, hrozilo by veľké riziko dopravných nehôd. LED obrazovky sú však konštruované tak, aby bolo možné ich jas plynule regulovať. Pri niektorých typoch sa regulácia jasu vykonáva podľa časového harmonogramu naprogramovaného na každý deň v roku, niektoré využívajú fotosnímač.



Obr.1. Veľkoplošná LED obrazovka v Bratislave - Prievoz

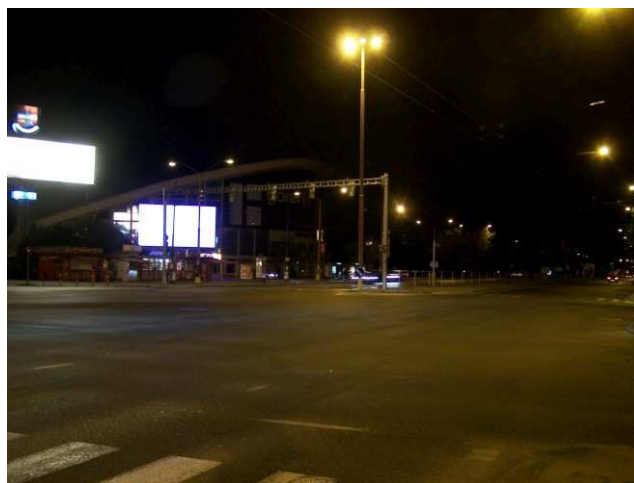
Problémy však môžu nastať večer po západe slnka. Vysoký jas veľkoplošnej obrazovky v noci, kedy sú adaptačné jasy menšie ako  $1\text{ cd.m}^{-2}$  by mohol spôsobiť obmedzujúce ba až oslepujúce oslnenie. Pri pokusoch ktoré sme vykonávali v Bratislave na najfrekventovanejších križovatkách prichádzalo doslova „k oslepeniu“ už pri jasoch obrazovky vyšších ako  $3500\text{ cd.m}^{-2}$ .



Obr. 3: Pohľad do križovatky – obrazovka s nastavením na maximálny jas



Obr.2. Veľkoplošná LED obrazovka na športovej hale v Bratislave



Obr. 4: Rovnaká obrazovka s minimálnym jasom.

## Legislatívne požiadavky

Požiadavky na jas veľkoplošných LED obrazoviek z hľadiska bezpečnosti cestnej premávky nie sú doposiaľ v legislatíve obsiahnuté. Existuje však legislatívne obmedzenie z hľadiska pôsobenia rušivého svetla v životnom prostredí. Jedná sa konkrétne o normu STN EN 12464-2:2009 Osvetlenie pracovísk. Časť 2: Vonkajšie pracoviská a tiež o vyhlášku Ministerstva zdravotníctva SR č. 539/2007 Z.z. zo 16. augusta 2007 o podrobnostiach o limitných hodnotách optického žiarenia a požiadavkách na objektivizáciu optického žiarenia v životnom prostredí, v ktorej sa uvádza:

(1) Osvetľovacie zariadenia vo vonkajšom prostredí, ako sú reklamné pútače, osvetľovacie zariadenia nádvorí závodov, stavebných dvorov, parkovísk a podobné zariadenia okrem verejného osvetlenia sa navrhujú, realizujú a používajú tak, aby svetlo z týchto zariadení v čo najmenšej miere dopadalo na okná obytných miestností v ich okolí. Ak sa dopadu svetla z týchto zariadení na okná obytných miestností nedá zamedziť, nesmú byť prekročené limitné hodnoty rušivého svetla uvedené v tabuľke:

Tab. 1: Limitné hodnoty rušivého svetla

Ekologická zóna	Limitné hodnoty rušivého svetla z vonkajších svetelných zariadení					
	$E_v$ [lx]		I [kcd]		$L_{av}$ [cd.m <sup>-2</sup> ]	$L_{max}$ [cd.m <sup>-2</sup> ]
	do 22.00 h	po 22.00 h	do 22.00 h	po 22.00 h	do 22.00 h	do 22.00 h
E1	2	1	2,5	0	0	0
E2	5	1	7,5	0,5	5	10
E3	10	2	10	1,0	10	60
E4	25	5	25	2,5	25	150

Vysvetlivky:  
 E1 prírodné tmavé územia, národné parky, chránené oblasti  
 E2 územia s nízkym jasom, vidiecke osídlenie, okrajové časti malých miest  
 E3 centrá malých miest, urbanizované územia v okolí centier veľkých miest  
 E4 zóny s vysokým jasom, centrá veľkých miest, zóny s vysokou aktivitou v noci  
 $E_v$  vertikálna osvetlenosť vonkajšej plochy okna  
 I svietivosť zdrojov svetla v smere možného rušenia  
 $L_{av}$  priemerný jas fasád budov – odporúčané hodnoty  
 $L_{max}$  maximálny jas fasád budov – odporúčané hodnoty

Podobná tabuľka je aj v STN EN 12464-2, avšak v poslednom stĺpci obsahuje požiadavky na reklamné a informačné tabule, medzi ktoré možno zaradiť aj LED obrazovky.

Tab. 2: Najvyššie prípustné hodnoty rušivého svetla z vonkajších osvetľovacích sústav podľa STN EN 12464-2

Zóna prostredia	Svetlo na objektoch		Svietivosť zdroja		Podiel horného toku	Jas	
	$E_v$ lx		I cd		ULR %	$L_b$ cd.m <sup>-2</sup>	$L_s$ cd.m <sup>-2</sup>
	Mimo času nočného pokoja <sup>a)</sup> NP	V čase nočného pokoja	Mimo času nočného pokoja	V čase nočného pokoja		Priečelie budovy	Reklamné a informačné tabule
E1	2	0	2 500	0	0	0	50
E2	5	1	7 500	500	5	5	400
E3	10	2	10 000	1 000	15	10	800
E4	25	5	25 000	2 500	25	25	1 000

<sup>a)</sup> Ak nejestvujú predpisy o čase nočného pokoja, nesmú sa prekročiť vyššie hodnoty a nižšie hodnoty sa majú považovať za odporúčané.

- E1 - sú prírodné tmavé územia ako národné parky alebo chránené oblasti,
- E2 - sú územia s nízkym jasom oblasti ako priemyselné alebo obytné vidiecke oblasti,
- E3 - sú územia so stredným jasom oblasti ako priemyselné alebo obytné prímestské oblasti,
- E4 - sú územia s vysokým jasom oblasti ako mestské centrá a obchodné zóny,

a kde

$E_v$  - je maximálna hodnota zvislej osvetlenosti na mieste imisie v lx,

I - je svietivosť každého svetelného zdroja v smere možného rušenia v cd,

ULR - je pomerná časť svetelného toku svietidla (svetidiel), vyžiarená nad horizont v jeho (ich) inštalovanom mieste a polohe, v %

$L_b$  - je najvyšší priemerný jas priečelia budovy v cd.m<sup>-2</sup>

$L_s$  - je najvyšší priemerný jas reklamných a informačných tabúl v cd.m<sup>-2</sup>.

Z našich subjektívnych skúseností získaných počas meraní obrazoviek na rôznych križovatkách najmä v Bratislave môžeme konštatovať, že pri dodržaní najvyššieho priemerného jasu reklamných a informačných tabúl  $L_s$  podľa STN EN 12464-2 je oslnenie prijateľné aj z hľadiska bezpečnosti cestnej premávky.

Preto odporúčame, aby sa tieto limitné hodnoty používali pri hodnotení LED obrazoviek aj z hľadiska bezpečnosti cestnej premávky až do času, pokiaľ nebudú vykonané a vyhodnotené podrobnejšie štúdie.

## Metodika merania jasu LED obrazoviek

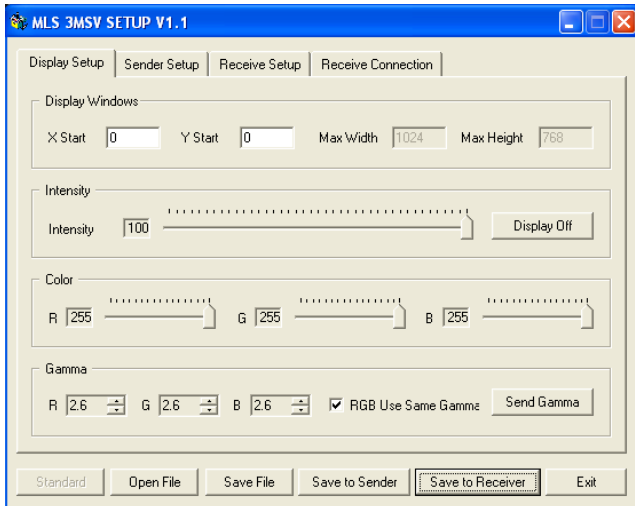
Jas LED obrazoviek sa v prevádzke neustále mení. Zobrazované videosekvencie sú často tak dynamické, že meranie priemerného jasu veľkoplošnej LED obrazovky klasickým jasomerom je problematické. Určitú možnosť pre meranie ponúka použitie jasového analyzátor s CCD snímačom, avšak ani toto meranie nezabezpečí, že jas nepresiahne limitné hodnoty, pretože prevádzkovatelia LED obrazoviek samotné videospoty často menia.



Obr. 5: Klasický jasomer a jasový analyzátor s CCD snímačom

Z hľadiska merania a následne správneho nastavenia obrazovky je potrebné zaistiť, aby ani v tom najnepriaznivejšom stave neboli prekročené limitné hodnoty.

Ako možné riešenie tohto problému navrhujeme meranie vykonávať pri statickom obraze s bielou farbou celej LED obrazovky. Pri bielej farbe je priemerný jas LED obrazovky pri rovnakom nastavení najvyšší v porovnaní s inými farbami alebo videosekvenciami.

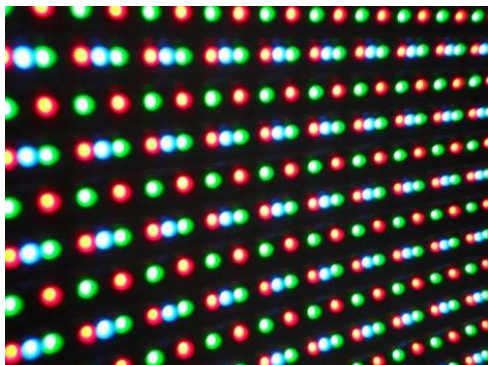


Tab. 6: Príklad nastavenia parametrov LED obrazovky v programe

Postupným znižovaním jasu obrazovky je potrebné dosiahnuť hodnoty nižšie, ako požaduje STN EN 12464-2.

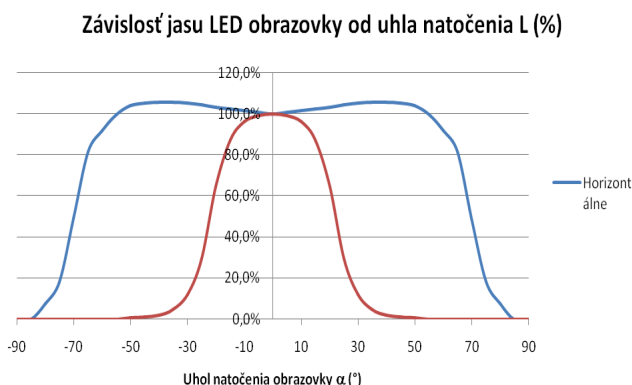
### Výber meracích bodov

Smerová charakteristika obrazovky nemusí, ako sa na prvý pohľad zdá, byť vždy kosínusová. V súčasnosti existujú rôzne druhy LED diód, z ktorých sú obrazovky vytvárané. Keďže snahou výrobcu LED obrazovky je zabezpečiť, aby pozorovací uhol obrazovky bol čo najvyšší, niektorí si nechávajú na objednávku vyrábať LED so špeciálnou optikou.



Obr.7. Detail svetelných zdrojov LED na veľkoplošnej obrazovke

Príklad smerovej charakteristiky LED obrazovky možno vidieť na nasledovnom obrázku.



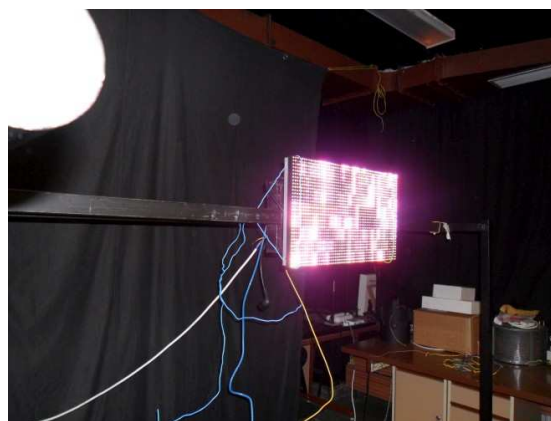
Obr. 8: Jas LED obrazovky v závislosti od uhla natočenia

Túto charakteristiku je potrebné pri meraní jasu LED obrazoviek zohľadniť. Ak je obrazovka už nainštalovaná v exteriéri a definitívne nasmerovaná, potom je potrebné vykonať meranie jasu zo všetkých miest, z ktorých by pri obvyklom smere pohľadu mohlo dochádzať k oslňovaniu. Na križovatke to môžu byť tri alebo aj viac meracích miest. Ako výsledné treba potom vziať najhoršie namerané hodnoty.



Obr. 9: Pohľad na LED obrazovku z križovatky (príklad)

Ak sa posudok vykonáva ešte pred nainštalovaním obrazovky, je možné použiť smerovú charakteristiku od výrobcu alebo ju zmerať v laboratóriu (stačí zmerať jeden modul, z ktorých bude obrazovka zložená). Pre zistenie jasu obrazovky, resp. nastavenie jej jasu tak, aby vyhovoval pre príslušnú ekologickú zónu, je potrebné uvažovať s maximálnym jasom v ktoromkoľvek smere, nie iba v kolmom smere.



Obr. 10: Meranie jasu LED panelu na goniofotometri

### Záver

Počet inštalovaných veľkoplošných LED obrazoviek na Slovensku každým rokom rastie. S vývojom nových LED samozrejme rastie aj kvalita veľkoplošných LED obrazoviek, pričom „kvalita“ znamená najmä veľkosť maximálneho jasu. Mnohé z inštalovaných LED obrazoviek neboli vôbec objektívne merané alebo sú prevádzkované tak, že ich jas prekračuje povolené hodnoty. Reklamné LED obrazovky sú brané ako stavby a pre ich prevádzku je potrebné mať príslušné povolenia. Ak ich prevádzka nebola schválená, z pohľadu štátnych orgánov sú pokladané za čierne stavby a ich prevádzkovateľ môže byť sankcionovaný.

## Použitá literatúra

[1] STN EN 12464-2, Osvetlenie pracovísk. Časť 2: Vonkajšie pracoviská. Bratislava: SÚTN, 2009.

[2] Vyhláška 539/2007 Z.z. o podrobnostiach o limitných hodnotách optického žiarenia a požiadavkách na objektivizáciu optického žiarenia v životnom prostredí. MZSR: 2007

---

**Autori:** Ing. František Krasňan, PhD., Ing. Anton Rusnák, Slovenská technická univerzita v Bratislave, Fakulta elektrotechniky a informatiky, Ilkovičova 3, 812 19 Bratislava, Slovenská republika, e-mail: frantisek.krasnan@stuba.sk, anton.rusnak@stuba.sk

# Analysis of Effectiveness of Hybrid System for Power of Public Lighting

**Abstract.** Installation of hybrid off-grid systems is useful in places where it is not possible to use an ordinary connection to the distribution network, or in places where such a connection would be either expensive, or difficult. In this article, we draw conclusions from system efficiency analysis based on partial system component measurement.

**Keywords:** Hybrid Grid-off Power System, Wind Power Plant, Photovoltaic System

## Úvod

V současné době jsou stále více populární tzv. hybridní obnovitelné zdroje elektrické energie. Ve většině případů se jedná o paralelní spolupráci větrné a fotovoltaické elektrárny, přičemž výkon z jednotlivých zdrojů je využit pro nabíjení akumulčního zařízení, ze kterého je následně hrazena spotřeba elektrické energie v samostatné izolované napěťové soustavě. V případě hybridních zdrojů elektrické energie je využita časově odlišná závislost provozu jednotlivých zdrojů. V praxi to znamená, že v zimních měsících, kdy je převažující pro provoz hybridního zdroje energie z větrného proudění, je akumulční zařízení nabíjeno energií z větrné elektrárny. Naopak, v letních měsících, kdy počet dnů s optimálním větrným prouděním je minimální, je akumulčního zařízení nabíjeno energií z fotovoltaických panelů.

Spojením dvou obnovitelných zdrojů s odlišným principem konverze elektrické energie vzniká jednotný hybridní zdroj s možností napájení izolovaných napěťových soustav, přičemž uvedenou kombinací provozu jednotlivých zdrojů je významně zvýšen a stabilizován interval dodávky elektrické energie. Takto vytvořených hybridních systémů je možné využít pro napájení odlehlých chatových osad, rodinných domů, systém je taktéž využitelný při napájení veřejného osvětlení, tunelů, počítačových serverů, prostě všude tam, kde by vybudování přípojky na veřejnou síť bylo problematické a taktéž všude tam, kde jsou zvýšeny nároky na stabilitu dodávky elektrické energie.

## Hybridní systém napájení VŠB-TU Ostrava

Na VŠB-TU Ostrava byl vytvořen hybridní systém sestávající se z fotovoltaické (130 Wp) a větrné elektrárny (200 W), které společně nabíjejí akumulátorovou baterii (340 A·h) viz. obr. 1 a obr. 2.



Obr.1. Hybridní systém elektrické energie na VŠB-TU Ostrava

Základní parametry zmíněných obnovitelných zdrojů elektrické energie jsou uvedeny v tabulce 1 a 2. Hybridní zdroj je využit pro napájení svítidla veřejného osvětlení s LED světelným zdrojem 40 W.

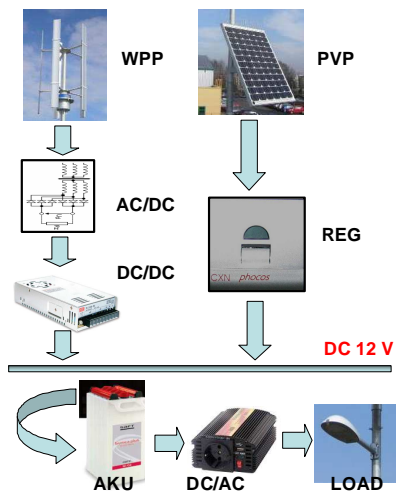
Tabulka 1. Jmenovité parametry fotovoltaického panelu

Typ	Jmenovitý výkon (Wp)	Jmenovité napětí (V)	Jmenovitý proud (A)
Polykrystalický panel	130	17,6	7,4

Tabulka 2. Jmenovité parametry synchronního generátoru

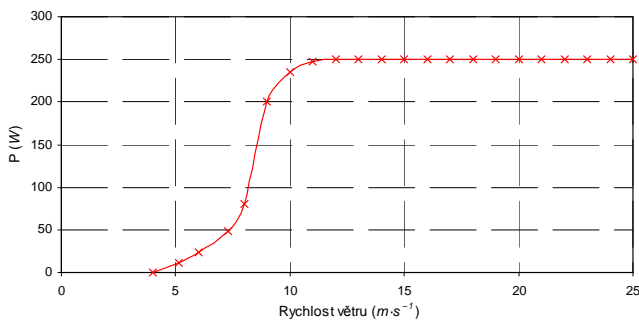
Typ	Jmenovitý výkon (W)	Jmenovité napětí (V)	Jmenovitá otáčky (min <sup>-1</sup> )
3fázový synchronní generátor s permanentními magnety	200 W	31 V	350

Jako zdroj elektrické energie větrné elektrárny je využit 3fázový synchronní generátor buzený permanentními magnety. Výkon ze synchronního generátoru je usměrněn pomocí AC/DC convertoru a pomocí DC/DC convertoru je taktéž snížena hodnota výstupního napětí na stabilizovanou hodnotu 14 V DC. Fotovoltaická elektrárna sestává z polykrystalického panelu orientovaného na jižní stranu se sklonem panelu 35°. Pomocí regulátoru je výkonem z fotovoltaické elektrárny nabíjena akumulátorová baterie 12 V, 340 A·h s NiCd články. Svítidlo veřejného osvětlení je následně napájeno z akumulátorové baterie přes DC/AC convertor. Kapacita akumulátorové baterie byla dimenzována na 14 denní odběr bez nabíjecího příkonu z jednotlivých elektráren.



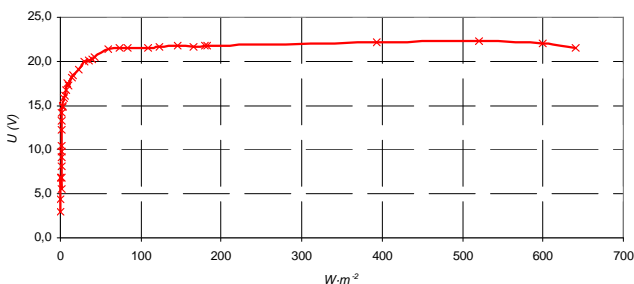
Obr.2. Blokové schéma hybridního systému

Při výběru jednotlivých zdrojů elektrické energie hybridního systému byla rozhodující tzv. výkonová křivka. Jedná se o závislost výstupního elektrického výkonu na veličině charakterizující příkon jednotlivých zdrojů elektrické energie. V případě větrné elektrárny se jedná o závislost výstupního elektrického výkonu na rychlosti větru, v případě fotovoltaické elektrárny pak o závislost výstupního elektrického výkonu na intenzitě slunečního záření. Na obr. 3 je zobrazena výkonová křivka pro větrnou elektrárnu 200 W hybridního systému VŠB-TU Ostrava.



Obr.3. Výkonová křivka větrné elektrárny

Jako větrný motor je použit motor s vertikální osou otáčení, který byl vybrán pro nízkou startovací rychlost. U obr. 3 je zřejmá startovací rychlost cca  $4 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ , maximální hodnota výstupního výkonu je dosažena při hodnotě  $10 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ . Při vyšších rychlostech je větrný motor brzděn odporem vzduchu, který je vytvářen víry v okolí lopatek větrného motoru při vyšších obvodových rychlostech. Výkon z fotovoltaického panelu je závislý na množství energie slunečního záření definovaného na jednotkovou plochu  $\text{m}^2$  viz. obr. 4.

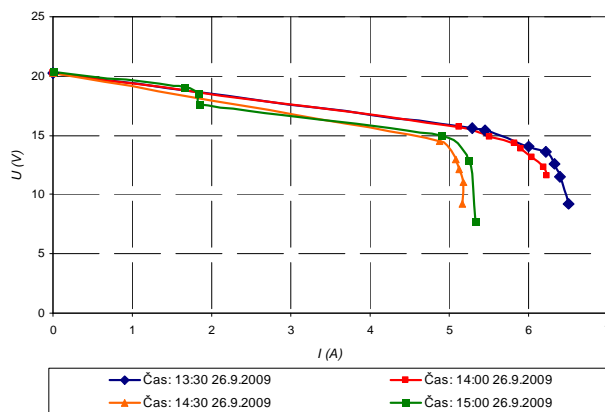


Obr.4. Výkonová křivka fotovoltaické elektrárny

## Analýza účinnosti hybridního systému VŠB-TU Ostrava

Účinnost přeměny elektrické energie větrné elektrárny je možné zvýšit optimalizací větrného motoru, optimalizací systému řízení či výběrem vhodné lokality a stanovením optimální výšky umístění větrného motoru. Pokud se jedná o fotovoltaickou elektrárnu, je účinnost přeměny závislá především na použité technologii, orientaci fotovoltaického panelu a v neposlední řadě samozřejmě taktéž na volbě vhodné lokality.

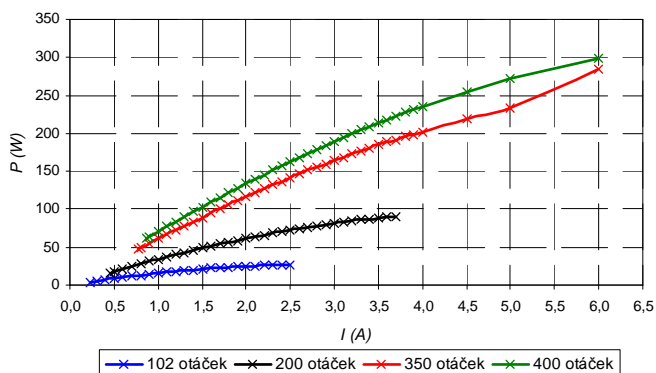
V případě fotovoltaických a větrných elektráren není výstupní úroveň a tvar napětí využitelná pro přímé využití napájení spotřeby, proto je nutné použít řadu dodatečných konverzních zařízení pro úpravu výstupního napětí podle požadavků zátěže. V případě hybridního zdroje elektrické energie, který sdružuje dva technologicky odlišné obnovitelné zdroje je volba vhodných konverzních zařízení velmi problematická. Problematické je především nastavení součinnosti provozu jednotlivých zdrojů s ohledem na specifické podmínky provozu akumulátorových baterií, které vyžadují pomalé nabíjecí a vybíjecí procesy. Volbu vhodných konverzních komponentů je nutné první přizpůsobit V-A charakteristice samostatně pracujícího zdroje elektrické energie. U fotovoltaického panelu se jedná o charakteristické průběhy výstupního napětí panelu při různém zatížení, které se budou měnit taktéž v závislosti na energii slunečního záření. Na obr. 5 je zobrazena ukázka V-A charakteristiky fotovoltaického panelu, který je součástí hybridního zdroje, pro různé denní intervaly. Podle uvedené charakteristiky a dále taktéž podle požadavků na limity nabíjecího a vyvíjecího procesu akumulátorové baterie, je pak nutné zvolit regulátor, pomocí něhož je akumulátorová baterie nabíjena.



Obr.5. V-A charakteristika fotovoltaické elektrárny

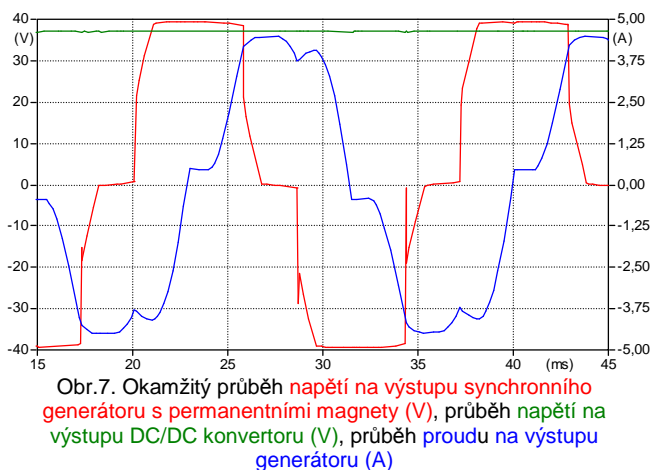
V případě optimalizace jednotlivých konverzních prvků pro úpravu napěťového signálu z generátoru větrné elektrárny je situace mnohem složitější. Výstupní napětí ze synchronního generátoru s permanentními magnety je nutné usměrnit a stabilizovat na hodnotu napětí potřebnou pro nabíjecí proces akumulátorové baterie. Pro usměrnění výstupního napěťového signálu je možné využít neřízený můstkový usměrňovač. Takto získaný napěťový DC signál je však nutné dále upravit na požadovanou úroveň a především stabilizovat s ohledem na zátěžovací charakteristiku generátoru s permanentními magnety. Na obr. 6 je zobrazena zmiňovaná charakteristika pro generátor použitý v hybridním systému VŠB-TU Ostrava.



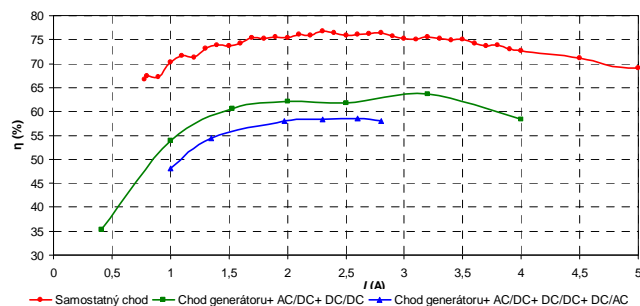


Obr.6. Zátěžovací charakteristika synchronního generátoru s permanentními magnety

Synchronní generátor s permanentními magnety nemá možnost regulace úrovně napětí, toto je přímo úměrné otáčkám generátoru a je vyjádřeno napěťovou konstantou. Velikost výstupního výkonu na svorkách synchronního generátoru s permanentními magnety pak bude úměrná otáčkám generátoru, přičemž pracovní bod stroje se bude pohybovat v závislosti na daném zatížení stroje viz. obr. 6. Úměrně velikosti napětí na výstupu ze synchronního generátoru se bude měnit i velikost stejnosměrného signálu na výstupu z usměrňovače, s ohledem na podmínky nabíjecího procesu akumulátorové baterie je tedy vhodné použít DC/DC, na jehož výstupu je možné nastavit požadovanou stabilizovanou úroveň napětí. Při použití polovodičové techniky je však nutné počítat s deformací napěťových i proudových signálů, která je způsobena zpětným vlivem uvedené polovodičové techniky. Příklad okamžitých průběhů sdruženého napětí na výstupu synchronního generátoru, napětí na výstupu z DC/DC konvertoru a proudu do zátěže je ukázán na obr. 7. Z obrázku je zřejmá deformace napěťového i proudového signálu vlivem spínací frekvence DC/DC konvertoru.



Obr.7. Okamžitý průběh napětí na výstupu synchronního generátoru s permanentními magnety (V), průběh napětí na výstupu DC/DC konvertoru (V), průběh proudu na výstupu generátoru (A)



Obr.8. Analýza účinnosti hybridního systému

Deformace sledovaných veličin při použití polovodičové techniky není však jediným negativním ovlivněním provozu hybridního systému. Každé konverzní zařízení pracuje s určitou účinností, která se promítne do vyhodnocení celkové účinnosti hybridního systému. Celková účinnost systému je pak vypočtena jako součin jednotlivých účinností komponentů systému. V laboratoři VŠB-TU Ostrava byla sledována účinnost hybridního systému pro případ použití různých konverzních zařízení. Analýza byla provedena pro řetězec: synchronní generátor s permanentními magnety-AC/DC konvertor-DC/DC konvertor-DC/AC konvertor-odporová zátěž. Analýza byla provedena pro jmenovité otáčky stroje, tedy  $350 \text{ min}^{-1}$ . Pokud pracuje synchronní generátor přímo do zátěže, jedná se o ideální variantu provozu s ohledem na účinnost zařízení, která se pohybuje v rozmezí (67-78)%, přičemž maximální účinnosti je dosaženo v oblasti jmenovitého zatížení stroje. Pokud bychom na úpravu napěťového signálu dále použili AC/DC konvertor a DC/DC konvertor pro stabilizaci napětí, účinnost systému je snížena na hodnotu 64%. K dalšímu snížení účinnosti na hodnotu 57% pro jmenovitou zátěž dojde v případě zařazení střídače. Výsledky zmíněné analýzy účinnosti hybridního systému jsou graficky prezentovány na obr. 8.

## Závěr

V době, kdy se klade stále větší důraz na energetickou nezávislost, dostává se do popředí využití tzv. hybridních systémů, které kombinují spolupráci dvou na sobě vzájemně nezávislých příkladně obnovitelných zdrojů elektrické energie. S využitím hybridních systémů je možné napájet odlehle oblasti, pro které by bylo vybudování veřejné přípojky na distribuční soustavu nákladné, nebo napájet odběrná místa, kde je nutné zajistit nezávislost na distribuční soustavě. Při volbě jednotlivých komponent hybridního systému je nutné zvážit řadu kritérií, tak aby celková účinnost systému byla co nejvyšší. V rámci příspěvku je ukázána analýza účinnosti hybridního systému, který byl vybudován na VŠB-TU Ostrava. Hybridní systém využívá spolupráci dvou nejrozšířenějších obnovitelných zdrojů elektrické energie, a to spolupráci větrné a fotovoltaické elektrárny. S výsledků uvedených v příspěvku vyplývá náročnost výběru jednotlivých komponent systému, jelikož se jedná o složitý komplexní systém, kdy do výběru komponent je nutné zahrnout požadavky a nároky akumulčního zařízení, dále charakteristiku výstupního výkonu větrné a fotovoltaické elektrárny a v neposlední řadě investiční náklady. Při přípravě realizace hybridního systému je tedy nutné vycházet nejprve z dimenzování kapacity akumulčního zařízení na daný odběr, pokračovat ve volbě vhodného zdroje elektrické energie s ohledem na klimatické podmínky dané lokality a zvážit výběr vhodných konverzních zařízení ve výkonovém řetězci hybridního systému.

This work was supported by the Ministry of Education, Youth and Sports of the Czech Republic (ENET No. CZ.1.05/2.1.00/03.0069) and project MSM 6198910007 and also project SP2011/130.

#### REFERENCES

- [1] Mišák, S., Mach, V.: OPTIMIZING WIND POWER PLANTS RUNNING WITH USING PROGRAM EMTP-ATP, *Advances in Electrical and Electronic Engineering* 2008, 7/2008, s. 52-56, ISSN 1336-1376
- [2] Mišák, S., Prokop, L., Sikora, T.: Provoz větrných elektráren s frekvenčními měniči. 10/2008 *ELEKTRO*, s. 4-6, ISSN 1210-0889
- [3] Mišák, S., Prokop, L., Sikora, T., Krejčí, P.: Zpětné vlivy provozu větrných elektráren na distribuční síť, *Energetika* 2008, s.14
- [4] SAFT [online]. 2010-[cit. 2010-01-19]. Available from ><http://www.saftbatteries.com/DownloadCentre/Technicalcommercialdocuments/tabid/84/Language/en-US/Default.aspx?prodId=43>
- [5] Bright Green Energy [online]. 2010-[cit. 2010-01-19]. Available from >

[http://www.brightgreenenergy.co.uk/stand\\_alone\\_power\\_system\\_design.asp](http://www.brightgreenenergy.co.uk/stand_alone_power_system_design.asp).

- [7] MISAK, Stanislav; PROKOP, Lukas: Off-Grid Power Systems. In *International Conference on Environment and Electrical Engineering* 2010. 2010, ISBN 978-1-4244-5370-2, pg. 23-26
- [8] MISAK, Stanislav; PROKOP, Lukas: Technical – Economic Analysis of Hybrid Off-Grid Power System. In *proceedings of 11th International Scientific Conference Electric Power Engineering* 2010; (IEEE EPE 2010), 2010, Brno:VUT Brno, ISBN 978-80-214-4094-4
- [9] BILIK, Petr; MISAK Stanislav; KVAPIL Jakub: Monitoring of Hybrid Supply System for Public Lighting. In *proceedings of 21st International Conference on Electricity Distribution*. 2011, Frankfurt, ISBN in progress.

**Authors:** Assoc. prof. Dipl. Ing. Stanislav Mišák, Ph.D., [stanislav.misak@vsb.cz](mailto:stanislav.misak@vsb.cz)  
Dipl. Ing. Lukáš Prokop, Ph.D., [lukas.prokop@vsb.cz](mailto:lukas.prokop@vsb.cz)  
Technical University of Ostrava, FEI, Department of Electrical Power Engineering, 17. listopadu 15, 708 33 Ostrava, Czech Republic

## Energetické a provozní úspory při zavádění LED svítidel do soustav veřejného osvětlení

**Abstract.** *Zavádění moderních LED technologií do soustav veřejného osvětlení by mělo přinést snížení provozních nákladů. Jak pro dlouhodobé ekonomické plánování nákladů na provoz VO seriózně odhadnout tento pokles v závislosti na růstu procentuelního zastoupení nových LED svítidel v soustavách VO oproti standardním svítidlům.*

**Keywords:** LED technologie, energetické a provozní úspory, veřejné osvětlení

### Úvod

Tento příspěvek vychází z krátkodobé praxe s nástupem svítidel LED do soustav veřejného osvětlení, kdy se vlastník veřejného osvětlení – město, obec – dotazuje na budoucí ekonomické efekty. Správce a provozovatel VO náhle stojí před úkolem propočítat a předložit seriózní výhled očekávaných energetických úspor (to je ta jednodušší část) a úspor provozních tj. jaké lze očekávat snížení nákladů na údržbu VO.

### Výchozí skutečnosti

Rychlý vývoj v oblasti LED technologií, celosvětový ekonomický propad a proti tomu zatím určitá stabilita veřejných rozpočtů přilákaly pozornost obchodníků a výrobců čehokoliv, aby zkusili štěstí v dodávkách a výrobě LED svítidel aplikovatelných do soustav veřejného osvětlení. Tím se objevila „konkurence“ renomovaným výrobcům svítidel, kteří věnují nemalé prostředky vývoji, pracují se seriózními daty a svým partnerům v oblasti VO také seriózní informace předávají. Tím, že postupují seriózně, sami sebe vlastně poškozují, protože draví obchodníci a garážoví výrobci nemají problém s ničím, neboť není problém levně v Asii nakoupit, něco poskládat, vložit do nějakého obalu (třeba skelet klasického výbojkového svítidla) a hurá na úřady, magistráty, nejlépe ještě s přímluvou nějakého politika. Tam oslní 80% úsporou energie a vynulováním údržby, protože LED svítidlo je přeci bezúdržbové a vydrží minimálně přes 4 volební období. V této atmosféře, kdy začal do VO „zasvěceně“ mluvit kdekdo, se světelným technikům a správcům VO špatně dýchá.

### První praktické zkušenosti

Scénáře bývají vždy stejné. Obchodník v závěsu s lobbistou, senátorem, poslancem či jiným politicky činným člověkem tlačí na radnici, aby se někde ten jejich úžasný výrobek vyzkoušel, udělal pilotní projekt, že jsou sami proti sobě, když odmítají tak dramatické úspory a bezúdržbové VO. Výsledek může být také takový, jak se již stalo, když po jednom roce (nikoli po avizovaných 15 letech) polovina dodávky přestane postupně svítit, zjistí správce, že nemá partnera k řešení reklamace, protože politika to již nezajímá, obchodník již obchoduje s něčím jiným a výrobce raději zavřel výrobu – garáž a mobilní telefon hodil do kontejneru na místním sběrném dvoře (neboť je citlivý k životnímu prostředí). To je bohužel realita, kterou určitě bude moct potvrdit mnoho další správců a provozovatelů VO měst a obcí.

### Energetické úspory

Každá uvažovaná aplikace nového svítidla LED musí být nejdříve podložena výpočtem. Úžasně úspory prostou záměnou 150 W za 28W LED zahřejí u srdce každého místního politika a správce obecní pokladny zejména. Problém je jen, že jaksi není vidět pod nohy.

Seriózní úspory jsou tam, kde již stávající osvětlovací soustava dožívá, nahrazují se třeba kulová svítidla, znečištěná a zašlá, kde opravdu 70W výbojku nahradí 30W v LED a dosáhne se výrazně vyšších hodnot na komunikaci, protože veškerý světelný tok je nasměrován právě tam, kde je potřeba. Je nutné však počítat s tím, že proměna vnímání celého prostoru může být ze strany pěších vnímána negativně, protože ve srovnání s vyšším jasnem komunikace je subjektivně pocit setmění na vedlejších chodnících, prostorech mezi domy, prostě všude tam, kde kruhově symetrická svítidla prosvěťovala okolní prostor v okolí komunikace. Proto je nutné vážít citlivě výběr lokalit pro přechod na novou LED technologii.

### Provozní úspory

Argumentace „bezúdržbovostí“ evokuje u neznalého dojem, že nasazením svítidel LED bude možné převést kapitolu veřejného osvětlení na jiné bohubilé účely. Samozřejmě tomu tak není. Je nespornou výhodou to, že kvalitní svítidlo LED od renomovaného výrobce může sloužit v soustavě VO 12 až 15 let. Za tu dobu u standardního svítidla musíme vyměnit světelný zdroj (výbojku) 3 až 4x. Náklady na práci, plošinu a vlastní světelný zdroj jsou celkem snadno vyčíslitelné. Neměli bychom ale proti těmto nákladům stavět u LED svítidla nulu. Nemůžeme počítat s tím, že si LED svítidla po celou dobu životnosti nevšimnu. Musím i u LED svítidel kalkulovat s nějakou periodou kontroly, očištění a zejména očištění ploch určených k odvodu tepla (tab.1). Jestliže roste provozní teplota, dramaticky klesá světelný tok a životnost.

Při výpočtu dosažitelných úspor provozních nákladů (nákladů údržby) musíme mít na paměti, že se jedná jen o jeden prvek celého souboru osvětlovací soustavy. Správce a provozovatel musí zajistit všechny činnosti jako dosud, jen se mu bude trochu ulevovat s množstvím osazených nových LED svítidel. To procento „úlevy“ vychází po výměně 80% standardních svítidel maximálně do 20% z celkových nákladů vyčleněných na údržbu celého souboru VO (tab.2).

To ovšem platí jen za předpokladu naplnění ujišťování výrobců, že životnost svítidel LED bude nejméně 50 tisíc provozních hodin. Proto není možné experimentovat s neověřenými výrobci bez historické zkušenosti v oboru.

**Příklad propočtu pro jedno svítidlo (tab. 1):***(maximalistický propočet na jednu kontrolu a očištění v polovině života svítidla LED)*

<b>POROVNÁNÍ PROVOZNÍCH NÁKLADŮ LED/VÝB - 1 SVÍTIDLO</b>						
	počet zásahů					
údržba LED/12 roků	148,07	1	cena údržby	148,07		
cena výměn/12 roků	1 802,99	3,5	výbojka	135,00	předřadník	84,00
			montáž	296,14		(1/6 poměrně)
rozdíl LED/standard (%)	91,79%					
<b>zaokrouhлено pro výpočet v tab.2</b>	<b>92%</b>					
Výpočet vychází z HZS montéra, plošiny a normočasů pro výkony.						

**Příklad propočtu % snížení provozních nákladů (údržby) při postupném zavádění LED v průběhu 30 roků (tab. 2):**

	2012	2013	...	2038	2039	2040	2041
počet instal. LED svítidel v obnově	800	800		700	700	700	700
počet instal. LED svítidel v údržbě	100	150		350	350	350	350
<b>počet svítidel LED v roce</b>	<b>900</b>	<b>950</b>		<b>1 050</b>	<b>1 050</b>	<b>1 050</b>	<b>1 050</b>
vývoj počtu svítidel (sv.bodů)	41558	41911		50742	51096	51449	51802
<b>úspora (%) LED vs. Výbojka / 1 ks</b>	<b>92</b>						
<b>nové provozní náklady</b>	<b>8</b>						
LED svítidel (ks) v soustavě VO	900	1 850		34 409	35 812	37 215	38 618
zůstává výbojk. svítidel (ks)	40 658	40 061		16 334	15 284	14 234	13 184
<b>náklady BÚ - výměn - proti standardu</b>	<b>98,01%</b>	<b>95,94%</b>		<b>37,61%</b>	<b>35,52%</b>	<b>33,45%</b>	<b>31,41%</b>
<b>úspora %</b>	<b>1,99%</b>	<b>4,06%</b>		<b>62,39%</b>	<b>64,48%</b>	<b>66,55%</b>	<b>68,59%</b>
% nákladů BÚ svítidel z celé údržby	28,60%						
celkem rozpočet údržba	35 000	35 648		53 335	54 112	54 895	55 684
jen BÚ - výměny světelných zdrojů	10 000	10 196		15 254	15 477	15 701	15 926
pokles BÚ - výměny - vliv LED	9 801	9 782		5 738	5 498	5 253	5 004
<b>% dosažitelných úspor v údržbě</b>	<b>0,60%</b>	<b>1,20%</b>		<b>17,90%</b>	<b>18,50%</b>	<b>19,10%</b>	<b>19,70%</b>

**Autor:** Jiří Voráček, Ostravské komunikace, správa veřejného osvětlení, Novoveská 25/1266, 709 00 Ostrava – Mariánské Hory,  
tel.: 595 621 359, e-mail: voracek@okas.cz

## Výpočet indexu oslnenia UGR pri LED svietidlách

**Abstrakt.** LED svietidlá v súčasnosti zaznamenávajú prudký rozvoj. Majú v mnohých smeroch lepšie parametre ako svietidlá s klasickými svetelnými zdrojmi. Vysoká životnosť LED predlžuje interval údržby, je možné ich stmievať a stmievanie navyše predlžuje ich životnosť, majú výraznú smerovosť svetla čo znižuje nároky na potrebu reflektorov v svietidlách, samotné LED majú malé rozmery a je možné ich variabilne kombinovať do väčších celkov, sú ekologickéjšie v porovnaní so svetelnými zdrojmi obsahujúcimi ortuť a pod. Okrem množstva výhod majú však aj svoje nevýhody a jednou z nich je vyššie riziko oslnenia. Príčinou vyššieho rizika oslnenia je najmä vysoký jas jednotlivých LED svetelných zdrojov a súčasne ich malé rozmery. Ak by sme pre hodnotenie oslnenia od LED svietidiel použili zavedenú UGR metódu, v mnohých prípadoch bude skutočné oslnenie výrazne vyššie ako vypočítaný index oslnenia UGR. Preto metóda UGR tak ako ju poznáme dnes sa pri LED svietidlách často stáva nepoužiteľnou. Príspevok prináša nový pohľad na hodnotenie oslnenia a opisuje jednu z možností modifikácie UGR metódy tak, aby aj pri hodnotení svietidiel s LED svetelnými zdrojmi prinášala uspokojivé výsledky.

**Kľúčové slová:** oslnenie, hodnotenie oslnenia, oslnenie LED svietidiel, UGR

### Úvod

Od čias, keď 21. októbra v roku 1879 rozsvietil T. A. Edison prvú žiarovku, ktorá vydržala svietiť rekordných 40 hodín, uplynulo už viac ako 130 rokov. Pre svetelnú techniku tieto roky znamenali prudký rozvoj. Vynašli sa nové a nové svetelné zdroje s vyšším príkonom, dlhšou životnosťou, väčšou účinnosťou, vznikali nové, kvalitnejšie a modernejšie svietidlá, no zároveň rástli aj požiadavky na kvalitu osvetlenia, zrakovú pohodu a dobrý zrakový výkon.

Podobne dnes zaznamenávame prudký rozvoj využitia LED svetelných zdrojov. Snáď nikdy v minulosti nevznikalo tak rýchle také množstvo variabilných riešení a druhov svietidiel, ako je tomu dnes s LED svetelnými zdrojmi.

Práca zraku veľmi úzko súvisí s centrálnou nervovou sústavou. Na zrakové vnímanie majú veľký vplyv rôzne rušivé alebo ukludňujúce podnety a vplyvy okolitého prostredia. Je preto veľmi dôležité vytvoriť v každom priestore, podľa jeho účelu a predpokladanej činnosti ľudí, vhodné prostredie. Svetelné prostredie je tvorené geometrickým usporiadaním priestoru, typom svetelných zdrojov, druhom a rozmiestnením svietidiel, hladinami osvetlenia a jej rovnomernosťou, farebnou úpravou priestoru, rozložením jasu, rozmiestnením predmetov, ľudí i celého vybavenia.

Aj najdrahšia a najkvalitnejšia osvetľovacia sústava však môže vplyvom oslnenia úplne stratiť svoju hodnotu. Nie dobre vyriešené jasové pomery a aj keď malé, ale trvalé oslnenie, veľmi zhoršujú zrakový výkon a zrakovú pohodu a môžu spôsobiť aj trvalé poškodenie zraku.

Pre hodnotenie oslnenia v interiéroch sa dnes využíva metóda UGR (Unified Glare Rating) popísaná v CIE 117 a zavedená v EN 12464-1. Táto metóda vychádza z výskumov, ktoré v minulosti prebiehali so žiarovkovými, žiarivkovými prípadne výbojkovými svietidlami, avšak mnohé svietidlá v súčasnosti využívajúce LED svetelné zdroje sú v niečom odlišné. Je to najmä to, že pri LED svetle vychádza z veľmi malej plochy chipu a táto plocha má vysoký jas. Keďže svetelný tok jednej LED je iba zlomkom svetelného toku iných svetelných zdrojov bežne používaných pre osvetľovanie, je potrebné v jednom svietidle používať väčší počet LED svetelných zdrojov. Vzhľadom k potrebe zabezpečenia dostatočného chladenia LED chipov sa jednotlivé LED umiestňujú v svietidlách v určitej vzdialenosti od seba.

Metóda UGR pri hodnotení oslnenia vychádza z priemerného jasu svietiacej časti svietidla. Pre výpočet jasu svietidla využíva jeho svietivosť  $I_{\alpha}$  (cd) v danom smere a priemet plochy svietiacej časti  $dA$  (m<sup>2</sup>). Aká je však veľkosť svietiacej plochy pri svietidle alebo svetelnom zdroji, ktoré je zložené z viacerých LED chipov a tieto sú od seba vzdialené niekedy aj viac ako 10 cm ?



Obr. 1. Príklady LED svietidiel a náhrad svetelných zdrojov

## Popis metódy UGR

Jednotný systém hodnotenia oslnenia UGR vznikol za účelom zjednotenia metodík hodnotenia oslnenia vo svete a v dnešnej dobe je najuniverzálnejším nástrojom na riešenie kvalitatívnych ukazovateľov v najrôznejších osvetľovacích sústavách.

Rovnica UGR má tvar

$$UGR = 8 \cdot \log \left[ \frac{0,25}{L_b} \cdot \sum_{i=1}^n \frac{L_i^2 \cdot \omega_i}{p_i^2} \right],$$

kde

- $L_b$  je jas pozadia (cd.m<sup>-2</sup>),
- $L_i$  jas i-teho oslňujúceho zdroja v smere k oku pozorovateľa (cd.m<sup>-2</sup>),
- $\omega_i$  priestorový uhol, pod ktorým je vidieť i-ty oslňujúci zdroj (sr),
- $p_i$  Guthov index polohy pre i-te svetidlo.

Tab. 1. Doporučené indexy oslnenia pre metódu UGR

Priestor	UGR [-]
Rysovné, jemná montáž, zdravotníctvo	16
Kancelárie, riadiace pracoviská	19
Ľahký priemysel, napr. elektromontáž	22
Stredne ťažký priemysel	25
Ťažký priemysel	28

## Výpočet jednotlivých veličín

### Jas svetidla

Jas svetidla  $L$  je väčšinou odvodený zo svietivosti svetidla v smere k pozorovateľovi  $\alpha$  a priemetu svietiacej plochy  $A_\alpha$  smerom k oku pozorovateľa.

$$L = \frac{I_\alpha}{A_\alpha}.$$

### Jas pozadia

Jas pozadia  $L_b$  metóda UGR definuje ako rovnomerný jas celého okolia, ktoré vytvára rovnakú intenzitu osvetlenia na vertikálnej rovine oka pozorovateľa ako zorné pole bez zdrojov oslnenia. Vyjadruje ho vzťah :

$$L_b = \frac{E_i}{\pi},$$

kde  $E_i$  je nepriama vertikálna osvetlenosť oka pozorovateľa (lx).

Jas pozadia  $L_b$  sa zvyčajne počíta z nepriamej osvetlenosti, ktorú môžeme nájsť v počítačových programoch na výpočet intenzity osvetlenia alebo vypočítaním z nepriameho činiteľa využitia stien. Výpočet je založený na predpoklade, že priemerná nepriama osvetlenosť stien sa približne rovná nepriamej osvetlenosti oka pozorovateľa. Tento predpoklad je správny pre väčšinu osvetľovacích systémov so svetidlami v pravidelnom usporiadaní.

## Priestorový uhol od oka pozorovateľa

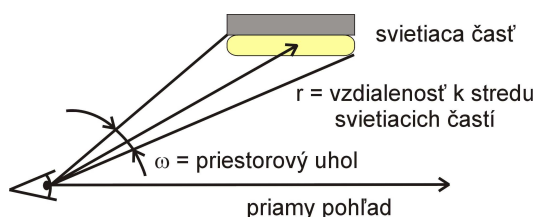
Priestorový uhol môže byť odvodený z plochy, pod ktorou pozorovateľ vidí svetelnočinné časti svetidla a vzdialenosti medzi stredom svetidla a okom pozorovateľa.

Je určený nasledujúcim vzťahom:

$$\omega = \frac{A_\alpha}{r^2},$$

kde

- $A_\alpha$  je plocha, pod ktorou vidí pozorovateľ svetelnočinné časti svetidla (m<sup>2</sup>)
- $r$  vzdialenosť medzi stredom svetidla a okom pozorovateľa (m)



Obr. 2. Určenie priestorového uhla svetidla

Vzdialenosť  $r$  je k stredom svetelnočinných častí svetidla.

## Index polohy

Index polohy  $p$  sa určí podľa Luckiesha a Gutha.

## Návrh riešenia problému

Vzhľadom k tomu, že maximálny jas LED svetidiel spôsobujúci oslnenie je zvyčajne výrazne vyšší, ako dostaneme pri výpočte priemerného jasu v súlade s odporúčaním CIE 117 a vypočítaný index oslnenia UGR potom nezodpovedá skutočnosti, je potrebné tento problém riešiť.

Možných riešení je niekoľko, avšak mnohé sú pomerne zložité a potrebovali by podrobnejší výskum. Jedno z tých ľahšie aplikovateľných uvádzame v nasledujúcom:

### Riešenie:

Hlavný problém je veľkosť priemerného jasu svetidla, ktorý sa v súčasnosti v počítačových programoch počíta zo svietivosti a priemetu svietiacej plochy svetidla do smeru k pozorovateľovi. Svietivosť svetidiel v danom smere je daná krivkou svietivosti zmeranej na goniofotometri, tento parameter je vhodné ponechať nemenný. Možno však upraviť veľkosť svietiacej plochy svetidla.

Navrhujeme preto pri LED svetidlách ako svietiacu plochu neuvádzať skutočnú plochu vypočítanú zo šírky a dĺžky celej optickej časti svetidla, ale ekvivalentnú plochu úmerne zmenšenú oproti skutočnej svietiacej ploche svetidla rovnajúcu sa súčtu plôch svietiacich LED chipov. Ak sa svetelný tok z LED chipov upravuje optickými sústavami (reflektor, refraktor, difúzor), potom navrhujeme započítať aj plochu týchto materiálov, ak ich jas dosahuje minimálne 1 % maximálneho jasu chipu.

Pre meranie a výpočet takejto ekvivalentnej plochy odporúčame použiť jasový analyzátor s CCD snímačom.

Ideálne by bolo, ak by sa vytvorili krivky ekvivalentných plôch resp. ekvivalentného jasú svietidla podobne ako tomu je pri krivkách svietivosti. Tieto krivky jasú by sa potom dodávali spolu v dátach o svietidle (napr. vo formáte EULUMDAT).

Hodnota 1% maximálneho jasú je určená odborným odhadom a môže byť predmetom ďalšej diskúzie.

Pre zavedenie takéhoto riešenia sa však stretávame s pomerne zložitým problémom. Bolo by potrebné upraviť všetky počítačové programy, ktoré v súčasnosti počítajú index oslnenia UGR a tiež možno prepracovať všetky elektronické databázy LED svietidiel, čo predpokladáme, že by bol zdĺhavý proces.

Existuje aj možnosť jednoduchšieho riešenia.

Veľkosť ekvivalentnej plochy možno vypočítať iba v smere optickej osi svietidla a toto číslo použiť pre zadefinovanie rozmerov svietiacej časti svietidla do klasických dát o svietidle (napr. EULUMDATA). Toto riešenie by pri väčšine svietidiel bolo bez problémov použiteľné. Výhodou takéhoto riešenia je, že ho možno aplikovať ihneď bez akéhokoľvek menenia súčasných výpočtových programov.

## Záver

Svetelnotechnické projekty a realizácie s využitím svietidiel s LED svetelným zdrojom dennodenne narastajú. Je preto nevyhnutné problém s ich oslnovaním urýchlene riešiť.

Navrhovaná metodika pre úpravu metódy UGR môže pomôcť presnejšie hodnotiť oslnenie od LED svietidiel a tak zabezpečiť zrakovú pohodu aj v nových osvetľovacích sústavách, kde budú tieto svietidlá aplikované.

Zmenu metodiky výpočtu indexu oslnenia nie je však možné realizovať iba lokálne, je potrebné ju vykonať spoločne vo všetkých krajinách, kde sa UGR používa. Preto jej zavedenie odporúčame riešiť ako novelizáciu CIE 117 a to aspoň do času, pokiaľ nebudú zrealizované ďalšie seriózne výskumy, ktoré prinesú ďalšie zlepšenie.

## Použitá literatúra

- [1] Krasňan, F.: Hodnotenie oslnenia a jeho zábrana. Bratislava: STU FEI, 2004. Dizertačná práca.
- [2] CIE Technical Report, No. 117: 1995, Discomfort glare in interior lighting.

**Autor:** Ing. František Krasňan, PhD., Slovenská technická univerzita v Bratislave, Fakulta elektrotechniky a informatiky, Illkovičova 3, 812 19 Bratislava, Slovenská republika, e-mail: frantisek.krasnan@stuba.sk

# Concept of Smart Grids and Smart homes in relation to lighting management

**Abstract.** Smart grids and Smart homes are modern visions of new technologies applied in the area of power engineering and regulation technology which could be also used in lighting management of modern buildings.

**Keywords:** Smart Grid, Smarter Home

## Introduction

Terms "Smarter Home", "Smart Grid", "Smart Cities" are becoming well known. In our homes, we are using an increasing number of appliances which are more or less connected to the internet; new "intelligent" consumer services are becoming to be available from internet service providers. Also on the electricity grid level, there is a tremendous potential in using new "intelligent" sensor devices connected through communication infrastructure. On the city level, there are new projects and activities related to optimization of traffic, energy usage and new transport devices, e.g. e-mobility. Based on the IBM gathered data, we expect that today's "internet of people" will evolve into an "internet of devices" with more than one trillion devices by 2012. There will be 1.4 billion standalone consumer electronics device in homes, 4.1 billion wireless handsets and more than 800 million households will have broadband connections. We have also calculated billions of sensor devices connected to the Smart Grids infrastructure (such as Smart Meters etc.). Connecting all those devices into one grid, we can make use of enormous amounts of information.

## Smarter homes history

Previous attempts to enable the "Smarter home" was related on the axiom that the intelligence was based on the centralized control in the home using a home server or home gateway, while the intelligence in the new smarter home services model resides in the network, or more precisely in the internet cloud (as a new phenomenon). The new approach opens new opportunities for innovative services which use the computational power and scalability of the cloud, as well as the collective consumer knowledge derived from the aggregation of data from a population of homes, rather than an individual home. Data stored within the cloud can provide new insights about consumer needs and behavior.

## Vision of the Smarter Homes

Smarter philosophy is related to instrumented, interconnected and intelligent devices.

How can we call a home smarter, rather than just simply smart? We can work with several basic characteristics that distinguish this new generation of let's say standard household devices.

Instrumented is the ability to sense and monitor changing conditions. Instrumented devices provide increasingly detailed information and control about their own functioning, as well as information about the environment in which they operate.

- Washing machines can optimize their operation by taking information about electricity price from the internet.

- House lighting systems can be dimmed by some percentage to reduce consumption of houses within peak hours.
- Air conditioning devices can be switched off for some time to save energy.

## Connections and relations between Smart Grids and Smarter homes

The vision of Smart Grids is basically closely connected to Smart Homes and also the concept of Smart Cities. Elements of smart Grids can be efficiently interconnected to other parts of the wide system. So then the peak load can be reduced by demand side management functionality (via Smart Meter), and the same logic managing the grid can be used to manage smart homes lighting systems, domestic small generation units such as thermal pumps, photovoltaic power plants and CHP devices, as well as public lighting or virtual power plant created from interconnected e-mobiles.

- Public lighting can be dimmed within peak hours to save costs for municipalities.
- In rural areas, lighting systems can be powered by solar panel or wind micro turbines.
- Connecting electric vehicles into a virtual power plant can be a way of efficient peak loads management.

The connection between Smart Grid and Smarter Home concepts can be a very efficient way of managing the electricity grid in new conditions of distributed generation on lower voltage levels. Intelligent homes connected to Smart Grid infrastructures can be utilized as a significant peak reduction element and also as a source of energy (micro grid concept).

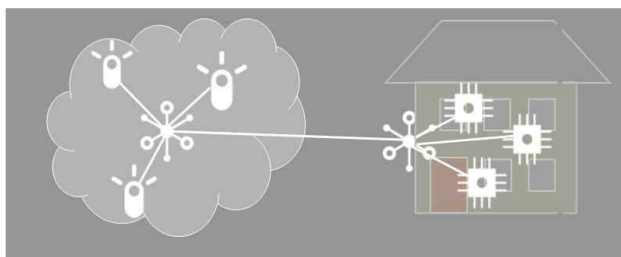


Figure 1: Cloud computing provides an intelligent platform connecting interoperating services with a common view of services in a home, and in the aggregate

## REFERENCES

- [1] IBM's Vision of a Smarter Home Enabled by Cloud Technology - Insights from IBM Global Electronics Industry

## Authors

Ing. Libor Kozubík, IBM Česká republika, spol. s r. o.  
Prague 4, Chodov, V Parku 2294/4, Zip Code: 148 00  
libor.kozubik@cz.ibm.com



## Tvorba svietidiel pre pamiatkové prostredie

### Technika osvetľovania a výtvarno – architektonické hľadiská

Dobry výsledok osvetľovania v pamiatkovom prostredí je podmienený ústretovou spolupracou zúčastnených odborníkov. Spravidla, postup návrhu osvetlenia by mal byť nasledovný: prezentácia techník osvetľovania pre daný objekt s predbežným ocenením, architektonicko – výtvarné posúdenie svietidiel aj z hľadiska ich možných konštrukčných úprav, rep. doplnení, predbežná dokumentácia obsahujúca svietidlové zoskupenia a ich pozície, po odsúhlasení konečné architektonicko – výtvarné dotvorenie. Základné podmienky nekonfliktnosti techniky ku pamiatke sú uvedené v [1].

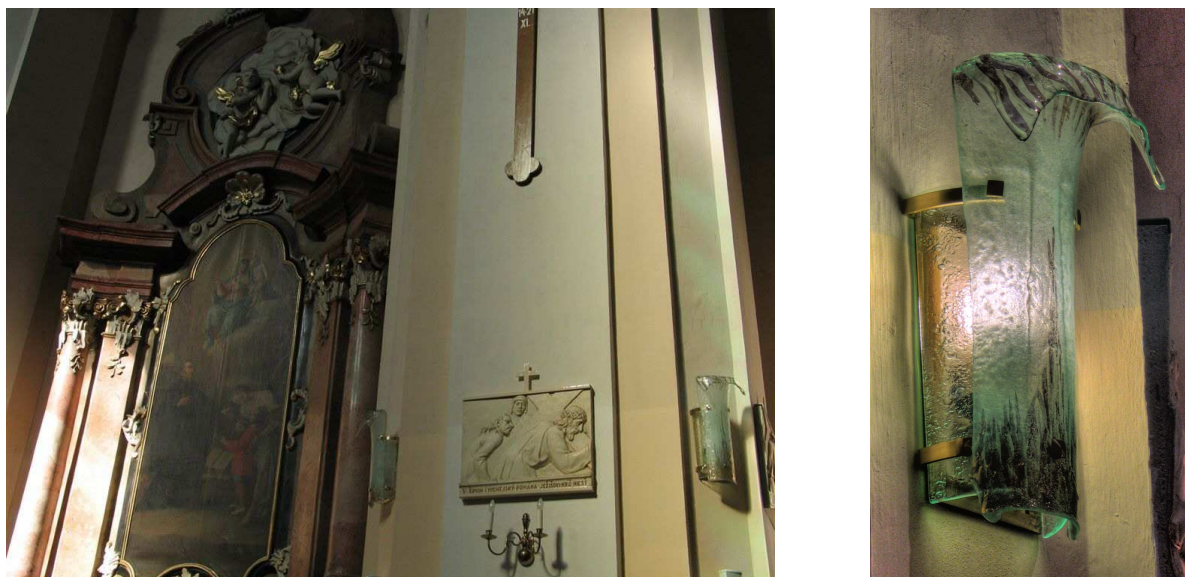
### Stručný popis osvetlenia vybraného pamiatkového objektu

Skúsení odborníci možno budú so mnou súhlasiť, že všeobecne je najnáročnejšie osvetľovanie barokových interiérov.

Jedným z neskorobarokových pamiatok na Slovensku je Kostol sv. Ladislava v Nitre. Je výnimočný rozmernými hlavícami pilastrov s ich krehkou a členitou štukatúrou. Z tohto dôvodu nebolo možné umiestniť svietidlá tradične na rímsy. Výtvarné poňatie kostola s výraznou plasticitou oltárov, napr. nad Víťazným oblúkom dominuje rozmerná kartuša so symbolom Mária, nedovolili zjednodušené riešenie osvetlenia, napr. aplikovaním kontrastu techniky ku architektúre - použitím Hitech svietidiel. Preto sme sa pokúsili ísť cestou architektonicko - výtvarnej štylizácie.

### Nástenné svietidlá

slúžia pre pomocné osvetlenie. Využívanie ramienkových svietidiel pod reliéfmi Krížovej cesty pre „stíšené osvetlenie“ napr. pred a po sv. Omši, nebolo liturgicky optimálne. Tiež krátka životnosť žiaroviek si vyžadovala ich častú výmenu. Nové svietidlá, výtvarne inšpirované akantom, sme umiestnili na hrany pilastrov. Použité stmievateľné kompaktné žiarivky sú v porovnaní so žiarovkami prakticky „bezúdržbové“.



Obr.1. Nástenné svietidlá umiestnené na hranách pilastrov

### Závesné svietidlové zostavy

I keď výsledné plocho – elipsoidné vyhotovenie svietidlových zostáv sa odchyľilo od abstraktných požiadaviek architekta a historika umenia (cieľom mal byť princíp anjelských krídel), autor sa tvarovo priblížil elipse, ktorá sa v baroku vyskytuje (tzv. volské oko). Vizualna odľahčenosť svietidlovej techniky v priestore je podporená štvoricou tenkých závesných laniek, v ich strede s voľne spusteným silovým flexibilným vodičom s priemerom 8mm a zbernicovým vodičom s priemerom 6mm (LonWorks).

V každom klenebnom poli sú naprieč lode vzájomne oproti sebe dohora vyklonené dvojice svietidlových zostáv, čo podporuje vzletnosť a súčasne aj vytvára efekt defilé

smerom ku presbytériu. Zavesenie zostáv svietidiel v pozdĺžnom smere je stúpajúce ku empore, čo tiež podporuje priestorovú dynamiku. Súčasne sa takto dosahuje aj zvýšená vertikálna osvetlenosť celebrantov (svietidlá sú nižšie) a tiež vyrovnaná horizontálna osvetlenosť na empore (svietidlá sú vyššie), pričom empora má vlastné stojanové osvetlenie z dôvodu cvičení na organe a smerovania osvetlenia na party speváckeho zboru.

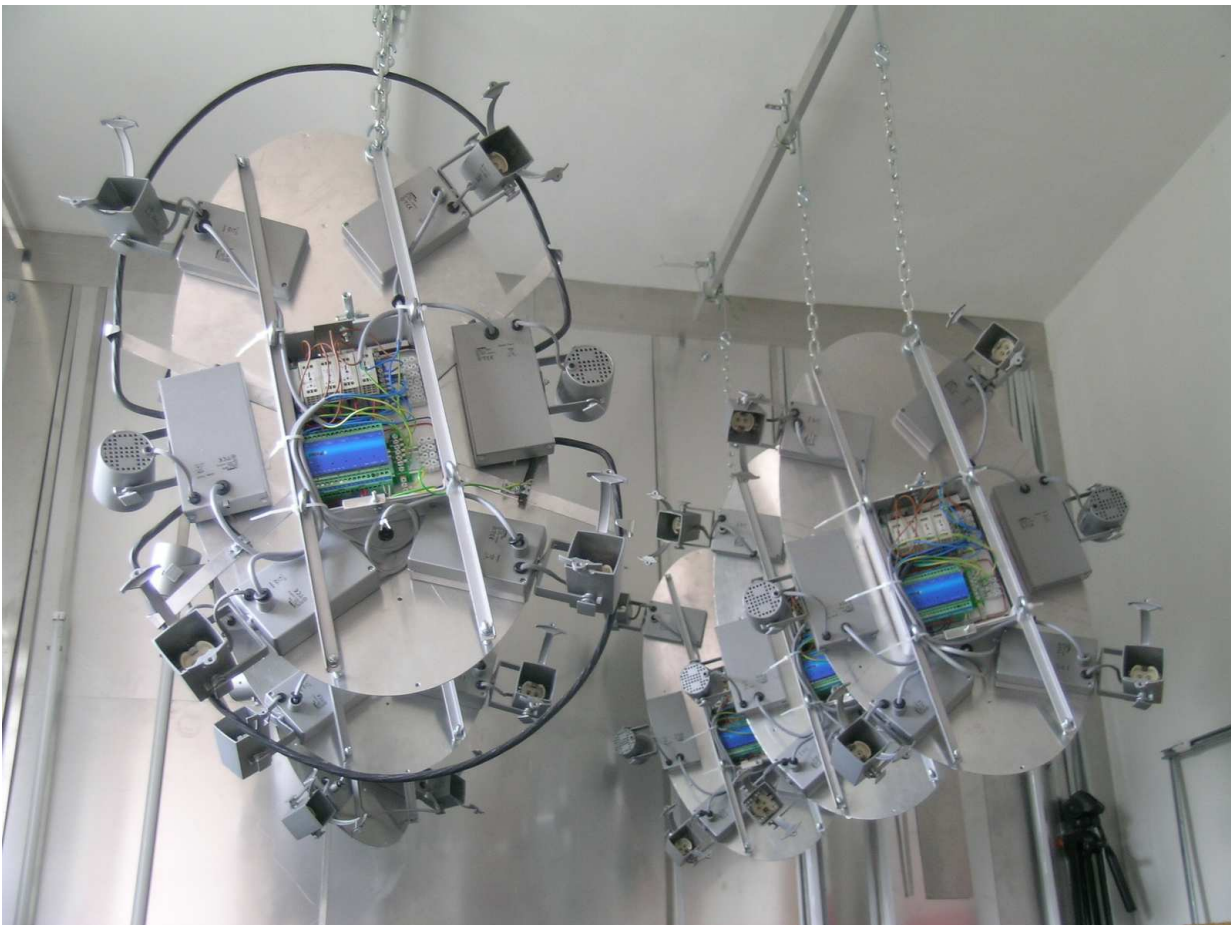
Dolná plocha svietidlovej zostavy obsahuje dekor – odnímateľný elipsoidný plech, do ktorého sú osadené drobné halogénové žiarovky. Na každej zostave je nimi vytvorené iné súhvezdie. Výkony žiaroviek sú prispôbené jasú hviezd.

Spínanie 6ks výbojkových svietidiel a transformátora na jednej zostave je piatimi SS relé s priradeným LonWorks modulom. Vzhľadom na relatívnu blízkosť svietidiel ku

klenbám, v každom travé je na klenebné malby doširoka smerovaných 8ks svietidiel a do dolného polpriestoru svieti v jednom poli 4 ks svietidiel.



Obr.2. Svietidlová zostava v etape posudzovania



Obr.3. Horný pohľad na rozpracované svietidlové zostavy

Podrobnejší popis so zoznamom autorského kolektívu bude na web autora: [www.systemprojekt.sk](http://www.systemprojekt.sk)

[1] Španko, J.: Elektrotechnika v pamiatkovom prostredí. Monumentorum tutela, Ochrana pamiatok, č.19, Pamiatkový úrad Slovenskej republiky 2008.

**Authors:** Ing. Jaroslav Španko, CSc. - SYSTEM PROJEKT, Jankolova 3, 851 04 Bratislava, [www.systemprojekt.sk](http://www.systemprojekt.sk), e-mail: [jaroslav.spanko@orangemail.sk](mailto:jaroslav.spanko@orangemail.sk) mobil: +421 905 982 448

# **New light solutions and innovations in LED-applications**

**SVETLO 2011  
Praha**

**Alexander Romanschtschak  
Vossloh-Schwabe Optoelectronic**

- 
1. **Vossloh-Schwabe group – General info**
  2. **Introduction to Vossloh-Schwabe Optoelectronic**
  3. **LED technology and innovations**

## More than (just) a Component Manufacturer...



**Vossloh-Schwabe** is one of the largest manufacturers of lighting technology components in the world and has been a part of the Japanese Panasonic Group since 2002.

Featuring a future-proof component structure that already now satisfies the requirements of energy-efficient lighting, VS' unique product range includes magnetic and electronic ballasts, state-of-the-art lighting control systems (Lixos or DALI), OLEDs, LED lighting systems and matching operating devices.

Brand for IEC markets



Year of foundation:

Business area:

Workforce:

Sales:

CEO:

Board of Directors:

Brand for UL markets



1919

Development, production and sales of components for the lighting industry

1,095 employees  
(as of March 2011)

EUR256.2 million

Klaus Breisch

Kiyooki Uchihashi

Masayuki Yasufuku

# Product Ranges



## LED Technology

- LED modules
  - HighPower modules: white, monochrome and RGB
  - 24V CA systems
  - LEDLine Flex SMD (In- and Outdoor)
  - Solutions for frames (profile)
  - Customised solutions
- Colour control modules
- Converters and connecting technology
- Single LEDs & displays (High and LowPower LEDs)

## OLEDs

Organic Light Emitting Diodes

## Lighting Components

- Lighting control systems: DALI and Lixos
- Electronic and electromagnetic ballasts
- Control gear units
- Transformers
- Ignitors
- Power switches
- Capacitors
- Lampholders
- Accessories

## ALF – Wiring and Testing Robots

Robots for automatic luminaire fabrication and testing

- ALF Compact
- ALF Smart

# Application Fields



## Light for Life in General

- Home lighting
- Street lighting
- Lighting control systems for outdoor and building/monument illumination
- Illumination for buildings, monuments, museums and stadiums
- Assimilation lighting
- Architectural lighting (outdoor)

## Light for Work and School

- Illumination of
- Schools and kindergartens
  - Offices
  - Production sites
  - Emergency lighting
  - Public buildings
  - Architectural lighting (indoor)

## Light for Retail Spaces

- Shop illumination
- Illumination for
  - trade shows
  - points of sale
  - showcases
- Built-in furniture lighting

1. Vossloh-Schwabe group – general info
2. Introduction to Vossloh-Schwabe Optoelectronic
3. LED technology and innovations



# Company

VSO, PEWVS, PEW - Integrating the strengths



LED Competence Center  
Kamp-Lintfort, Germany



**Vossloh-Schwabe  
Optoelectronic (VSO)**  
is the competence centre for  
hi-tech LED technologies.

VS Headquarter  
Lüdenscheid, Germany



**Panasonic Electric Works  
Vossloh-Schwabe (PEWVS)**  
is a comprehensive manufacturer  
of lighting components  
(PEWVS holds 100 % of VSO)

PEW Headquarter  
Osaka, Japan



**Panasonic Electric Works  
(PEW)**  
is a comprehensive manufacturer  
of construction, materials and  
electrical construction materials,  
luminaires and lighting components  
(PEW holds 100 % of PEWVS)

# Company

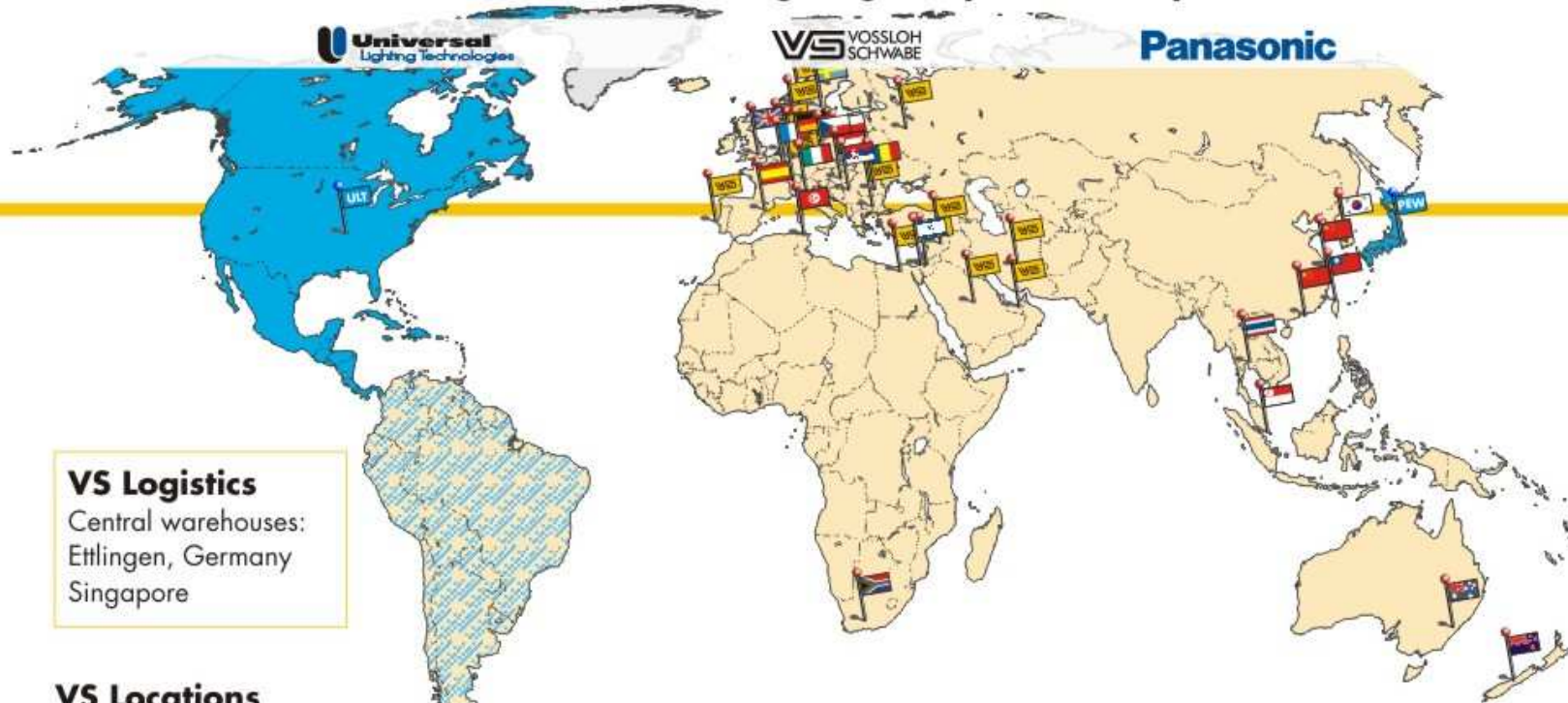
VSO, PEWVS, PEW - Integrating the strengths



## Worldwide Presence



### The Panasonic Lighting Component Group



**VS Logistics**  
Central warehouses:  
Ettlingen, Germany  
Singapore

**VS Locations**  
Germany (Headquarter), Australia, China, Czech Republic, Finland, France, Great Britain, Hong Kong, Hungary, Israel, Korea, New Zealand, Poland, Romania, Serbia, Singapore, Slovakia, South Africa, Spain, Sweden, Taiwan, Thailand, Tunisia

**Authorized VS Distributors**  
Belgium, Bulgaria, Denmark, Egypt, Germany, Iran, Jordan, Netherlands, Norway, Portugal, Russia, Saudi Arabia, Sweden, Switzerland, Syria, Turkey, U.A.E.

# Company

VSO – Strong partnership with Cree



Since 2005 VSO is Distribution partner of Cree Inc. for Germany, Switzerland, Austria, France and Benelux

Since 2011 VSO is Distribution partner of Cree Inc. for

- CZECH REPUBLIC
- SLOVAK REPUBLIC
- SLOVENIA
- SERBIA



**Discretés (Directional)**

- XR-E
- XR-C
- XP-G
- XP-E
- XP-C
- XM-L

- Optical control – put more light where it is needed
- Design flexibility

**Discretés (Non-Directional)**

- XP-E HEW
- ML-E
- ML-B
- MX-6
- MX-3

- Smooth look to emulate fluorescent in linear & panel lighting
- Uniform light & color over angle

**Arrays (Directional)**

- MC-E
- XM-L
- MP-L
- MT-G

- High lumen density for optical control
- Excellent LED-to-LED color consistency

**Arrays (Non-Directional)**

- CXA2011

- Easy assembly
- One component eliminates multiple shadows

## VSO – Production Site Kamp-Lintfort



[www.vs-optoelectronic.com](http://www.vs-optoelectronic.com)

**VSO – Competence Center for LED technology within PEWVS Group  
Established LED-component supplier for luminaire manufactures.**

Product portfolio covers wide range of applications and different systems for LED applications

- Drivers, Color controls, LED-Modules, Customer specific products
- Constant Voltage system (24V, 12V)
- Constant Current system (350mA, 500mA, 700mA, 1050mA)


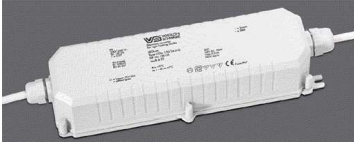






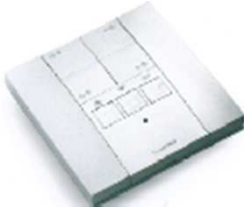







**Total area:** 7.500 m<sup>2</sup>  
**Year built:** 1994

**Employees:** approx. 100  
**Sales:** ~Mio EUR 30 (FY 2010/2011)

# VSO - Product portfolio

## Standard 24V voltage driven RGB System





















Drivers 24V	Color Control Devices	LED Modules	Applications
<p>10W – 130W</p>    	<p><b>DigiLED series</b>            Manual / Infrared / Radio Frequency            DMX / DALI / 1-10V            DigiLED push / mono</p>      	<p>COB Modules            Low Power SMD</p>    	   

# VSO - Product portfolio

## 24V CA System for High- and LowPower

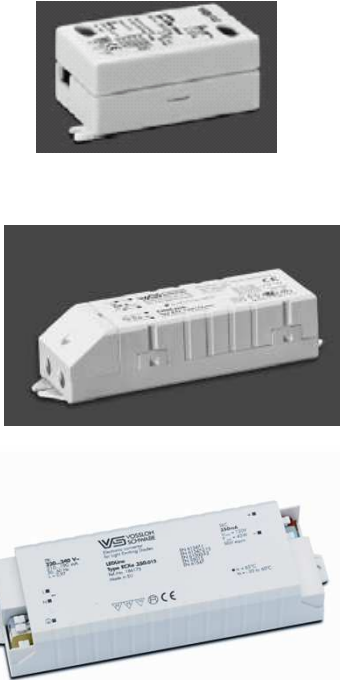






Drivers 24V	Color Control Devices	LED Modules	Applications
<p>10W – 130W</p>    	<p><b>DigiLED CA series</b> Manual / DMX / DALI / Infrared / Radio Frequency / push / mono</p>  <p>DALI CA</p>  <p>Manual CA</p>  <p>Push CA</p>  <p>DMX CA</p>  <p>IR CA</p>	<p>Flex RGB CA HighPower RGB CA HighPower mono CA</p>      	  

# VSO - Product portfolio

## High Power **Current Driven** System Mono



Drivers	LED Modules	Applications
<p>6W-42W 350mA/500mA/700mA 1050mA</p> 	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ PowerEmitter</li> <li>▪ Mini / Line / Spot</li> <li>▪ Line / Triple</li> <li>▪ FiveLED</li> <li>▪ HeliosLine / HeliosFlood</li> <li>▪ COB white</li> </ul> 	  

# VSO - Product portfolio

## LED Systems for ShopLighting

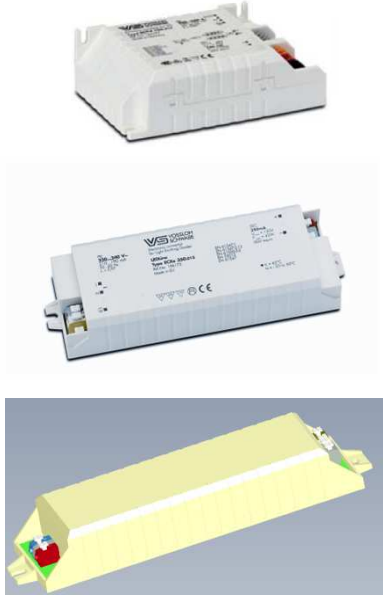
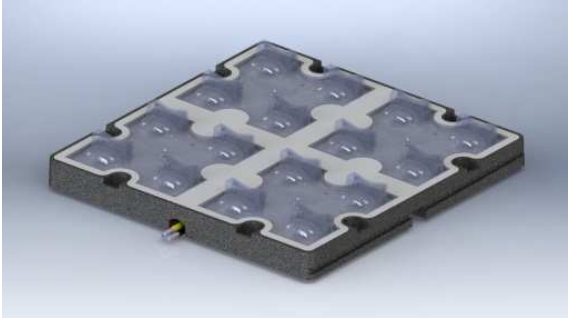

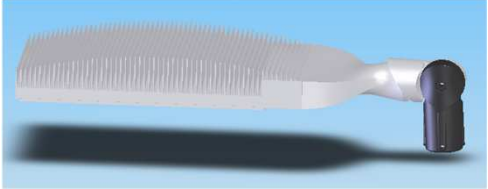
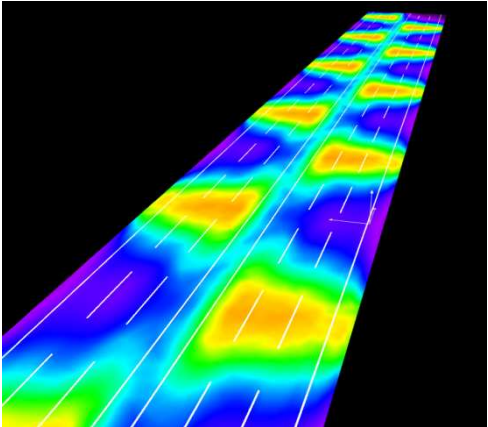


Drivers	LED Modules	Application
<p>700mA/1050mA Built-in/Independent On/Off DALI</p> 	<div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="text-align: center;"> <p>1300 lm 2500 lm</p>  </div> <div style="text-align: center;"> <p>3000 lm</p>  </div> </div> <div style="text-align: center; margin-top: 20px;"> <p>3500 lm</p>  </div> 	 



VSO - Product portfolio  
 LED Systems for **Street Lighting + Outdoor Lighting**



Drivers	LED Modules	Applications
<p>350mA – 1400mA            Multi-current            Built-in            IP67            Dimmable 1-10V            Step-Dimming</p> 		  

- 1. Vossloh-Schwabe group – general info**
- 2. Introduction to Vossloh-Schwabe Optoelectronic**
- 3. LED technology and innovations**
  - LED-Basics
  - Comparison to other technologies
  - Trend for LED technology – Narrow bins

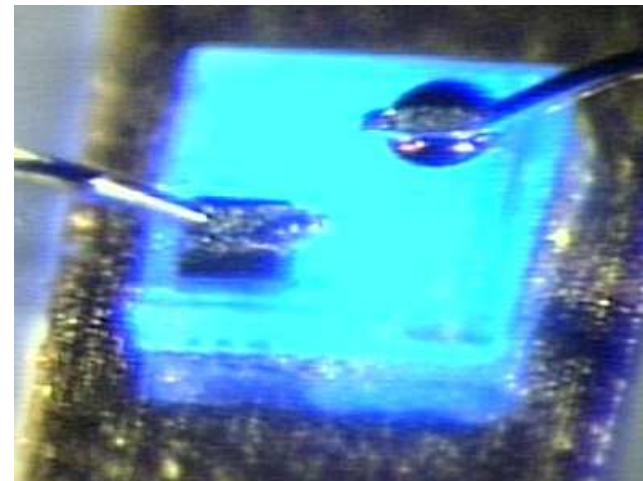
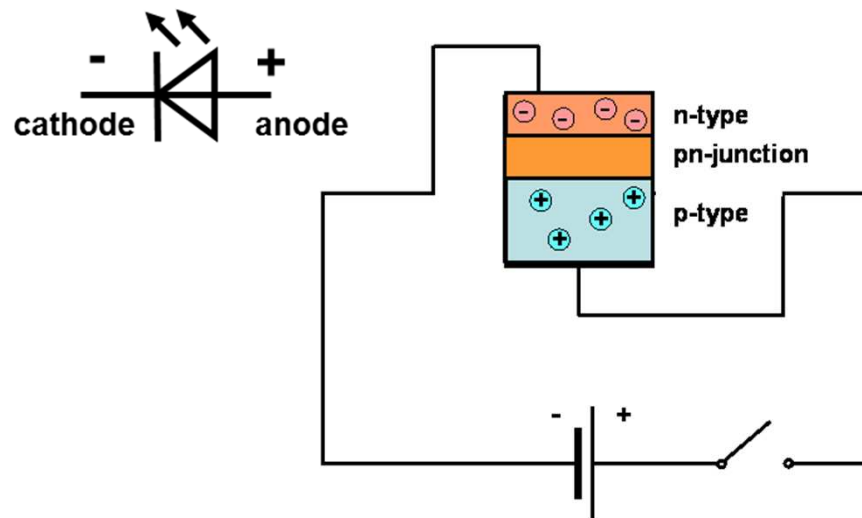
# What is a Light Emitting Diode (LED)?

**Basic material of the LED-chip is a III-V-semiconductor crystal.**

The crystal is built as a diode structure:

- p-region with „missing“ electrons = holes
- n-region with „free“ electrons

} Interface = „p-n-junction“

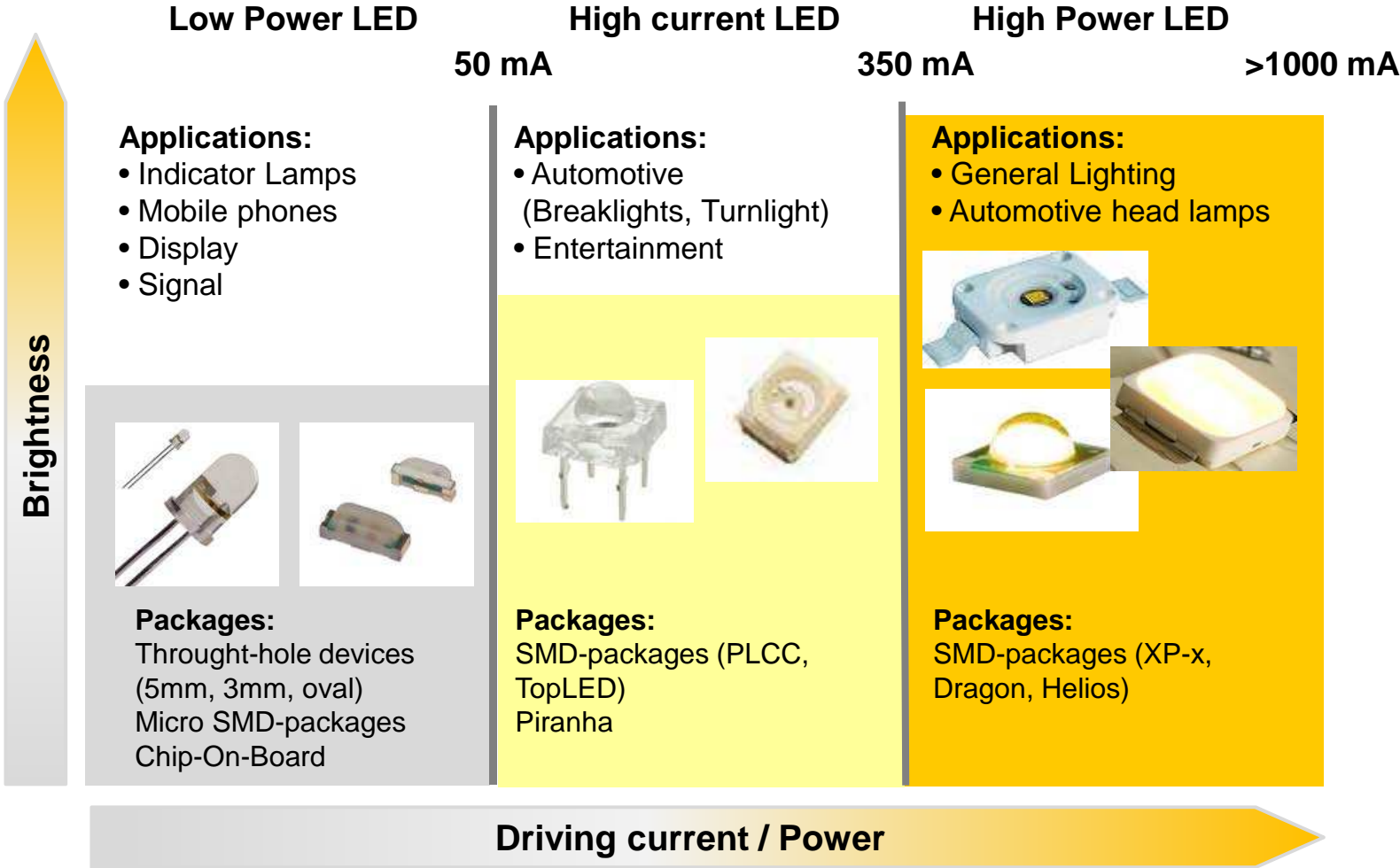


The light production is based on the „so-called“ luminescence effect:

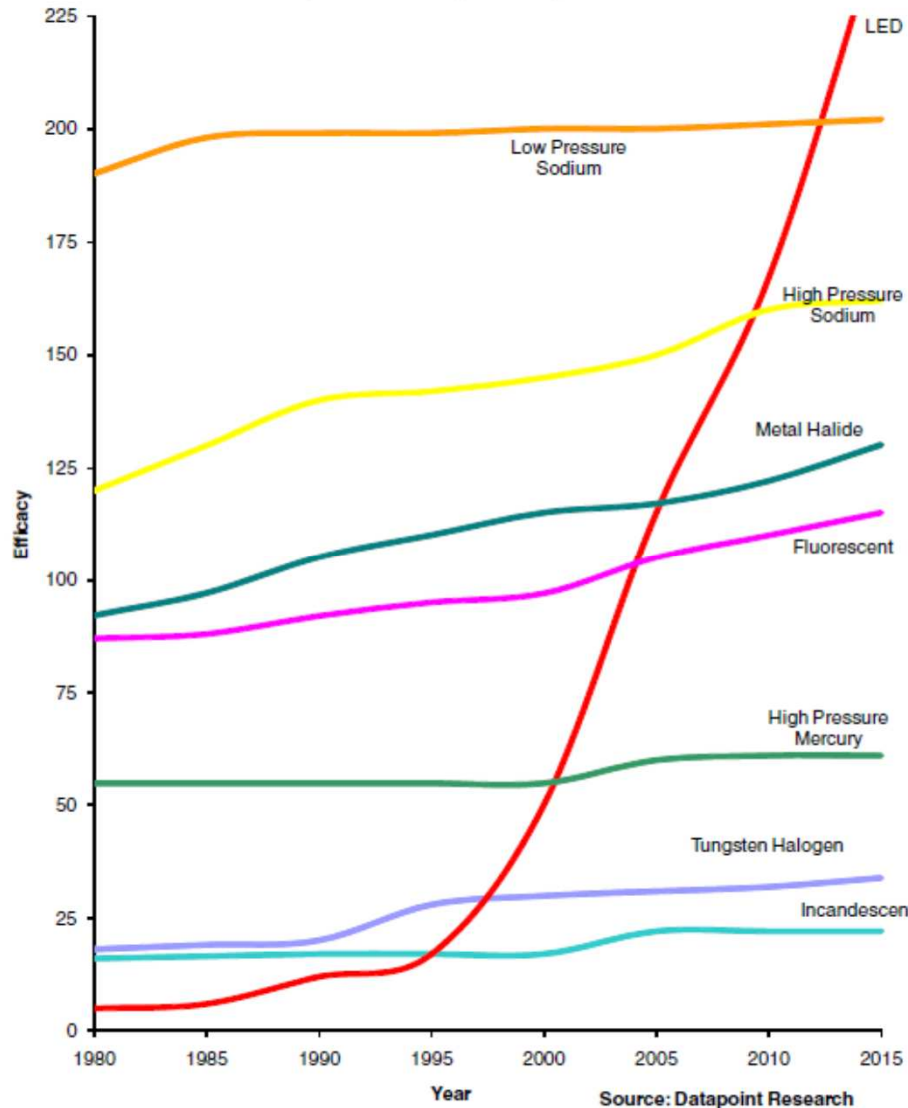
- Recombination of electrons from higher to lower energy level.
- Electrically supplied energy is converted into visible electromagnetic radiation.
- Light emitting process = Electron movement or migration, in p-n junction.

# LED – Types and Classification

With a wide range of packages and power classes a wide range of applications with LEDs are possible!

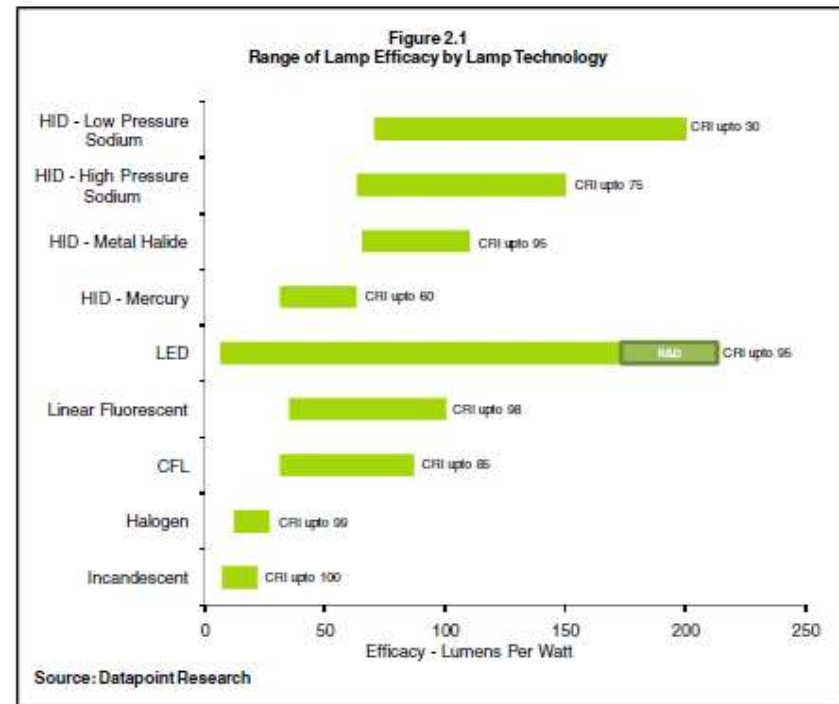


# LED as light source for General Lighting



LED has fastest increasing efficacy of all existing technologies. Already today LED is a good choice for energy efficient lighting.

Theoretical limit for LED efficiency is ~250lm/W



Today as R&D-record efficiency reached 231 lm/W. But this will take 3-4 years till mass production. But this shows what to expect in near future from LED technology.

## **New record: Cree reaches 231 Lumen Per Watt**

Cree's tests confirmed that the LED achieved 231 lumens per watt efficacy at a correlated color temperature of 4500 K. The tests were conducted under standard LED test conditions at a drive current of 350 mA at room temperature.

Source: [www.cree.fleishmaneuropa.de](http://www.cree.fleishmaneuropa.de), 16.05.2011

**Today's typical LED efficiency is ~90 – 160 lm/W (T<sub>j</sub>=25°C). The efficiency is strongly dependant upon the driving current and luminaire design!**

# Comparison of LED with existing Lighting technologies



**System efficiency of a LED Luminaire (incl. heat losses, converters and optics) is typical ~70 lm/W. This is for today's state-of-the-art luminaires.**

	LED	Incandescent lamp	Halogen lamp	Compact fluorescent	Fluorescent	Metal Halide Lamp	High pressure sodium
Typ. Lumen output (lm/W)	real <sup>1)</sup> 94	10	20	50	75	80	120
Converter efficiency (%)	80 - 90	100	100	80 - 90	80 - 90	80 - 90	80 - 90
Luminaire efficiency (%)	80 - 90	30 - 50	30 - 50	50 - 60	50 - 70	40 - 80	40 - 80
<b>System efficiency (lm/W)</b>	<b>60 - 73</b>	<b>4</b>	<b>8</b>	<b>23</b>	<b>38</b>	<b>41</b>	<b>61</b>
Life time (h)	> 50.000	1.000	3.000	10.000	15.000	10.000	16.000

1) By using a LED (Cree XP-G) with min. 114 lm with typically 1,05 W (3,0V x 0,35A) power consumption and at "normal" (Tj = 80°C) operating conditions: 114lm x 0,87 / 1,05W = 94 lm/W

## Benefits of LED solution

LED-Advantage	Benefit
Excellent life time of >50.000h	Long usage of light sources improve the ROI-calculation. Less maintenance costs for the installation
High Efficiency and Low energy consumption	Saving of energy cost and CO <sub>2</sub>
No UV /IR radiation	Safe in use, no damages of illuminated objects (Art, products,...)
Immediate full on light	No waiting time and many switching cycles possible
Easy dimming from 0% - 100%	Dimming without color shifting by use of PWM Higher efficiency and more energy savings by dimming
Usage in low ambient temperature possible	LED-luminaires can also be used in refrigerators. Lower temperature increase the efficiency of the luminaire!
Free of hazardous substances	Environmental protection, less recycling effort
Compact and unique designs possible	New and design orientated luminaire designs
Robust against shock and vibrations	No damage by mechanical stress



# Challenges for LED Lighting

- Brightness & Efficacy
- Lumen Maintenance
- Color point stability
- Thermal performance
- Decrease cost

Lighting-Class Performance

Ability to Deliver

Lowest System Cost

- Level of optical control/Uniformity
- Lumen output and density
- CRI & Color Consistency
- Form Factor
- IV Characteristics
- Breadth of portfolio

Right LED for the Right Application

- Higher levels of integration
- Eliminate the need to color mix where possible
- Eliminate need to reflow
- Drive and adopt standards – ANSI, NEMA, etc

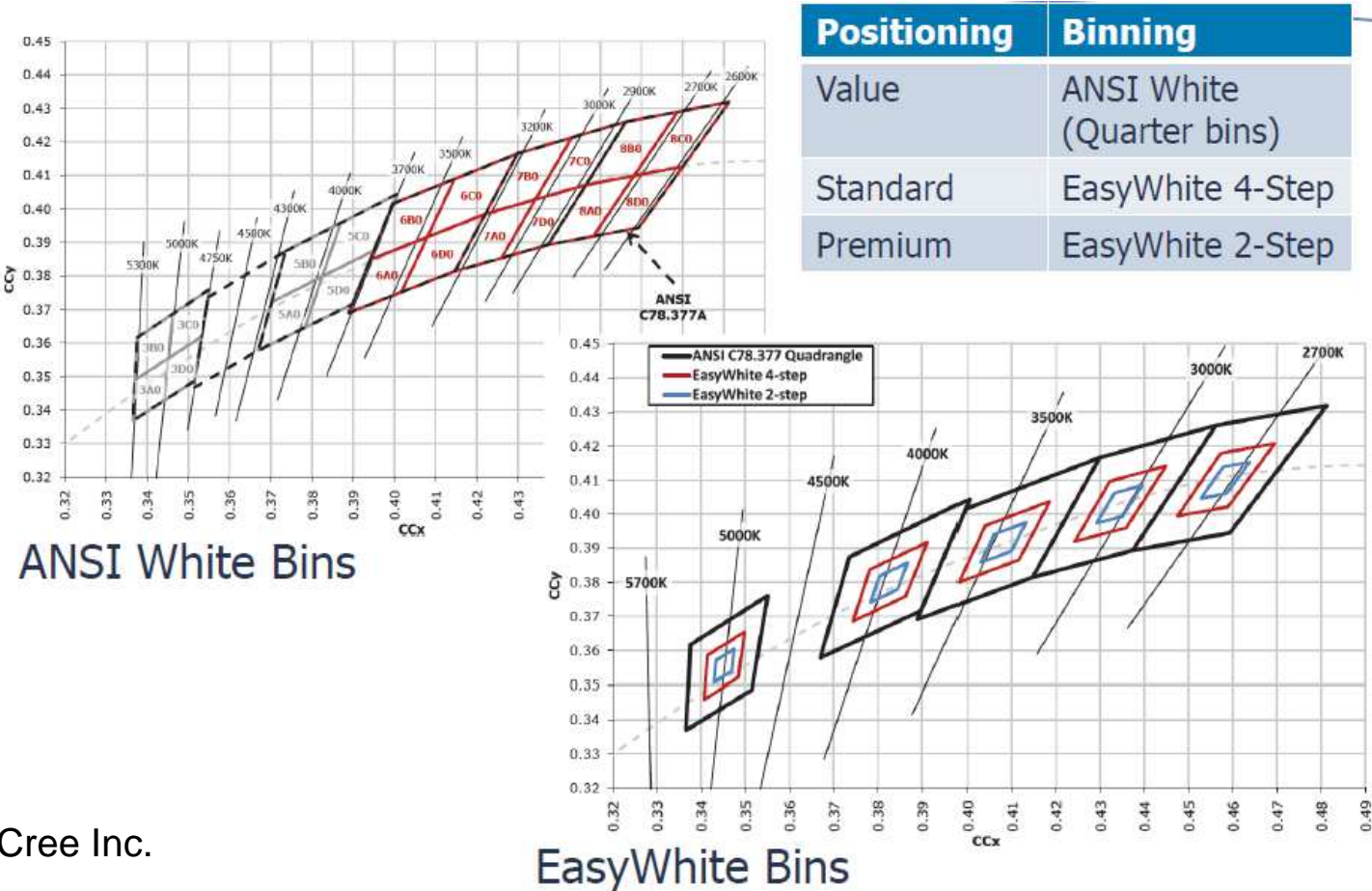
Ease of Use

Source: Cree Inc.

# Trend to narrow white bins – EasyWhite™



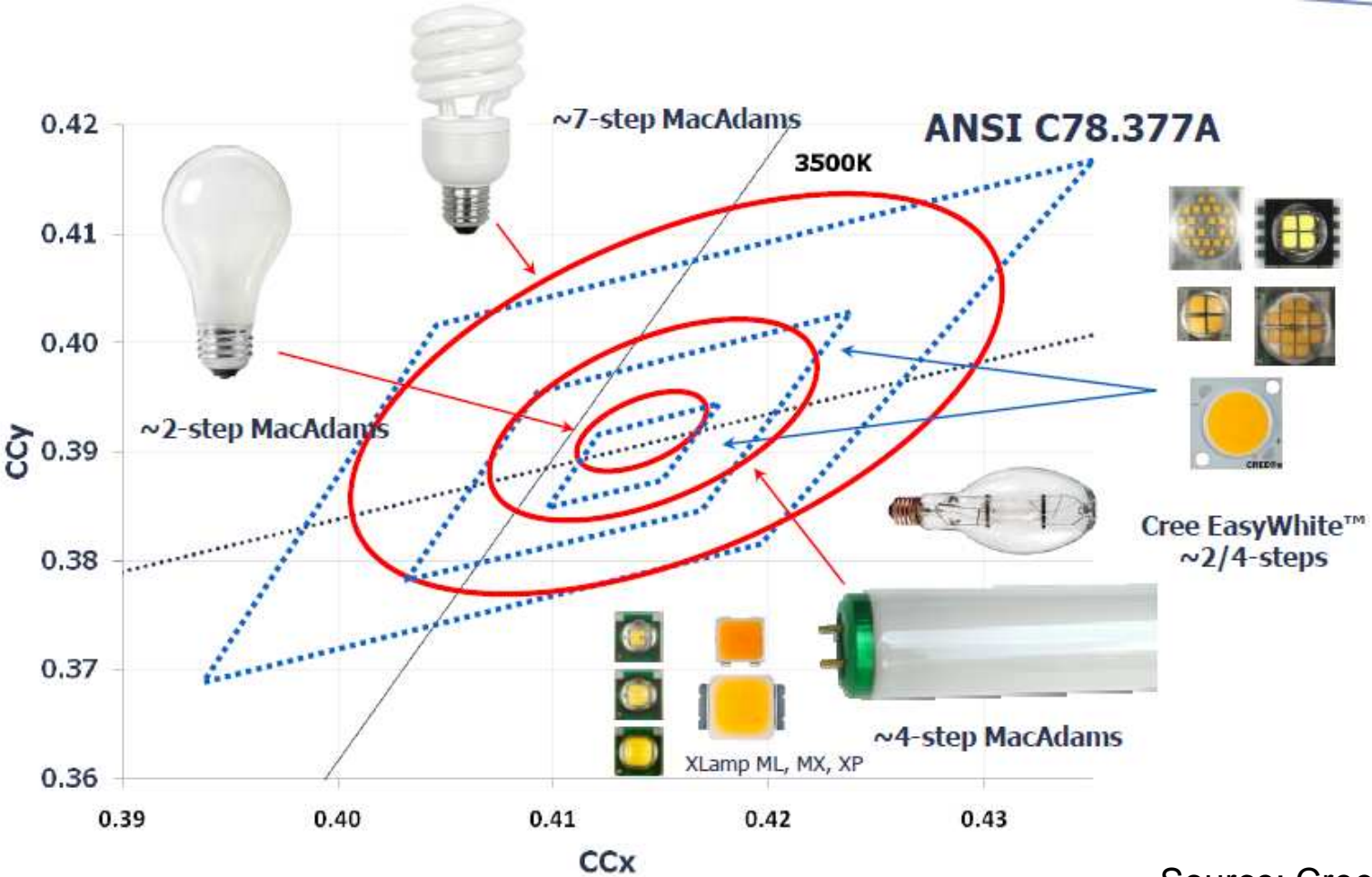
Color distribution of ANSI bin can lead to inhomogenous effects of luminaires  
 Solution – Introduction of EasyWhite™ bins with 2 or 4-step MacAdams



Source: Cree Inc.

# Trend to narrow white bins – EasyWhite™

Result – Not noticeable color distribution, located on Black Body locus



Source: Cree, Inc.

1. Vossloh-Schwabe Optoelectronic has LED competence for LED-drivers, color controls and LED-Modules for different applications
2. Vossloh-Schwabe is embedded in strong partnerships with Cree and as his distributor has access to a state-of-the art LED portfolio
3. By choosing the right LED a lot of today´s challenges for LED lighting can be solved
4. Specially for narrow white bins and reduction of LED-system costs some solution were showed.

**Thank you for your attention!**



ABB i-bus® KNX. Personality needs individual solutions. Our intelligent electro installation offers even more.



Every project for a luxurious house or residence requires individual solutions for electro installation. Our intelligent electro installation ABB i-bus® KNX represents the best direction to take for the control of your living space and your needs and expectations. Considering all thinkable demands you may have for the functionality of the installation, with its top design added, you get a unique possibility to make radical decisions for your project. You have the chance to become an artist, being able to fulfil all particular requirements regarding safety, comfort, design, and energy saving. [www.abb.cz/elektropraga](http://www.abb.cz/elektropraga)

ABB s.r.o., Elektro-Praga ▲  
 Phone: +420 483 364 111  
 Fax: +420 483 364 159  
 E-mail: ep.jablonec@cz.abb.com

Power and productivity  
 for a better world™ **ABB**

# AMI spol. s r.o.

Centrum svetelnej techniky

Komárňanská cesta 13

94043, Nové Zámky

Tel.: 035 / 6923900

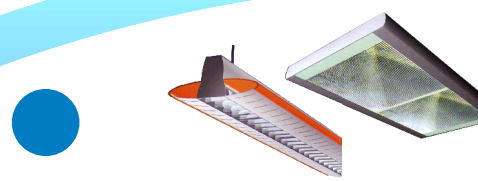
Fax: 035 / 6923960

035 / 6923990

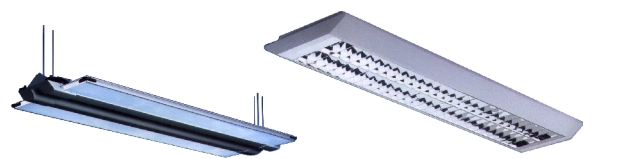
Mail: [ami@ami.sk](mailto:ami@ami.sk)

[odbyt@ami.sk](mailto:odbyt@ami.sk)

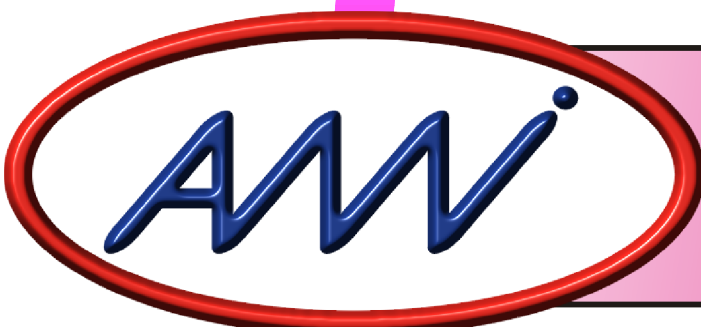
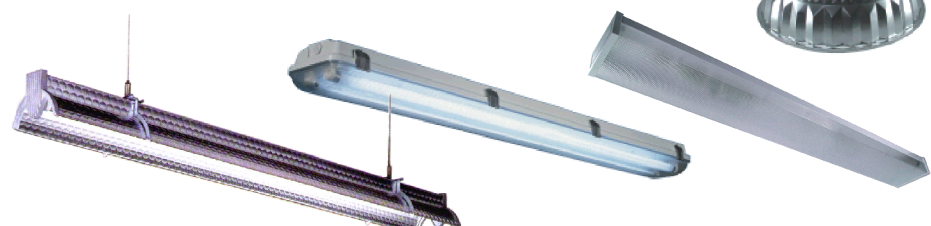
[www.ami.sk](http://www.ami.sk)



Interiérové svietidlá



Priemyselné svietidlá



## Výroba a predaj účelových svietidiel



Svetlomety



Uličné svietidlá



### ... už 18 rokov

**Regulácia verejného  
osvetlenia pomocou  
el.predr ECOLUM a ZRM**

# AMI - úsporné svetlo pre každú príležitosť!

# B.E.G. LUXOMAT®

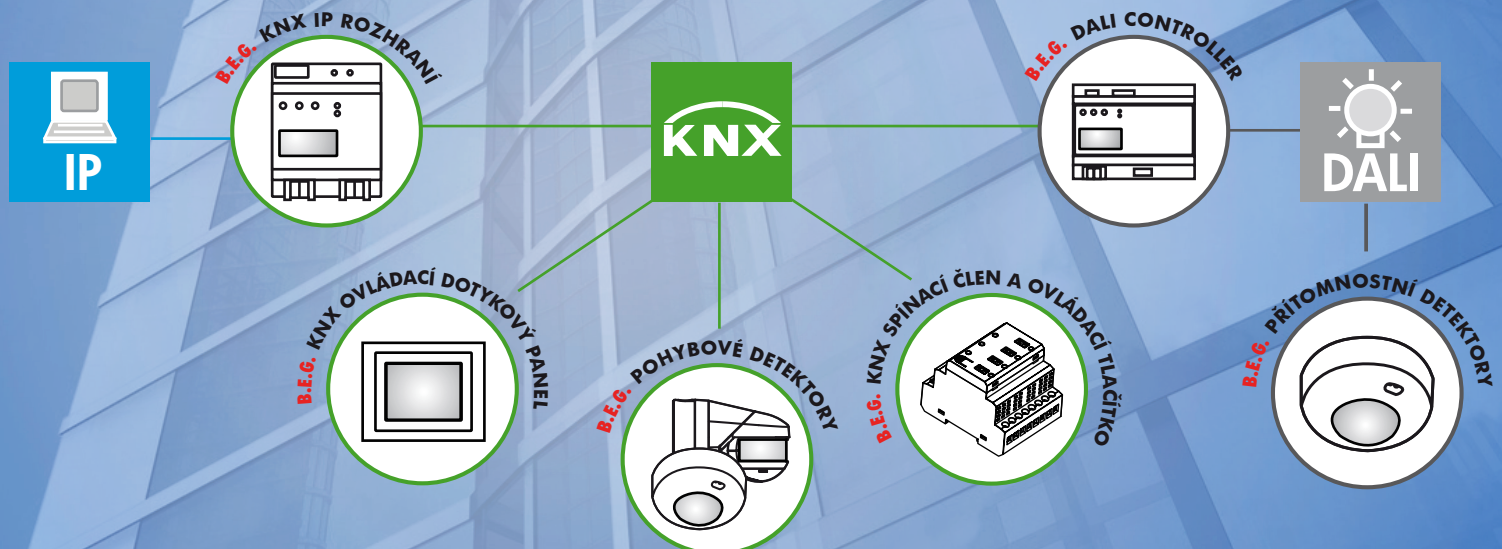
DALI a KNX

Individuální řešení pro technologie a inteligentní systémy budov



- Efektivita nákladů
- Úspora energie
- Flexibilita
- Bezpečí v budoucnu
- Přítomnostní detektory DALI pro skupinové adresování (max. 25 DALI předřadníků)
- Dali Controller pro jednotlivé adresování
- KNX IP rozhraní
- Stmívatelné přítomnostní a pohybové KNX detektory se čtyřmi různými operačními režimy
- Spínací člen a ovládací tlačítko KNX

Možno použít:  
IR-PD-DALI



[www.beg-luxomat.com](http://www.beg-luxomat.com)

# ELV Produkt a.s.

Nitrianska 3, 903 12 Senec  
tel. +421 2 20 202 611, fax. +421 2 20 202 603-4,  
e-mail: [elv@elv.sk](mailto:elv@elv.sk), [www.elv.sk](http://www.elv.sk)



Pre obce a mestá ponúkame kvalitné ocelové a betónové osvetľovacie stožiare (kužeľové, osemhranné, rúrové), mestský mobiliár (lavičky, stojany na bicykle, zábradlia,...), okrem toho ponúkame:

- predpäté betónové stožiare pre NN a VN rozvody
- trakčné a signalizačné stožiare
- výškové stožiare
- štadiónové stožiare
- telekomunikačné stožiare
- stožiare pre veterné elektrárne
- ohraňované ocelové stožiare pre rozvod 110kV a 400kV liniek

## Najväčší slovenský výrobca stožiarov s 50 ročnou tradíciou







**E.ON Servisní, s.r.o.**

Výstavba, provoz a údržba  
energetických a plynových zařízení

***e-on***



Společnost **E.ON Servisní, s.r.o.** poskytuje komplexní služby v oblasti distribuce elektrické energie a zemního plynu, především výstavby, provozu a údržby energetických a plynových zařízení. Společnost má více než 800 zaměstnanců, rozmístěných v regionu jižních Čech a jižní Moravy. Řadu činností - v oblasti výstavby a montáží - však provádí po území celé České republiky, případně v zahraničí.

## Elektrotechnické služby

Postavíme, zprovozníme a zabezpečíme bezproblémové fungování vašeho energetického zařízení tak, abyste měli zajištěnou plynulou dodávku elektrické energie.

- Provozování a údržba energetického zařízení
- Výstavba energetických zařízení
- PPN - práce pod napětím (nízké i vysoké napětí)
- Diagnostika kabelů nízkého i vysokého napětí
- Měřicí vozy - detekce poruch kabelů vysokého i nízkého napětí
- Odstraňování poruch energetického zařízení
- Kompletní inženýring a projektování elektrických zařízení a zdrojů
- Energetické poradenství
- Podniková energetika
- Optimalizace odběru energie, tarifní poradenství

## Plynárenské služby

Postavíme, zprovozníme a zabezpečíme bezproblémový provoz vašeho plynového zařízení tak, aby ve vašem domově, firmě či úřadu bylo vždy příjemné teplo.

- Provozování plynárenských zařízení
- Výstavba plynárenských zařízení
- Detekce a revize plynárenských zařízení

## Měření

Poskytujeme elektroměrovou a plynoměrovou službu a poradenství v oblasti měření energetických zařízení.

- Odečtové a měřicí systémy
- Služby kalibrační a metrologické laboratoře
- Měření kvality elektrické energie

## Ostatní služby

- Zemní a stavební práce
- Geodetické práce, GIS a vytyčování kabelových sítí
- Speciální služby - termovize
- Školení a revize zdvihacích zařízení

## Veřejné osvětlení

- Výstavba a provozování veřejného osvětlení

**Pro více informací  
kontaktujte:**

**E.ON Servisní, s.r.o.**  
Hády 968/2  
614 00 Brno

Jaromír Uhde  
Business development  
M +420-737 24 18 07  
T +420-539 05-09 10  
F +420-539 05-09 99  
jaromir.uhde@eon.cz

# FAGERHULT



[www.fagerhult.cz](http://www.fagerhult.cz) [www.fagerhult.sk](http://www.fagerhult.sk)



FAGERHULT  
Group:



ateljé Lyktan



GE  
Lighting

# LED řešení od GE pro efektivní veřejné osvětlení

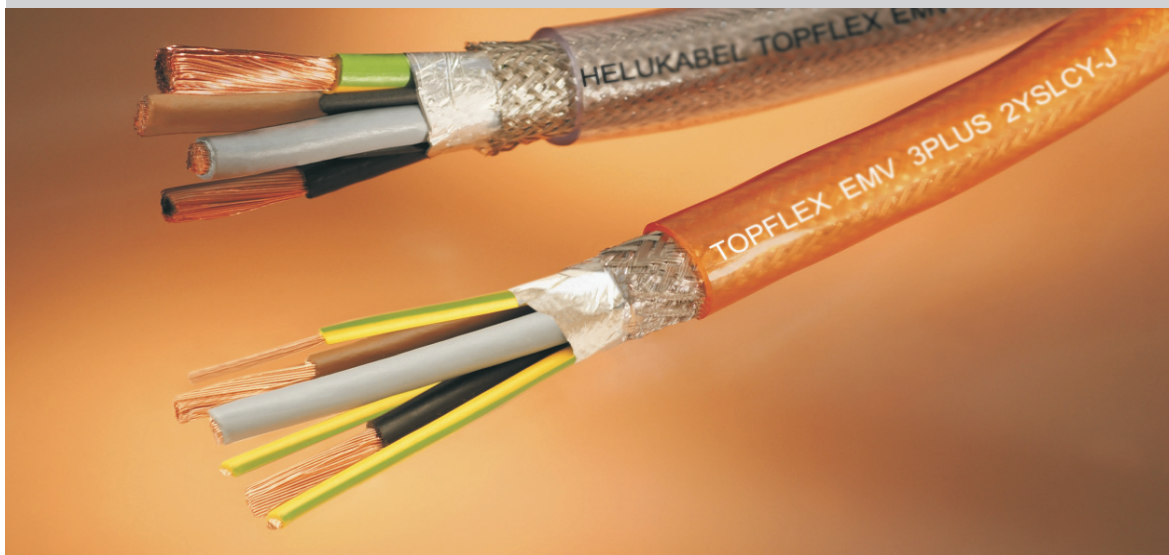
GE představuje nové svítidlo LED Road 250, které plně nahrazuje staré soustavy s výbojkami pro osvětlení komunikací, pěších zón či cyklostezek s inovovanou optikou, díky které je světlo vyzařováno rovnoměrně a je redukováno oslnění.

#### LED Road R250:

- Úspora 30-50% spotřeby energie v rámci soustavy
- Vysoká účinnost, vhodná náhrada vysokotlakých výbojek
- Úspora nákladů na údržbu díky životnosti 50.000 hodin (při zachování 80% světelného toku)
- Bílé světlo s teplotou chromatičnosti 6000K nebo 4300K s indexem barevného podání CRI=70
- Možnost stmívání a dálkového monitoringu svítidel
- Svítidlo je modulární
- K dispozici ve variantách od 39W do 237W celkového příkonu systému (jednotlivé varianty jsou odstupňované po 20W)



GE imagination at work



## Váš dodavatel kabelů, vodičů a kabelového příslušenství



[www.helukabel.cz](http://www.helukabel.cz)

**HELUKABEL CZ s.r.o.**  
Areál dolu Max · 273 06 Libušín  
Tel.: 00420 312 672 620  
Fax: 00420 312 672 621  
e-mail: info@helukabel.cz



Chtyřejší řešení pro chytřejší planetu:

## Jaký vztah má výpočetní výkon 27 383 výpočetních operací za sekundu a elektroměr?

Znamená to, že automatický systém je schopen provést kontrolu spotřeby 24krát denně, ne pouze kupříkladu jednou ročně. Zákazníci tak získají mnohem lepší přehled o své spotřebě a dodavatelé mohou lépe porozumět tomu, jaké množství energie je v jednotlivých okamžicích spotřebováváno. Měřidlo eMeter funguje na platformě Power Systems™ a softwaru IBM pro řízení aplikací a služeb. Použití systémů na této bázi umožňuje dodavatelům energií zpracovávat každou hodinu údaje z více než 20 milionů inteligentních měřidel (SmartMeters). Dodavatelé tak mohou provádět odečet spotřeby každou hodinu, resp. 4krát častěji, než to dokážou jiné systémy používané v tomto odvětví<sup>1</sup>. Chtyřejší řešení vychází z chytřejšího softwaru, systémů a služeb.

Pojďme vytvářet chytřejší planetu. [ibm.com/cz/emeter](http://ibm.com/cz/emeter)



*Vizualizace dat z odečtů spotřeby měřičem eMeter v průměrné domácnosti za období jednoho roku.*

<sup>1</sup> Vychází ze zveřejněných výsledků srovnávacích testů. Výsledky ke dni 13. 9. 2010. Zdroje: Tisková zpráva IBM <http://www-03.ibm.com/press/us/en/pressrelease/29315.wss> a tisková zpráva o měřiči eMeter <http://www.emeter.com/2009/emeter-demonstratesindustry's-most-scalable-smart-grid-management-capability/>. IBM, logo IBM, ibm.com, Power Systems, Chtyřejší planeta a ikona planety jsou ochrannými známkami společnosti International Business Machines Corp. registrované v řadě zemí světa. Ostatní názvy produktů a služeb mohou být ochrannými známkami společnosti IBM nebo jiných firem. Aktuální seznam ochranných známek společnosti IBM naleznete na webových stránkách [www.ibm.com/legal/copytrade.shtml](http://www.ibm.com/legal/copytrade.shtml). © International Business Machines Corporation 2011.

# INGE®

LIGHTING SYSTEMS  
[www.inge.com](http://www.inge.com)

OSVĚTLOVACÍ SYSTÉMY  
[www.inge.cz](http://www.inge.cz)

Český výrobce interiérových  
vysoce účinných zářivkových  
a LED svítidel.

Czech manufacturer of interior  
high efficiency fluorescent and  
LED luminaires.



**INGE Opava, spol. s r. o.**  
Stará silnice 3  
746 01 OPAVA, CZ  
Czech Republic

**GPS:** 49°56'38.60"N  
17°53'16.80"E

**E-mail:** [inge@inge.cz](mailto:inge@inge.cz)  
**www.inge.cz**

**tel.:** +420 553 602 123  
**mob.:** +420 606 782 762  
**tel.:** +420 553 602 125  
**mob.:** +420 602 502 326  
**fax:** +420 553 602 199

**Export:**  
**tel.:** +420 553 602 133  
**mob.:** +420 602 563 116  
**tel.:** +420 553 602 134  
**mob.:** +420 602 563 117

# KOOPERATIVA

výrobně obchodní družstvo Uhlířské Janovice

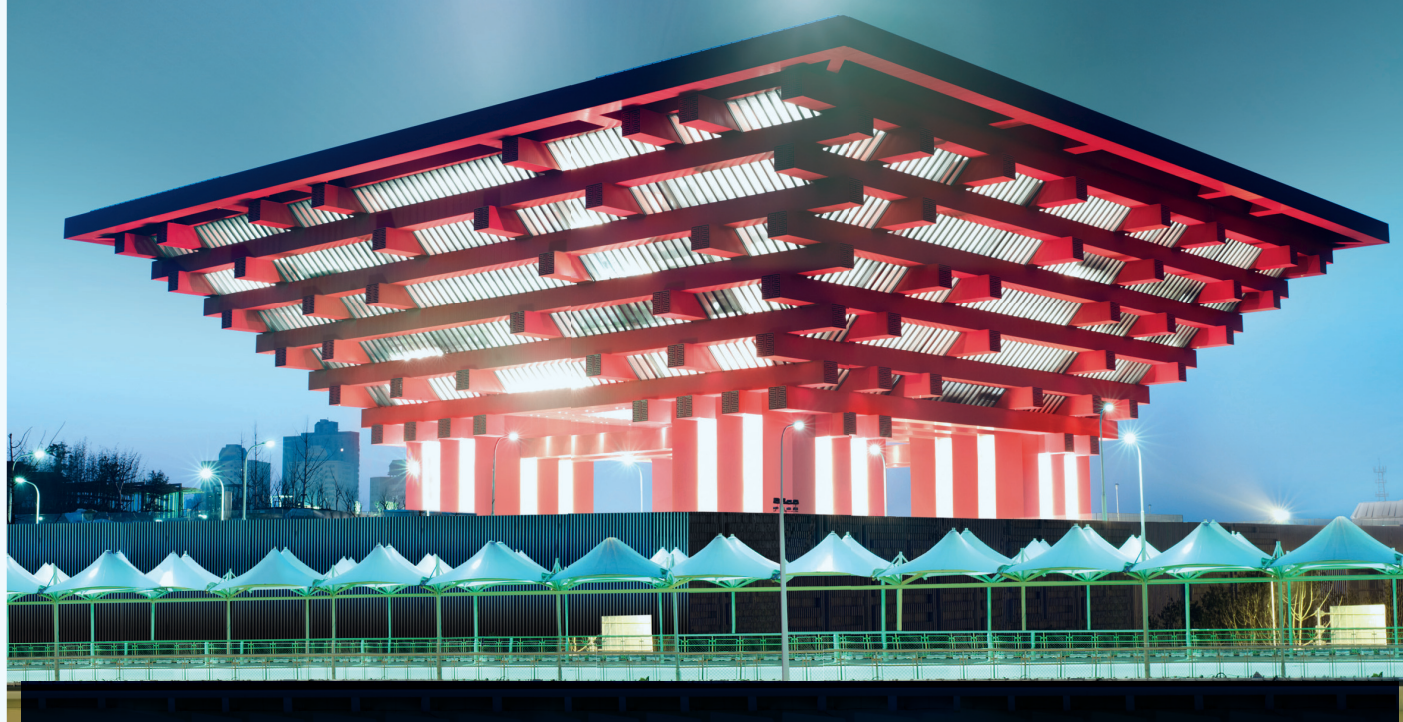


[www.ocelestozary.cz](http://www.ocelestozary.cz)

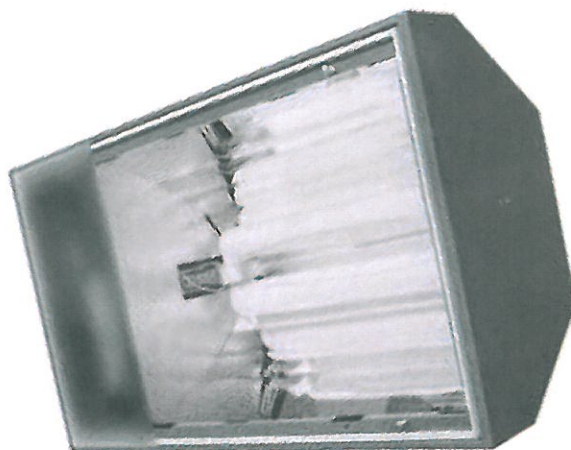




Pro někoho znamená LED budoucnost v osvětlování.  
Pro naše zákazníky jsou světelná řešení s LED žhavou současností.



23 000 LED Golden DRAGON® Plus vytvořilo fascinující osvětlení čínského pavilonu na EXPO 2010 v Shangai. LED komponenty spotřebují o 70 % méně energie, LED systémy nabízejí neomezené možnosti designu světla. A to nejlepší? Zařídíme všechno, od návrhu, prvotního nápadu až po realizaci a instalaci kompletního světelného řešení. S námi jako experty na světlo budete v přední linii LED technologie. Inspirujte se na [www.osram.cz/led](http://www.osram.cz/led).



---

## VÝVOJ, VÝROBA, DOVOZ A PRODEJ ÚSPORNÉ OSVĚTLOVACÍ TECHNIKY

Naše společnost je zaměřena na dovoz, vývoj a výrobu osvětlovací techniky. Provádíme komplexní služby v osvětlovací technice. Montujeme osvětlovací soustavy „na klíč“. Jsme zaměřeni na energetické úspory v oblasti osvětlení.

---

[www.osteos.cz](http://www.osteos.cz)

OSTEOS SERVICE, s.r.o.  
Čs. Armády 877 / 20  
Tel./Fax: +420 596 240 678  
GSM: +420 739 452 279  
E-mail: [office@osteos.cz](mailto:office@osteos.cz)



[www.okas.cz](http://www.okas.cz)

Údržba a oprava komunikací  
Údržba veřejného osvětlení  
Reklama na sloupech VO  
Dopravní značení  
Světelná signalizace  
Kolektory  
Strojní metení komunikací  
Nákladní doprava  
Opravy motorových vozidel  
Měření emisí – Diesel  
Dopravně – inženýrská činnost



Držitel  
certifikátů dle:  
ČSN EN ISO 9001  
ČSN EN ISO 14001  
ČSN OHSAS 18001



Ostravské komunikace, a.s.  
Novoveská 25/1266, 709 00 Ostrava-Mariánské Hory

**TREVOS**



*[www.trevos.cz](http://www.trevos.cz)*



# VYRTYCH

DOTEK SVĚTLA



## EXTEND-Ex

Společnost VYRTYCH a.s. patří mezi největší výrobce světelné techniky v České Republice. Ve svém výrobním programu má nejen svítidla pro osvětlení interiérů, ale především průmyslová svítidla (IP66, IP67 a nově IP68), svítidla do prostor s vysokým rizikem mechanického poškození, svítidla do prostředí s nebezpečím výbuchu (zóna 1, 21 a 2, 22) a svítidla pro osvětlování komunikací.

Z kategorie svítidel do prostředí s nebezpečím výbuchu byla na trh v letošním roce uvedena svítidla řady EXTEND-Ex. Svítidla řady EXTEND-Ex jsou zářivková prachotěsná svítidla určená pro osvětlování prostorů s nebezpečím výbuchu hořlavých plynů a par - zóna 1, 2 a prostorů s nebezpečím výbuchů hořlavých prachů - zóna 21, 22. Společnost VYRTYCH a.s. je v rámci České republiky jediným výrobcem těchto speciálních typů svítidel.

### EXTEND-Ex-P, IP 65

U této verze je těleso svítidla vyrobeno lisováním z polyesteru plněného skleněnými vlákny, šedé barvy RAL 7035, kryt svítidla je vyroben vstřikováním z transparentního polykarbonátu.

Svítidlo je standardně dodáváno ve variantách 1x36W a 2x36W a to v provedení s odpojovačem, bez odpojovače, a nebo variantně pro dočasné či trvalé nouzové osvětlení.

Svítidla byla zkoušena v FTZÚ Ostrava a byl na ně vystaven certifikát **FTZÚ 10 ATEX 0229X**.

### EXTEND-Ex-T, IP 67

Těleso svítidlo u této verze je tvořeno polykarbonátovou trubkou o vnějším průměru 150 mm a tloušťce stěny 3 mm.

Trubka je ukončena těsnícími nerezovými zátkami s průchodkou M20.

Svítidlo je standardně dodáváno ve variantách 1x/2x18, 36, 58W a to v provedení s odpojovačem, bez odpojovače, a nebo variantně pro dočasné či trvalé nouzové osvětlení. Svítidlo splňuje stupeň krytí IP 67.

Svítidla byla zkoušena v FTZÚ Ostrava a byl na ně vystaven certifikát **FTZÚ 10 ATEX 0144X**.

[www.vyrtych.cz](http://www.vyrtych.cz)

VYRTYCH a.s. | Židněves 116 | 294 06 Březno | [sale@vyrtych.cz](mailto:sale@vyrtych.cz) | +420 326 399 178

Tento projekt byl realizován za finanční podpory z prostředků státního rozpočtu prostřednictvím Ministerstva průmyslu a obchodu.

Spoluřešitel projektu ČVUT - Fakulta elektrotechnická.

Výkonné LED produkty společnosti Zumtobel Vás zaujmou vysokou účinností, výbornou reprodukcí barev, jedinečným designem a provozem bez údržby.

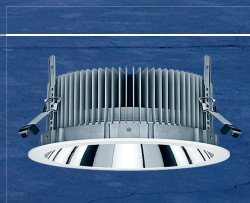
Dynamická řešení s inteligentními systémy řízení osvětlení optimálně spojují vysokou kvalitu světla s energetickou účinností.

LED'S  
CONTROL  
LIGHT

Progresivní světelná řešení společnosti Zumtobel se vyznačují rovnováhou kvality světla a šetrnosti k životnímu prostředí - koncept HUMANERGY BALANCE.



*PANOS INFINITY – nová epocha designu, světla a účinnosti.  
Design: Chris Redfern, Sottsass Associati*



*Jedinečné spojení progresivních technologií s prvotřídním pasivním chlazením dosahující účinnost svítidel až 77 lumen/watt.*



*PANOS INFINITY bez rámečku nabízí nejvyšší světelný komfort v souladu s dokonalým designem.*



Výkonné LED produkty společnosti Zumtobel Vás zaujmou vysokou účinností, výbornou reprodukcí barev, jedinečným designem a provozem bez údržby.

Dynamická řešení s inteligentními systémy řízení osvětlení optimálně spojují vysokou kvalitu světla s energetickou účinností.

LED'S  
CONTROL  
LIGHT

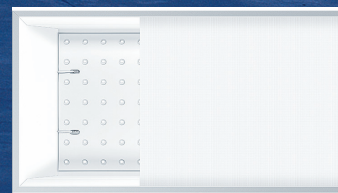
Progresivní světelná řešení společnosti Zumtobel se vyznačují rovnováhou kvality světla a šetrnosti k životnímu prostředí – koncept HUMANERGY BALANCE.



*LIGHT FIELDS LED vynikají homogenním světelným obrazem a ušlechtilou řečí tvarů. Design: Chris Redfern, Sottsass Associati*



*Svítilno je použitelné i v nízkých prostorách, nebo u zavěšených stropů v hranaté konstrukci, nebo jako podélné svítidlo.*



*Účinnost až 81 lumen/W pro kancelář: LIGHT FIELDS LED přesvědčí perfektním omezením oslnění díky technologii MPO+.*

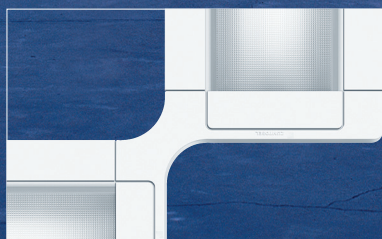


Výkonné LED produkty společnosti Zumtobel Vás zaujmou vysokou účinností, výbornou reprodukcí barev, jedinečným designem a provozem bez údržby.

Dynamická řešení s inteligentními systémy řízení osvětlení optimálně spojují vysokou kvalitu světla s energetickou účinností.

LED'S  
CONTROL  
LIGHT

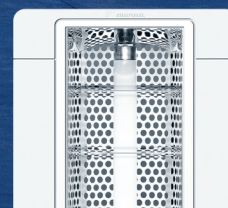
Progresivní světelná řešení společnosti Zumtobel se vyznačují rovnováhou kvality světla a šetrnosti k životnímu prostředí - koncept HUMANERGY BALANCE.



*Přímo / nepřímé svítidlo ELEE A s vysokou účinností a flexibilitou osvětlení.  
Design: Ingenhoven Architects*



*ELEE B vyniká harmonickým designem s lehce zaoblenými hranami, inovativní světelnou charakteristikou a nenápadným lankovým zavěšením.*



*Široká nabídka optik a hybridní varianta s LED je optimálním řešením osvětlení pracoviště.*





Autor: **Kolektiv autorů**  
Katedra, institut: **Katedra elektroenergetiky**  
Název: **Světlo 2011**  
Počet stran: **250**  
Rok, vydání: **2011, 1. vydání**  
Vydala: **VŠB-TU Ostrava**  
Tisk: **Tisk agency, s.r.o.**  
Náklad: **200 ks**

**NEPRODEJNÉ**

**ISBN 978-80-248-2480-2**

Vystavovatelé / Exhibitors



CTS Praha s.r.o.



měřicí technika - morava  
messtechnik - moravia  
measurement technic - moravia



**HELUKABEL®**

Generální partner / General partner



Zlatí partneři / Gold partners



Stříbrní partneři / Silver partners



CEZ GROUP



Bronzoví partneři / Bronze partners



CTS Praha s.r.o.



GE imagination at work  
Hungary



Hlavní mediální partner / Main media partner



Mediální partneři / Media partners



AKTUÁLNĚ O SVĚTLE A OSVĚTLENÍ



Elektro a trh

Odborný česko-slovenský elektrotechnický časopis

Organizační partneři / Organizational partners



ČESKÉ  
VYSOKÉ  
UČENÍ  
TECHNICKÉ  
V PRAZE