

Česká společnost pro osvětlování regionální skupina Ostrava
Slovenská svetelnotechnická spoločnosť
Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava

PROCEEDINGS

of the 23rd International Conference

SBORNÍK

z 23. mezinárodní konference



Parkhotel Plzeň
22. – 24. 10. 2019

VYSOKÁ ŠKOLA BÁŇSKÁ-TECHNICKÁ UNIVERZITA OSTRAVA

Fakulta elektrotechniky a informatiky, Katedra elektroenergetiky
17. listopadu 2172/15, 708 00 Ostrava – Poruba

Kolektiv autorů

kat. 410

23. mezinárodní konference SVĚTLO 2019

ISBN 978-80-248-4354-4

CD-ROM

Obsah

1	Péter Csuti, Dávid Noel Tóth, Róbert Nagy, Ferenc Szabó	5
	Automatization of lighting audits: the development of a robotic illuminance meter	
2	Petr Žák, Teodor Terrich	8
	Třídy osvětlení ve veřejném osvětlení - návrh národní metodiky	
3	Petr Běčák, Tomáš Novák, Dionýz Gašparovský, Karel Sokanský	13
	Modelování různých světelných zdrojů vyzařujících do horního poloprostoru - rušivé světlo	
4	Ondřej Dolejší, Richard Baleja, Petr Běčák, Tomáš Novák, Karel Sokanský, Jiří Tesar	17
	Srovnání režimů čelních světlometů vozidla při průjezdu v intravilánu bez veřejného osvětlení	
5	Josef Kunc	24
	Výhody řízení nejen osvětlení jediným celosvětově normalizovaným systémem KNX	
6	Tomáš Maixner	28
	Dynamické veřejné osvětlení	
7	Theodor Terrich, Petr Žák	30
	Vliv provozních parametrů svítidel na energetickou náročnost veřejného osvětlení	
8	Pavel Staněk	35
	Implementace nové normy EN 17037 – Denní osvětlení budov	
9	Vladislav Kosejk	37
	Umělé osvětlení pro kultivaci rostlin	
10	Marek Mokráň, Roman Dubnička, Dionýz Gašparovský	40
	Vplyv uhla natočenia svietidiel s nesymetrickou krivkou svietivosti na vypočítané parametre osvetľovacej sústavy	
11	Stanislav Hejduk, Tomáš Stratil, Jan Latal, Lukas Hajek, Ales Vanderka, Tomas Novák, Karel Sokanský	44
	Implementace inteligentního modulátoru na bázi OOK s Bias-Tee do svítidla veřejného osvětlení	
12	Leoš Kukačka, Pascal Dupuis, Michal Vik	48
	Establishing Confidence Intervals for Luminous Flicker Measurements	
13	Tomáš Stratil, Jan Látal, Stanislav Hejduk, Lukas Hajek, Aleš Vanderka	51
	Možnosti využití open source řešení pro chytré veřejné osvětlení	
14	Marcela Pechová, Martina Víková, Michal Vik	55
	The effect of luminance level on color difference evaluation	
15	Miroslav Kocifaj	59
	How night sky brightness changes from ground to satellite level	
16	Dionýz Gašparovský, Jana Raditschová	61
	Investigation of Lighting Quality and Energy Performance in Home Lighting	
17	Michal Kozolok, Petr Žák, Marek Bálský	66
	Parametry světelného pole a jejich měření	
18	Stanislav Darula, Marta Malíková	72
	Exposure to sunlight requirements in the design of building envelope structures	
19	Marek Bálský, Rudolf Bayer, Michal Kozolok	77
	Prostorové spektrální vlastnosti svítidel	
20	Jaromír Petržala	81
	An Express Analysis of Nocturnal Ground Irradiance in Densely Populated Areas	
21	Ladislav Kómar, Miroslav Kocifaj	85
	Light-guide under homogenous and arbitrary skies: similarities and fundamental differences	
22	Jan Kaňka, Jitka Mohelníková, Jaroslav Vychytil	89
	Daylight and luminance of shading obstructions throughout the year	
23	Jana Lepší, Tomáš Maixner	93
	V šeru dávných věků, aneb o historii České společnosti pro osvětlování	

24	Petr Niesig Historie českých norem pro osvětlování škol	95
25	Marie Juklová Historie rozvoje osvětlení v Ostravě jako předstupeň RS ČSO Ostrava	98
26	Petr Mahdalíček Implementace výpočtu osvětlení přechodů podle TKP 15.1	100
27	Jiří Burant Ochrana před přepětím pro LED osvětlovací systémy	103
28	Richard Kaloč Řízení osvětlení s DALI-2	107
29	Kathryn Nield Activities of the International Commission on Illumination (CIE)	109

čepos



OBO
BETTERMANN





SKUPINA ČEZ

DEEDNA



Halla

METROLUX



ZUMTOBEL

AKTÉ

Artechnic
Schröder 

 **ELKOVO
ČEPELÍK**

 **měřicí
technika
morava**

 **NBB
BOHEMIA**

SATHEA

 **TECHNOLOGIE
HLAVNÍHO MĚSTA
PRAHY**
Pulz naší metropole

TREEVOS

Automatization of lighting audits: the development of a robotic illuminance meter

Abstract. *The illumination measurement task rarely occurs as a single point measurement, but rather the measurement of a whole grid has to be done and has to be logged in the same time. To achieve this in an automated way we've developed an illuminance meter robot which finds the given measurement positions both indoor and outdoor environments for itself.*

Keywords: illuminance measurement, audit, robot.

Introduction

The illumination measurement tasks of today didn't change compared to decades earlier. A well working illuminance meter developed in the last millennium can still be used and also according to the trend of recent years, more and more measuring devices do capture other measures (i.e. spectral power distribution, visual flicker) of the measured light.

The illumination measurement task rarely occurs as a single point measurement, but rather the measurement of a whole grid has to be done and has to be logged in the same time. To achieve this in an automated way we've developed an illuminance meter robot which finds the given measurement positions both indoor and outdoor environments for itself.

In addition, a more complex task arises when measuring the illumination not only in the horizontal plane, but with photometer in the vertical direction of the sensor of the measuring instrument perpendicularly in four or more directions like in pedestrian crossings or camera directional illuminance measurements in case of stadium installations. This can be done in our case by a two axis goniometer installed on the illuminance meter robot.

By using today's technical capabilities it is possible to measure the illumination of a room or even a whole outdoor area in a fully automated way. Therefore, our aim was to develop a robotic illuminance meter that moves independently between two measurement points by positioning itself and arrives at the predetermined measurement spots to perform the required number of illuminance measurements with practically any photometer direction. In addition to the measurement results, it stores the position coordinates, the precise two-axis orientation of the photometer sensor, the inclination and geographical direction of the robot and the measurable environmental parameters.

Illuminance as a quantity

Illuminance is one of the most known photometric quantity. When talking about photometers mostly an illuminance- or lux-meter is associated although a luminance meter is also a photometer since it uses an overall responsivity fitted to the $V(\lambda)$ function, the spectral luminous efficiency of the human visual system [1].

By definition [2] illuminance at a point of a surface is the quotient of the luminous flux incident on an element of the surface containing the point by the area of that element. As we are talking about a surface or plane it can be positioned in several ways. Two straightforward positions are horizontal and vertical which are special cases of the quantity illuminance. If we place lots of infinitely small surfaces onto a sphere then we get the spherical realization of illuminance, called spherical illuminance. If only the upper

or lower hemisphere is important the hemispherical illuminance can be defined. The geometrical shape cylinder can also be regarded as a series of infinitely small reference planes around the superficialia of the cylinder.

From the instrumentation side the spherical, hemispherical and cylindrical illuminance can all be realized by putting special adapters in front of a photometer cell. On the other side if only a regular illuminance meter is used than those not planar types can also be estimated by measurements carried out in different directions and the result will have relatively small error and the benefit that there are also directional information stored in the measurement report.

Illuminance as a measurement task

The measurement of illuminance is a common task in the lighting design phase and also at its evaluation where the realized values are checked in a well-defined way. The most important standards are the multi chapter document EN 12464 which deals with the lighting requirements of workplaces both indoor [3] and outdoor [4]. Illuminance measurement with a calibrated instrument is required to check the illuminance level at the desired work plane. Usually a matrix of multiple measurement points will lead to the result where the requirements are given to minimum, maximum and average illuminance values. The uniformity of the illuminance at the work plane is one of the key descriptors of a working environment and is crucial to fulfil the working task in a safe and precise way. In case of road lighting the requirements are given in the multi document standard CEN 13201 [5] and the requirements of sport lighting can be found in the EN 12193 [6] including stadiums. Beside the international standards specific sport associations can have their own requirements like the FIFA does in its detailed lighting design guidelines of football stadium facilities. The previous documents mainly concentrate on the observer but this latter one is mainly about the broadcasting requirements where the 'observers' are the broadcast camera systems with their special requirements.

Let it be indoor or outdoor measurement the standards define the type, the exact location and the exact position of the value to be checked with a photometer. Under photometer I do now also understand luminance meters since there are some requirements which are given in luminance values and not illuminance values. For luminance values usually the two dimensional x,y position is the same as the position of the illuminance meter but the reference plane is at a specific surface. Luminance is an important photometric quantity since it is the closest quantity which describes the light perception human visual system. In case of the quantity luminance there is always

an observer location from where the measurement location is observed.

To check a lighting design the best way is to use an illuminance meter even at locations where luminance requirements are given since the illuminance values at those points in question can be realized and with this method the used luminaires and their configuration can be checked with small error compared to a luminance meter measurement with an unknown reflectance coefficient of the grit.

Recent lighting design software tools use the calculation and measurement points recommended by the standards so the audit of a lighting system installation can be checked easily. The test calculation values can be exported and fed into a spreadsheet where those can be compared with the measured values.

Illuminance meter requirements

As we have learned in the previous chapter a good illuminance meter can help the lighting designer to validate the design concept or to help a lighting auditor to check if the lighting requirements are all reached. Talking about a good illuminance meter a series of different quality indices [7] arise like the following:

- f_1' , the photometers spectral fitting to the human luminous efficiency function,
- (DIN 5032-07 Class L <1,5%, A < 3%, B < 6%, C < 9%)
- f_2 , the quality of the photometers cosine response,
- f_{UV} and f_{IR} , the instruments response in the UV and in the IR range,
- f_3 , linearity of the photometer,
- ... f_{11} , effect of range change.

One of the most important quality descriptor is the first in the above list. It defines how well is the photometers spectral response fitted to the luminous efficiency function. To check the above indices when selecting a photometer is a good start but the decision will also be influenced by other aspects like the form, the size, the remote control possibilities, the battery type, internal storage options and so on. In our case a custom made photometer head was built which also enabled to use it as a goniometric system solution.

Development of a robotic illuminance meter

The idea behind the design of a robotic illuminance meter was to make the audit process simpler in some special situations. Using today's sensor systems together with a robot it could not be a problem to realize a system which can go to a specified location, position it's photometer, do the measurement, save it with the location and environmental parameters and move to the next measurement point.

Moving and localization of the robot

To get the robot to the specified location it should know its current location and calculate the needed directional and physical distance parameters. This function does not sound to complex but actually it gets complicated if we would like to use the end product both, indoors and outdoors. In those two situations even the surface type and roughness properties can cover a wide range which also defines how the robot is able to move. The question was: should we use a number of wheels or should we use a caterpillar type solutions? Since it should be able to move at various surface types we have decided to use the caterpillar type solution. As material of the caterpillar system metal, plastic and rubber were all options. Our tests conducted on

different surfaces showed that the rubber caterpillar solution could work in the majority of the possible cases.

The next question was what should the caterpillars drive? Here we had the following possible solutions:

- stepper motors,
- servo motors,
- BLDC (brushless DC) electric motors.

Stepper motors would require much more energy to drive the whole robot photometer and one of the design parameters is that the instrument should work also off the mains network so we have dropped that solution. Servo motors would had the needed precision but were bulkier compared to BLDC motors. The two caterpillar sides are operated by two BLDC motors and at the axis encoders are used to get the real rotational information.

By investigating the possibilities of the localization solutions we had also several possibilities:

- laser scanner,
- ultrasound sensor system,
- GPS system,
- VLC.

A laser area scanner wouldn't had made our life easier since the base system of such a localization solution needs lots of space, it's not lightweight and would not work at outside areas. The ultrasound sensor system is a real option but it would only work for indoor tasks. The GPS solution with a base station is probably the best option for the outside tests. Finally we have decided to have two different approaches one for the indoor and one for the outdoor operations. Indoors ultrasound based localization system is used which is not able to work outdoors, where we have decided to use the GPS solution. Both solutions served with sufficient precision to get the location coordinates so it could be effectively used for our solution. In our case sufficient precision means that we can get to the desired measuring point with an error < 1 % of the distance between two adjacent points with the outside GPS system and < 3 % with the ultrasound system for indoor tests.

Aiming the photometer on the robotic illuminance

If the robot is already at the desired location of the measurement then depending of the measurement type (horizontal, vertical or camera directional) the photometer head should be aimed according to the given requirements. In case of horizontal illuminance measurement the photometer head should be horizontal, in case of vertical illuminance it should be vertical and also directed to the right direction, in case of a stadium audit it should also be possible to realize camera directions. Considering all the above situations a two axis goniometer system was built on top of the robot with a double tube solution enabling to change the height of the measurement. The inner tube is used to change the detectors rotational state around a horizontal axis visible in Fig 1 and Fig 2. With the achievable 0.3° precision of the rotation not only horizontal and vertical positions can be set but also any desired angle setting is possible which is needed if for example camera directional illuminance measurements are needed.



Figure 1. Goniometer with mounted detector in horizontal measurement state



Figure 2. Goniometer with mounted detector in vertical measurement state

A complete measurement task

To realize the measurement of a complete room the measurement points inside the room have to be calculated. We have developed a custom software to prepare the measurement grid with the exact positional information inside a room with given size. The software also controls the whole measurement process when finishing a measurement it will store the data with the available environmental parameter and sends the robot to the next location to do the next measurement.

Summary

A special robotic photometer system was designed and built to realize different lighting audit tasks where a series of measurements has to be done at various locations both indoors and outdoors. The applied positioning solution is ultrasound for inside tasks and GPS for outside tasks. To move the robotic illuminance meter BLDC motors were used through the two caterpillars. A unique control software calculates the measurement grid and controls the moving of the robot through the measurement points. We acknowledge the financial support of Széchenyi 2020 under the EFOP-3.6.1-16-2016-00015.

Authors: Dr. Péter CSUTI, Dávid Noel TÓTH, Róbert NAGY, Dr. Ferenc SZABÓ, Light and Colour Science Research Laboratory, University of Pannonia, Veszprém, Hungary, csuti.peter@virt.uni-pannon.hu

- [1] CIE No18:1970 The Basics of Physical Photometry, ISBN 978 92 9034 018 8
- [2] IEC 60050 IEV 845-01-38 IEC 60050 International Electrotechnical Vocabulary
- [3] EN 12464-1:2011 Light and lighting. Lighting of work places. Part 1: Indoor work places
- [4] EN 12464-2:2014 Light and lighting. Lighting of work places. Part 2: Outdoor work places
- [5] CEN/TR 13201 Road lighting
- [6] EN 12193:2018 Light and lighting - Sports lighting
- [7] ISO/CIE 19476:2014 Characterization of the performance of illuminance meters and luminance meters

Třídy osvětlení ve veřejném osvětlení - návrh národní metodiky

Abstrakt. Příspěvek popisuje pracovní návrh nové národní metodiky pro výběr tříd osvětlení pozemních komunikací, jako náhrady za metodiku uvedenou v normě ČSN CEN/TR 13201-1. Nová metodika vychází z administrativního dělení pozemních komunikací v České republice zavedené v národních právních předpisech a jejím hlavním cílem je zjednodušení výběru tříd osvětlení v praxi a rychlé a účinné hodnocení energetické náročnosti veřejného osvětlení a rušivého světla.

Klíčová slova: veřejné osvětlení, normální třída osvětlení, adaptivní třída osvětlení, spektrální třída osvětlení

ÚVOD

V členských zemích CEN platí pro návrh osvětlení pozemních komunikací soubor evropských technických norem EN 13201 (část 1 až 5). Platnost norem automaticky neznamená jejich závaznost. V České republice jsou technické normy obecně nezávazné, ale jejich splnění může být požadováno právním předpisem (vyhláška, nařízení vlády, zákon), pro který se pak stávají závazným.

Základní třídění pozemních komunikací podle účelu (třídy M, C, P) je uvedeno v technické zprávě CEN/TR 13201-1. Konkrétní parametry osvětlení jsou pak zaříděným komunikacím přiřazeny v normě EN 13201-2. Dokument CEN/TR 13201-1 není technickou normou ale pouze technickou zprávou a jednotlivé členské státy CEN měly možnost tuto zprávu vyhlásit jako národní normu nebo si vytvořit národní normu s vlastní metodikou. Již v úvodu technické zprávy se uvádí, že jednotlivé členské státy si mohou metodiku výběru tříd osvětlení, kterou tato zpráva popisuje, upravit nebo použít metodiku jinou. Například Německo tuto technickou zprávu nepřijalo jako normu, používá původní metodiku a zároveň pracuje na vytvoření metodiky vlastní. V Itálii, Rakousku a Švýcarsku mají vlastní národní normu. V rámci České republiky byla tato technická zpráva přijata jako česká technická norma.

NEDOSTAKY SOUČASNÉ METODIKY

Metodika pro stanovení tříd osvětlení použitá v CEN/TR 13201-1 z roku 2014 přes významné zjednodušení oproti předchozí metodice z roku 2004 je pro praxi poměrně náročná, složitá a v některých případech nejednoznačná. Problematickými částmi jsou:

- dovolená rychlosti - při změně o jeden stupeň (vysoká – střední) změna o dvě třídy;
- kapacita komunikace – informace není pro místní komunikace k dispozici;
- intenzita dopravy – pro místní komunikace nejsou informace k dispozici;
- nejednoznačný výklad parametrů jasnost okolí nebo náročnost navigace

Z výše uvedených informací je zřejmé, že volba třídy osvětlení má v sobě určitou míru nejistoty a může být potenciálním místem sporu.

Metodika třídění komunikací vychází z dokumentu CIE 115/2010. Při porovnání obou metodik je zřejmé, že i mezi odbornou veřejností není jednotný názor na to, jak má metodika vypadat (tab. 1). Zeleně jsou vyznačeny parametry se shodným hodnocením. Je tedy zřejmé, že jak na možnostech, tak i váhových hodnotách není všeobecná shoda a při jejich volbě a nastavení hraje roli individuální

přístup. Jednou z možných příčin může být i skutečnost, že v rámci zemí CEN neexistuje jednotná metodika klasifikace pozemních komunikací.

Tab. 1 Porovnání volby parametrů pro třídy M [1,2]

Parametr	CIE		CEN/TR	
	Možnosti	Váhová hodnota	Možnosti	Váhová hodnota
Rychlost	Velmi vysoká	1	Velmi vysoká	2
	Vysoká	0,5	Vysoká	1
	Střední	0	Střední	-1
	X	x	Nízká	-2
Intenzita dopravy	Velmi vysoká	1	x	x
	Vysoká	0,5	Vysoká	1
	Střední	0	Střední	0
	Nízká	-0,5	Nízká	-1
Skladba provozu	Velmi nízká	-1	x	x
	Smíšená	2	Smíšená	2
	Smíšená	1	Smíšená	1
	Pouze motorová	0	Pouze	0
Směrové rozdělení	Ne	1	Ne	1
	Ano	0	Ano	0
Hustota křížovatek	Vysoká	1	Vysoká	1
	Střední	0	Střední	0
Parkující vozidla	Vyskytují se	1	Vyskytují se	1
	Nevyskytují se	0	Nevyskytují	0
Jasnost okolí	Velmi vysoká	1	x	x
	Vysoká	0,5	Vysoká	1
	Střední	0	Střední	0
	Nízká	-0,5	Nízká	-1
	Velmi nízká	-1	x	x
Náročnost navigace	Vysoká	0,5	Vysoká	2
	Střední	0	Střední	1
	Nízká	-0,5	Nízká	0

NOVÁ METODIKY TŘÍDĚNÍ

Třídy osvětlení definují požadavky na osvětlení pozemních komunikací. Při relativní složitosti a nejednoznačnosti jejich stanovení to může významně ovlivnit kvalitu návrhu osvětlovacích soustav jak z pohledu bezpečnosti, energetické náročnosti, rušivých vlivů tak i estetického působení. Jednoduché a jednoznačné definování požadavků na osvětlení je prvním krokem při úvahách o energetické náročnosti a optimalizaci osvětlovacích soustav. Z toho důvodu vznikla iniciativa, v rámci které se řeší návrh nové národní metodiky pro třídění pozemních komunikací.

Současná metodika používá pro stanovení jednotlivých tříd osvětlení parametrický systém. To znamená, že jednotlivé třídy jsou stanoveny podle parametrů, které charakterizují uživatele, dopravní situaci, geometrii dopravního prostoru a

okolní prostředí. Druhou možností je taxativní systém, použitý např. ČSN EN 12464-1, kdy pro konkrétní zrakové činnosti nebo využití prostoru jsou přímo definovány parametry osvětlení. Tento systém byl také využíván ve starších národních normách pro veřejné osvětlení. Nově navrhovaná metodika používá, z důvodu jednoznačného přiřazení tříd osvětlení, taxativní systém. Jejím základem je členění pozemních komunikací v České republice, uvedené v právních předpisech [4,5]. Tím je určen charakter a účel pozemní komunikace a jednoznačná identifikace, která se v praxi běžně používá.

V rámci nové metodiky jsou vedle normálních tříd osvětlení stanoveny také adaptivní třídy osvětlení. Nově je zavedena pohotovostní třída osvětlení určená pro případy, kdy se používá systém nepřítomnosti uživatelů na pozemních komunikacích. Dále jsou nově zavedeny spektrální třídy osvětlení T a R (tab. 2, tab. 3), které pro jednotlivé pozemní komunikace specifikují maximální náhradní teplotu chromatičnosti T_{pc} a minimální index podání barev R_a .

Tab. 2 Spektrální třídy barevného tónu

Třídy barevného tónu	Popis	T_{cp} (K)
T1	chladně bílý	$\leq 6\ 000$ K
T2	neutrálně bílý	$\leq 4\ 000$ K
T3	teple bílý	$\leq 3\ 000$ K
T4	velmi teple bílý	$\leq 2\ 200$ K

Tab. 3 Spektrální třídy podání barev

Třídy podání barev	Popis	R_a (-)
R1	uspokojivý	≥ 70
R2	přijatelné	≥ 40

Tato klasifikace reaguje na diskuzi na téma spektrální vlastnosti osvětlení ve vztahu k bezpečnosti dopravy a rušivým vlivům a rozšiřuje tuto diskuzi o další aspekt, kterým je vzhled veřejných prostranství. Principiálně u komunikací plnící funkci dopravní (tj. průjezdní úseky silnic a rychlostní a sběrné místní komunikace) je povolena vyšší teplota chromatičnosti a požadován vyšší index podání barev. U komunikací určených k obsluze území je snížen limit na maximální teplotu chromatičnosti a jsou nižší požadavky na index podání barev, což umožňuje použití světelných zdrojů, které nevyzařují v modré části spektra. U významných veřejných prostranství je omezena horní hranice teploty chromatičnosti, ale požaduje se vyšší index podání barev.

Vzhledem k očekávanému nástupu konceptu „Smart City“, doprovázeného větším rozšířením centrálních systému řízení a monitoringu veřejného osvětlení je metodika třídění komunikací (tab. 4) doplněna o specifikaci parametrů pro centrální řízení veřejného osvětlení (tab. 5).

V rámci klasifikace jsou komunikace rozděleny podle umístění (extravilán, intravilán). Rozsah osvětlovaných komunikací v extravilánu lze očekávat relativně malý, ale je vhodné mít i pro tyto komunikace zatřídění. Další text je zaměřen na pozemní komunikace v intravilánu. Návrh nové metodiky se snaží zohlednit a vyvážit pět následujících hledisek souvisejících s veřejným osvětlením:

- dopravní bezpečnost;
- omezení rušivých vlivů;
- vzhled veřejných prostranství;
- energetická náročnost;
- koncept „Smart city“.

Dopravní bezpečnost

Dopravní bezpečnosti je primárně sledována na dopravních komunikacích a na potenciálně nebezpečných úsecích jako jsou místa s častými dopravními nehodami, křížení dopravních tras s velkou intenzitou dopravy, přechody pro chodce apod. V obcích mezi tyto komunikace patří průjezdní úseky silnic a dálnic, místní rychlostní a sběrné komunikace a obslužné komunikace s vysokou intenzitou dopravy (pouze velká města). Délka těchto komunikací v rámci obcí České republiky činí cca. 11 531 km (tj. 14%). Tyto komunikace jsou zařazeny do tříd osvětlení M (resp. C). Při regulaci osvětlení se uvažuje s maximálním snížením o 1 třídu (adaptivní třída osvětlení). U těchto komunikací se neuvažuje se systémem detekce nepřítomnosti. Z pohledu spektrálních vlastností osvětlení je povolena teplota chromatičnosti do $T_{cp} \leq 4\ 000$ K a předepsán minimální index podání barev $R_a \geq 70$. V rámci koncepce „Smart City“ lze regulovat hladinu osvětlení v závislosti na intenzitě a rychlosti dopravy a v závislosti na noční době. Pokud dojde v rámci technického vývoje k realizaci svítidel s proměnnou křivkou svítivosti, je pro tyto komunikace doporučeno tato svítidla využít. Dále se na těchto komunikacích doporučuje zvýšení hladiny osvětlení o 2 stupně v kritických situacích (dopravní nehoda, omezení při stavebních pracích, údržbě apod.). Při volbě parametrů osvětlení obslužných komunikací a komunikací se smíšeným provozem, jejichž délka činí v rámci ČR cca. 70 934 km (tj. 86%) je bezpečnost dopravy sledována současně s rušivými vlivy osvětlení i se vzhledem osvětlovaných prostorů.

Omezení rušivých vlivů

Omezení rušivých účinků je sledováno jednak zavedením maximálního limitu hladin osvětlení (+30%) u jednotlivých tříd normálního osvětlení a dále zavedením maximálního horního toku svítidel (ULR). U obslužných komunikací (vyjma významných veřejných prostranství) je požadovaná teplota chromatičnosti nižší než 3 000 K a index podání barev vyšší než 40. To umožňuje použití světelných zdrojů bez modré části spektra. Aktuálně stanovený limit teploty chromatičnosti je vyšší, jelikož svítidla s těmito světelnými zdroji ještě nejsou ve standardní nabídce významné části výrobců. Přísnější specifikace by v dnešní době mohla být z pohledu právního vnímána jako diskriminační. U všech pozemních komunikací je uvedena adaptační třída osvětlení, která specifikuje požadavky v době nižšího využití komunikací a veřejných prostranství. Při využití centrálních řídicích systému, je možné nejen snižovat úroveň osvětlení na základě času a detekce rychlosti a intenzity dopravy na komunikacích pro motorovou dopravu, ale také na základě detekce nepřítomnosti u místních komunikací. Současně je možné u významných veřejných prostranství upravit spektrální vlastnosti osvětlení a podíl horního toku svítidel.

Vzhled veřejných prostranství

Vzhled osvětlovaných veřejných prostranství je zohledněn nastavením parametrů u obslužných komunikací. V současné době se stává, že se k osvětlení místních obslužných komunikací v malých obcích přistupuje stejně jako k osvětlení komunikací ve velkých městech. Takový přístup narušuje přirozený charakter venkovského prostředí, přičemž vliv osvětlení na bezpečnost dopravy v na místních komunikacích v malých obcích je diskutabilní. Město a malá obec jsou přitom charakterově odlišné. Město má svým charakterem blíže k technice a průmyslu. Malé obce jsou více svázány s krajinou, přírodou a jsou v řadě případů součástí krajinného rázu. Veřejné osvětlení je technické zařízení, veřejná infrastruktura, která může krajinný ráz výrazně narušovat. Rozlišení malých obcí napomáhá zavedení třídy P7 pro obslužné komunikace s nesouvislou zástavbou v malých obcích.

Tab. 4 Návrh národní metodiky pro výběr tříd osvětlení pozemních komunikací

Prostor	Kategorie	Délka v ČR ^{e)}		Poznámka	Normální třída	Adaptivní třída		Pohotovostní třída ^{e)}	Spektrální třída		Horní tok ULR (%)
		I (km)	I (%)			zap.-23:00	23:00 - 05:00		Tcp (K)	Ra (-)	
Extravilán	Dálnice ^{a)}	1 037	13,7%	15 000 - 40 000 voz/den	M3	M3	M4	M3	≤ T2	≥ R1	0%
	Silnice I. třídy ^{a)}	4 759	63,1%	5 000 - 10 000 voz/den	M4	M4	M5	M4	≤ T2	≥ R1	0%
	Silnice II. třídy ^{a)}	13 357	177,0%	2 000 - 10 000 voz/den	M5	M5	M6	M5	≤ T2	≥ R1	0%
	Silnice III. třídy ^{a)}	29 020	384,6%	2 000 - 10 000 voz/den	M5	M5	M6	M5	≤ T2	≥ R1	0%
	Průjezdni úsek dálnice ^{a)}	171	0,2%	15 000 - 40 000 voz/den	M3	M3	M4	M3	≤ T2	≥ R1	0%
	Průjezdni úsek silnice I. třídy ^{a)}	1 048	1,4%	10 000 - 20 000 voz/den	M3	M3	M4	M3	≤ T2	≥ R1	0%
	Průjezdni úsek silnice II. třídy ^{a)}	1 205	1,6%	5 000 - 10 000 voz/den	M4	M4	M5	M4	≤ T2	≥ R1	0%
	Průjezdni úsek silnice III. třídy ^{a)}	5 121	6,8%	2 000 - 5 000 voz/den	M5	M5	M6	M5	≤ T2	≥ R1	0%
	MK I. třídy - rychlostní (nad 50 000 obyv.) ^{a)}	628	0,8%		M3	M3	M4	M3	≤ T2	≥ R1	0%
	MK II. třídy - sběrná (nad 5000 obyv.) ^{a)}	3 357	4,5%		C3	C3	C4	C3	≤ T2	≥ R1	0%
Intravilán				vyšší intenzita dopravy obce nad 100 000 obyvatel ^{e)}	C3	C3	C4	C3	≤ T2	≥ R1	0%
			62,4%	hromadné a smíšené bydlení	P4	P4	P5 - P6	P4	≤ T3	≥ R2	0%
		46 745		individuální bydlení	P5	P5	P6	P5	≤ T3	≥ R2	0%
				obce do 5000 obyvatel, nesouvislá zástavba	P7	P7	P7 (red.)	P7	≤ T3	≥ R2	0%
				významná veřejná prostranství (náměstí, pěší a obchodní zóny, historická a společenská centra) ^{d)}	P2 + SC5	P2 + SC5	P3 - P4	P2 + SC5	≤ T3	≥ R1	25%
		24 189	32,3%	samosvatné chodníky	P5	P5	P6	P5	≤ T3	≥ R2	0%
				cyklostezky + chodci	P4	P4	P5-P6	P4	≤ T3	≥ R2	0%
				venkovní schodiště	P4	P4	P5	P4	≤ T3	≥ R2	0%
				lávky pro chodce a cyklisty	P4	P4	P5 - P6	P4	≤ T3	≥ R2	0%
					P4	P4	P5	P4	≤ T3	≥ R2	0%
Účelové komunikace	Malá parkoviště (bytová zástavba)	x	x		P2	P2	P3	P2	≤ T3	≥ R2	0%
	Střední parkoviště (prodejny, kultura, sport)	x	x		C4	C4	C5	C4	≤ T2	≥ R1	0%
	Velká parkoviště (nákupní centra, letiště)	x	x								

Poznámky:

- a) Při nižší intenzitě dopravy než je uvedený interval se normální třída osvětlení sníží o 1 třídu, při vyšší intenzitě dopravy než je uvedený rozsah se normální třída osvětlení zvýší o 1 třídu
- U zvlášť nebezpečných úseků se normální třída osvětlení navyšuje o jeden stupeň (místa s časými dopravními metodami, křížení dopravních tras s velkou intenzitou dopravy apod.).
- b) V případě zvýšeného rizika kriminality se normální třída osvětlení navyšuje o jeden stupeň
- c) Zdroj ŘSD a ČSÚV. V případě silnic III. třídy je k dispozici pouze údaj o celkové délce těchto komunikací. Podíl příjezdních úseků byl odhadnut na 15%.
- d) Významná veřejná prostranství se řeší v souladu s architektonickým návrhem nebo podle požadavků v Konceptu veřejného osvětlení. Některé požadované parametry nemusí být splněny.
- e) Pohotovostní třída je používána u systému detekce nepřítomnosti: pro situace, kdy se na komunikaci nenachází žádný uživatel.

Tab. 5 Doporučené parametry pro centrální řízení osvětlení

Prostor	Kategorie		Poznámka	Doporučené proměnné parametry pro centrální řízení						kritické situace
				intenzita dopravy	rychlost	klimatické podmínky	čas	detekce pohybu	horní tok	
Extravilán	Dálnice a silnice	Dálnice	15 000 - 40 000 voz/den	L	L	I	L	x	x	M1
		Silnice I. třídy	5 000 - 10 000 voz/den	L	L	I	L	x	x	M2
		Silnice II. třídy	2000 - 10 000 voz/den	L	L	I	L	x	x	M3
		Silnice III. třídy	2000 - 10 000 voz/den	L	L	I	L	x	x	M3
	Průjezdni úseky silnic a dálnic	Průjezdni úsek dálnice	15 000 - 40 000 voz/den	L	L	I	L	x	x	M1
		Průjezdni úsek silnice I. třídy	10 000 - 20 000 voz/den	L	L	I	L	x	x	M1
		Průjezdni úsek silnice II. třídy	5 000 - 10 000 voz/den	L	L	I	L	x	x	M1
		Průjezdni úsek silnice III. třídy	2 000 - 5000 voz/den	L	L	I	L	x	x	M2
		MK I. třídy - rychlostní (nad 50 000 obyv.)		L	L	I	L	x	x	M1
		MK II. třídy - sběrná (nad 5000 obyv.)		E	E	I	E	x	x	C2
			vyšoká intenzita dopravy obce nad 100 000 obyvatel	L	E	I	E	x	x	C1
			hromadné a smíšené bydlení individuální bydlení	x	x	x	E	E	x	x
Intravilán	Místní komunikace (MK)		obce do 5000 obyvatel, nesouvislá zástavba	x	x	x	E	E	x	x
			významná veřejná prostranství	x	x	x	I, E, T, R	E	φ	x
			samosvatné chodníky	x	x	x	E	E	x	x
			cyklostezky + chodci	x	x	x	E	E	x	x
			venkovní schodiště	x	x	x	E	E	x	x
			lávky pro chodce a cyklisty	x	x	x	E	E	x	x
	Účelové komunikace		Malá parkoviště (bytová zástavba)		x	x	E	E	x	x
			Střední parkoviště (prodejny, kultura, sport)		x	x	E	E	x	x
			Velká parkoviště (nákupní centra, letiště)		x	x	E	E	x	x

Dále je vzhled osvětlovaných prostorů zohledněn u významných veřejných prostranství. Důvodem je skutečnost, že zatímco osvětlení většiny pozemních komunikací se řeší pouze z pohledu technického bez spolupráce s architektem u významných veřejných prostranství, je možné spolupráci architekta očekávat a je vhodné nechat více prostoru pro individuální vyjádření a ztvárnění nočního vzhledu. Z tohoto důvodu jsou povoleny větší úrovně osvětlení, větší rozsahy spektrálních parametrů i vyšší podíl horního toku svítidel. Z celkového počtu osvětlovaných venkovních prostorů jde o zanedbatelné množství.

Energetická náročnost

Hlediska energetické náročnosti je zohledněno zejména vlastním systémem klasifikace, který jednoznačně určuje požadavky na úroveň osvětlení při respektování ostatních hledisek a také předepsáním maximálních úrovní hladin osvětlení. Dalším důležitým aspektem je definování adaptivních tříd. Při použití řídicích systémů je to další snížení hladiny osvětlení s ohledem na čas, intenzitu dopravy, rychlost nebo detekci nepřítomnosti. Klasifikace komunikací a informace o délkách jednotlivých komunikací umožňují určit potřebný světelný tok a konkrétní světelný zdroj i příkon osvětlovací soustavy. Na základě definovaných provozních režimů podle adaptivních tříd osvětlení lze pak určit energetickou náročnost veřejného osvětlení.

Koncept „Smart City“

Koncept „Smart City“ je do systému třídění komunikací integrován definováním parametrů osvětlení a osvětlovací soustavy, které lze centrálními řídicími systémy regulovat (tab. 5). Vedle běžné regulace úrovně osvětlení změnou výstupního světelného toku na základě různých vstupních informací, by v budoucnu bylo možné měnit tvar křivky svítivosti u svítidel se dvěma optickými systémy. Toho lze využít při změně klimatických podmínek u dopravních komunikací, kdy pro suché povrchy jsou vhodné jiné tvary křivek svítivosti než pro mokré povrchy. Dalším příkladem jsou významná veřejná prostranství, kdy změnou křivky svítivosti lze měnit charakter osvětlení prostoru od prosvětlení celého prostoru po pouhé osvětlení povrchu komunikace. Další parametrem jsou barevné vlastnosti osvětlení, kdy pro významná veřejná prostranství lze pro dobu s větším využitím použít světelné zdroje s vysokým indexem podání barev a době s nízkým využitím (po době nočního klidu) zdroje s nižším indexem podání barev bez modré části spektra (v rámci jednoho svítidla).

ZÁVĚR

Je třeba uvést, že uvedený návrh nové metodiky má zatím charakter pracovní verze. Hlavním cílem této pracovní verze je vytvoření komplexního návrhu metodiky třídění komunikací, zachycující stávající stav diskuze v této oblasti a zohledňující všechny aspekty, které s touto problematikou souvisí. Pro přijetí navrhované metodiky do praxe je třeba,

aby prošla kritickou odbornou diskuzí, v rámci které se vyjádří všechny relevantní subjekty, kterých se problematika dotýká.

Návrh národní metodiky pro výběr tříd osvětlení pozemních komunikací má dva cíle související s praxí a udržitelným vývojem. Z hlediska praktického má nová metoda zjednodušit a zpřehlednit výběr tříd osvětlení pro běžné projektanty. Z hlediska udržitelného vývoje nabízí snadné vyhodnocení energetické náročnosti, rušivých vlivů a optimalizaci osvětlovací soustavy. Většina dnešních přístupů při hledání energetických opatření se zabývá detaily, jako jsou měrné výkony svítidel, účinnosti svítidel apod. a ztrácí se přehled o celku, který jediný umožňuje určit to, zda mají určitá opatření v konečném důsledku význam či nikoliv. Na základě znalosti struktury pozemních komunikací v obci, kraji nebo celé České republice lze touto metodou stanovit požadavky na jejich osvětlení. Znalost požadavků na osvětlení umožňuje velmi rychle stanovit energetickou náročnost různých variant osvětlení a jejich porovnání z hlediska spotřeby elektrické energie, rušivých účinků, investičních nákladů i návratnosti. Při použití řídicích systémů lze, na základě proměnlivosti vstupních parametrů u jednotlivých kategorií pozemních komunikací, modelovat měnící se parametry rozhodné pro zařazení pozemních komunikací, a tím vyhodnotit požadavky a energetickou náročnost v průběhu provozu, investiční náklady i návratnost různých typů řídicích systémů.

V rámci další práce na národní metodice třídění pozemních komunikací bude provedena analýza starších národních technických norem a stávajících zahraničních norem. Na základě analýzy bude provedeno porovnání rozsahu úrovní osvětlení a hodnocených parametrů a dále bude provedeno porovnání parametrů pro srovnatelné typy komunikací.

Zdroje

- [1] CIE 115:2010, Lighting of roads for motor and pedestrian traffic.
- [2] ČSN CEN/TR 13201-1 Osvětlení pozemních komunikací – Část 1: Návod pro výběr tříd osvětlení 9/2016
- [3] ČSN EN 13201-2 Osvětlení pozemních komunikací – Část 2: Požadavky, 6/2016
- [4] Zákon č. 13/1997 Sb., Zákon o pozemních komunikacích
- [5] Vyhláška č. 104/1997 Sb., Vyhláška Ministerstva dopravy a spojů, kterou se provádí zákon o pozemních komunikacích

Autoři: Ing. Petr Žák, Ph.D., e-mail: zakpetr@fel.cvut.cz, Ing. Teodor Terrich, e-mail: territhe@fel.cvut.cz; České vysoké učení technické v Praze, Fakulta elektrotechnická, Technická 2, Praha 6, ČR

Modelování různých světelných zdrojů vyzařujících do horního poloprostoru - rušivé světlo

Abstrakt. Článek popisuje metodu, pomocí které je možno vyhodnocovat množství světelného toku vyzářeného do horního poloprostoru z osvětlovacích soustav venkovního osvětlení. K výpočtům je použit tzv. softwarový goniofotometr. Zaměřuje se na modelování, vyhodnocení a omezení rušivého světla na praktických (každodenních) příkladech a aplikacích. V současné době různé diskuze a dezinformace vytváří tlak, aby se vynalezl „jednoduchý“ model vyzařování světelného toku do horního poloprostoru, který vychází z reálně instalovaných osvětlovacích soustav. To znamená takový model, který vyhodnotí celkový světelný tok, tedy jeho přímou i odraženou složku. Cílem modelování je kvantifikování hned několika typů zdrojů rušivého světla, se kterými se v běžném životě setkáváme. V příspěvku je posuzován příklad soustavy veřejného osvětlení s vysokotlakými sodíkovými výbojkami a její náhrada za LED variantu. Dále je zde uveden příklad vyzařování světelného toku generován z billboardů, oken na budovách a potkávacích světlometů automobilů.

Klíčová slova: rušivé světlo, softwarový goniofotometr, modelování, veřejné osvětlení, billboardy

Úvod

V národních i mezinárodních médiích se v poslední době často objevují reportáže o rušivém světle z pohledu nejen kvantitativních, ale i kvalitativních parametrů. Zmíněné informace, ale většinou vycházejí pouze z doporučení astronomů, respektive lékařů a biologů, kteří nemají zpětnou vazbu na kvantifikaci světelného toku ve venkovním prostředí. Takto podané informace pak inklinují k představení venkovního osvětlení (zejména silničního osvětlení) jako naprosto nechtěného fenoménu, který zapříčiňuje spoustu civilizačních chorob. De-facto se zásadně vystupuje proti venkovnímu světle v noci, aniž by se přihlíželo k jeho základnímu poslání. Tzn. zajištění přenosu informace do mozku v co nejlepší kvalitě a s co nejvyšší rychlostí tak, aby prostřednictvím vizuálního vjemu byla zajištěna bezpečnost osob v daném osvětlovaném prostoru.

V souvislosti s rušivým světlem se hovoří pouze o silničním osvětlení a ostatní zdroje rušivého světla jsou v tomto kontextu zcela opomíjeny. Tyto studie naprosto ignorují normalizaci, a také to, že i v těch nejhorších akceptovatelných případech v centrech měst je maximální hodnota vertikální osvětlenosti limitována na hodnotu 5 lx na venkovní straně okna. Při započtení propustnosti okna, záclony a vzdálenosti oka od okna, se tak lze dostat maximálně na polovinu této hodnoty uvnitř obytných místností. Z toho vyplývá, že se preferuje viditelnost hvězd před bezpečností lidí. Pohled biologů je spojen s vyšší citlivostí některých organismů, jako je například hmyz, na krátkovlnné záření. Biologové tedy jistě nejsou nadšeni, že veřejné osvětlení se studenějšími zdroji, kromě zvýšené bezpečnosti lidí, přitahují i hmyz. Lékaři zase varují před nebezpečím modré složky v osvětlovacích soustavách, i když existují výzkumy, které uvádějí, že ovlivnění tvorby, resp. potlačení tvorby spánkového hormonu melatoninu lze docílit až při vysokých hodnotách osvětlenosti i při relativně krátkých hodinových expozicích, tak jak bylo zjištěno již v minulosti [1]. Ale hladiny osvětlenosti do 30 lx (oblast působnosti veřejného osvětlení) při jakékoliv barvě standardně používaného světla nemají i při expozicích okolo hodiny téměř žádný vliv na vyplavování spánkového hormonu.

Modelování rušivého světla pomocí softwarového goniofotometru

Tato část článku je zaměřena na modelování v softwarovém prostředí goniofotometru pro výpočet světelného toku do horního poloprostoru. [2, 3] Model byl vytvořen z důvodu nutnosti predikovat chování osvětlovacích soustav z pohledu rušivého světla. Do této doby bylo možné provádět pouze některá krátkodobá nebo dlouhodobá měření [4], která nebyla schopna kvantifikovat celkový světelný tok vyzařovaný do horního poloprostoru.

Veškeré výpočty v rámci testování programu a výpočetních procedur byly prováděny s udržovacím činitelem 1 tak, aby bylo možné porovnávat vstupní a výstupní data a neprojevovalo se stárnutí svítidel a světelných zdrojů. Udržovací činitel 1 tedy představuje „nejhorší stav“ pro velikost rušivého světla. [5]

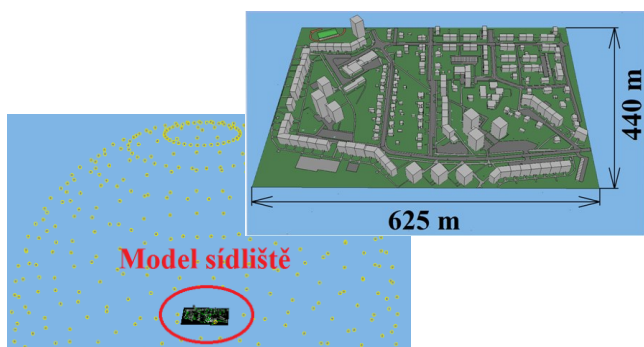
Pro modelování bylo záměrně vybráno sídliště Kolaříkovo nacházející se ve Frýdku-Místku z toho důvodu, jelikož je zde velké množství osvětlovacích soustav tvořené svítidly s vysokotlakými sodíkovými výbojkami ve tvaru koule, jež vyzařují velkým podílem svého světelného toku (až 50 %) do horního poloprostoru. Proto můžeme prohlásit, že toto sídliště má významný potenciál na omezení světelného toku, protože obsahuje velké množství nevhodných svítidel podílející se na množství rušivého světla, a tím i spojeném zvýšeném závojevém jasu oblohy. Rušivému světle nejde úplně zabránit, ale účelným osvětlováním lze jeho důsledky značně redukovat tam, kde je to možné by se měla instalovat výhradně svítidla a osvětlovací soustavy, které přímo nevyzařují do horního poloprostoru. Také je nutné zaměřit pozornost i na ostatní osvětlovací soustavy, které vyzařují světelný tok do venkovního prostředí. Rušivé světlo generuje nejen veřejné osvětlení, ale rovněž architektonické osvětlení budov, světelné reklamy (billboardy), osvětlení sportovních areálů a parkovišť. Je to ale také světelný tok, který je vyzařován z interiéru výškových a průmyslových budov a obytných domů. Nelze opomenout ani světlomety automobilů. Obecně lze prohlásit, že rušivé světlo může generovat jakákoliv osvětlovací soustava a k vyzařování světelného toku do horního poloprostoru přispívají všechny, které mají kontakt s venkovním prostředím. Proto je nutné verifikovat všechny zdroje rušivého světla a poukázat na fakt, že se na jeho velikosti nepodílí pouze veřejné osvětlení.

Cílem modelování je v rámci řešené oblasti (ulice, čtvrt, město) kvantifikovat hned několik zdrojů rušivého světla. Nejprve původní vysokotlakou sodíkovou osvětlovací

soustavu, posléze náhradu této soustavy za LED osvětlovací soustavu. Dále je potřeba vyčíslit podíl rušivého světla z oken, billboardů a potkávacích světlometů automobilů.

Funkce softwarového goniofotometru

Výpočetní modul, na jehož vývoji spolupracovala VŠB-TUO, v programu Wils umožňuje do světelně-technického výpočtu vložit síť výpočetních bodů ve tvaru koule s výpočetními body zobrazujícími normálové osvětlenosti ve směru do středu koule. Takto navržený systém duplikuje funkci reálného goniofotometru, což je fotometrický laboratorní přístroj, jímž se měří rozložení svítivosti neboli křivek svítivosti světelných zdrojů a svítidel. Princip goniofotometru spočívá v tom, že umožňuje měřit svítivosti v různých rovinách a pod různými úhly, což lze namodelovat koulí se sítí výpočetních bodů. Softwarový goniofotometr tedy duplikuje tuto funkci včetně respektování výpočtu dle čtvercového zákona, s tím rozdílem, že do něj můžeme virtuálně vložit nejen svítidlo pomocí LDT formátu, ale také rovnou model města neomezených rozměrů a zvolit si hustotu výpočetních bodů v úhlovém kroku podle standardně používaných rovin pro měření svítidel C, γ. Pro korektnost výpočtu je nutno uvažovat vložený objekt jako bodový zdroj. To znamená, že objekt musí mít zanedbatelné rozměry vzhledem ke vzdálenosti bodů, ke kterým se provádí výpočty. V praxi je tento poměr požadován větší než 5 tak, aby byl světelný zdroj chápán jako bodový. Na obrázku 1 je znázorněna situace "bodového zdroje" (model sídliště) vzhledem k výpočetním bodům softwarového goniofotometru. Jestliže je nejdelší rozměr modelu 625 metrů, zvolili jsme vzdálenost výpočetní sítě na hodnotu 5 000 metrů, což je 8-násobek modelu sídliště. Výpočet je tedy z pohledu bodového zdroje splněn.



Obr.1. Model sídliště umístěný v síti výpočetních bodů softwarového goniofotometru

Popis sídliště Kolaříkovo

Podkladem pro model byla část města Frýdek-Místek s komunikacemi a zástavbou. Sídliště se nachází na souřadnicích 49°40'30.4"N 18°20'03.6"E. Zástavba je tvořena rodinnými a výškovými domy. Samotná zástavba a komunikace s chodníky tvoří pro osvětlovací soustavu a šíření jejího světelného toku překážky se specifickými odraznostmi. Jak bylo zmíněno v úvodu, sídliště vykazuje enormní množství svítidel vyzařujících přímo do horního poloprostoru, a proto bylo potřebné tuto skutečnost ověřit a verifikovat výpočtem, jaký podíl světelného toku se vlastně do horního poloprostoru vyzařuje. Po vyčíslení tohoto podílu můžeme dále určit, kolik světelného toku se dostává do horního poloprostoru přímo a kolik odrazem o modelované objekty s respektováním difúzního odrazu. V tabulce 1 je uveden soupis všech modelovaných objektů, včetně jejich difúzní odrazností a rovněž také počet svítidel a světelných zdrojů vyzařujících do venkovního prostoru.






Tabulka 1. Modelované/vložené objekty v modelu sídliště

Modelovaný/vložený objekt	Počet [ks]	Plocha [m ²]	Odrážnost [%]
Budovy	170	-	30
Komunikace a parkoviště	-	50 000	10
Chodníky	-	11 000	20
Travnatá plocha	-	137 000	10
Svítidla HPS	192	-	-
Svítidla LED	141	-	-
Potkávací světlometry	20	-	-
Billboardy	20	-	-
Okna	217	-	-

Do modelu bylo nejprve vloženo původní veřejné osvětlení osazené vysokotlakými sodíkovými výbojkami pomocí jednotlivých LDT dat. Svítidla byla umístěna přesně na dané pozice na základě dwg podkladů. Pomocí podkladů bylo rovněž možné namodelovat budovy, silnice, zatravněnou plochu atd. Model obsahuje 192 kusů svítidel, z čehož 94 kusů jsou sadová svítidla tvaru koule, které vyzařují 50 % světelného toku přímo do horního poloprostoru. Dalším krokem byla náhrada této fyzicky i morálně zastaralé soustavy veřejného osvětlení za moderní LED svítidla. Náhrada proběhla na základě stejného světelného toku generovaného do dolního poloprostoru z původní osvětlovací soustavy. V této nově vzniklé soustavě se nachází 141 svítidel, které nevyzařují přímo do horního poloprostoru žádný světelný tok. Dalšími zdroji rušivého světla, která vstupují do výpočtu jsou okna [6] a billboardy [7]. Tyto modely byly vytvořeny na základě jasových analýz měřených vzorků a pomocí metody pásmových činitelů s respektováním kosinovy vyzařovací charakteristiky byly vytvořeny LDT data. Do modelu bylo umístěno náhodně 217 oken na fasády budov. Stejně bylo postupováno i u billboardů. Jelikož se na sídlišti nenachází žádný osvětlený billboard, bylo vloženo 10 billboardů respektující jas 20 cd·m⁻² a 10 billboardů s jasnem 50 cd·m⁻². Jako poslední zdroj rušivého světla byly vloženy automobily, respektující vyzařovací charakteristiky potkávacích světlometů. Vyzařovací charakteristiky obou světlometů byly změřeny na fotometrické lavici a následně přepočítány dohromady, aby umožnily vložit jeden LDT soubor definující 1 automobil. I tento přepočet, respektive sloučení více LDT souborů umožňuje softwarový goniofotometr. Do modelu bylo vloženo těchto 20 sloučených světlometů opět náhodně, na silnici po celém modelu sídliště.


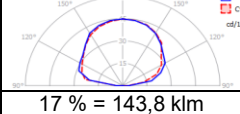
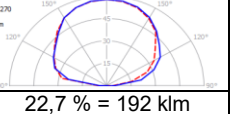

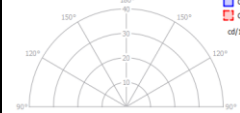
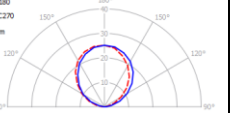

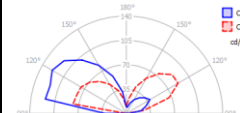
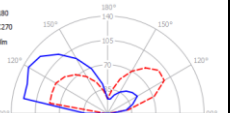

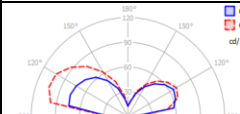
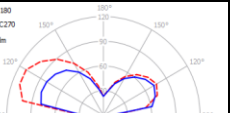

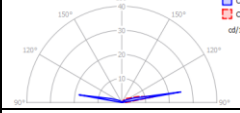
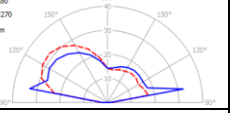
Rušivé světlo představuje celkový světelný tok, který se šíří do horního poloprostoru a zvyšuje tak závojevý jas oblohy. Je tvořeno přímou složkou (ULOR) a složkou odraženou (DLOR) od terénu a objektů v okolí. Součet těchto hodnot představuje celkový světelný tok šířící se do horního poloprostoru. V tabulce 2 je přehledně uvedeno srovnání parametrů jednotlivých zdrojů rušivého světla, se kterými se v modelu sídliště počítalo.

Tabulka 2. Parametry zdrojů rušivého světla v modelu

Zdroj rušivého světla	Příkon soustavy [kW]	Světelný tok soustavy [klm]	ULOR [klm]	DLOR [klm]	ULOR+DLOR [klm]	ULOR+DLOR [%]
	16,8	846	143,8	48,2	192	22,7
	5,5	575	0	36,2	36,2	6,3
	-	102,4	39	5,4	44,4	43,4
	-	5,86	2	0,3	2,3	38,6
	-	29,4	1,3	3	4,3	14,6
Celkově	-	1558,7	186,1	93,1	279,2	17,9

Z tabulky 2 je patrné, že pomocí LED osvětlovací soustavy lze omezit elektrický příkon na 1/3 původní soustavy veřejného osvětlení s vysokotlakými sodíkovými výbojkami. To má za následek i snížení celkového světelného toku osvětlovací soustavy z 846 klm na 575 klm. Pokud se podíváme na množství světelného toku do horního poloprostoru, máme zde více než pětinasobný pokles ze 192 klm na 36,2 klm. Co je důležité, u LED osvětlovací soustavy se světelný tok do horního poloprostoru dostává pouze odrazem od silnic, zatravněných ploch a fasád budov, jak je patrné z tabulky 3, kde vidíme vyzařovací charakteristiky všech zdrojů rušivého světla v modelu sídliště. Pokud si porovnáme LED soustavu se soustavou billboardů je zřejmé, že 20 billboardů vyzařuje více světelného toku do horního poloprostoru, než 141 svítidel veřejného osvětlení. Konkrétně billboardy vyzařují 44,4 klm. Nelze zapomenout ani na vyzařování z oken a automobilů. 217 oken vyzařuje 2,3 klm a 20 automobilů 4,3 klm. Veškeré vyzařovací charakteristiky výše zmíněných zdrojů rušivého světla jsou názorně ukázány v následující tabulce. Je zde rovněž vyčíslen jak přímý, tak celkový světelný tok osvětlovacích soustav jak v procentech, tak v jednotkách světelného toku (klm).

Tabulka 3. Vyzařovací charakteristiky zdrojů rušivého světla ho horního poloprostoru

Zdroj rušivého světla	Křivka vyzařování modelu sídliště s respektováním pouze přímé složky světelného toku do horního poloprostoru	Křivka vyzařování modelu sídliště s respektováním přímé i odražené složky světelného toku do horního poloprostoru
	 17 % = 143,8 klm	 22,7 % = 192 klm
	 0 % = 0 klm	 6,3 % = 36,2 klm
	 38,1 % = 39 klm	 43,4 % = 44,4 klm
	 34 % = 2 klm	 38,6 % = 2,3 klm
	 4,5 % = 1,3 klm	 14,6 % = 4,3 klm

Závěr

Z výše uvedeného vyplývá potvrzení, že se světelný tok do horního poloprostoru nešíří pouze ze svítidel veřejného osvětlení, ale i z dalších více či méně významných světelných zdrojů.

Článek představuje relativně dostupný nástroj, pomocí kterého by bylo možné provádět kvantifikaci rušivého světla na základě světelně-technických výpočtů. Jedná se nejen o výpočet celkového světelného toku, ale i směrové charakteristiky celých měst (respektive osvětlovacích soustav), které mohou být prezentovány např. ve formátu LDT a dále pak využívány, kromě již zmíněné kvantifikaci, k výpočtům šíření světelného toku v atmosféře.

Poděkování

Práce je částečně podporována granty SGS SP2019/143 - Broadband LIGHT - Veřejné osvětlení v chytřém městě

REFERENCE

[1] Nagare, R., Rea, M. S.: Effect of White Light Devoid of “Cyan” Spectrum Radiation on Nighttime Melatonin Suppression Over a 1-h Exposure Duration. Journal of Biological Rhythms, 2019, 34 (2), 195-204.

[2] Becak, P., Novak, T., Baleja, R., Sokansky, K.: Testing of the software goniophotometer in Wils - Building design computational programme. 19th International Scientific Conference on Electric Power Engineering, EPE 2018, DOI: 10.1109/EPE.2018.8395994

[3] Kocifaj, M., Kundracik, F.: Modeling the night sky brightness distribution via new SkyGlow Simulator, Proceedings of 2016 IEEE Lighting Conference of the Visegrad Countries, Lumen 2016 Karpacz, Poland, DOI: 10.1109/LUMENV.2016.7745553

- [4] Novak, T., Zavada, P., Sokansky, K.: Classification of environmental zones in the Czech Republic, Lighting Research and Technology, Volume 46, Issue 2, April 2014, Pages 93-100, DOI: 10.1177/1477153513512500
- [5] Becak, P., Novak, T., Baleja, R., Sokansky, K.: Radiation of the Luminous Flux into the Upper Half-Space in Wils - Building Design. Proceedings of 7th Lighting Conference of the Visegrad Countries, LUMEN V4 2018, Grand HotelTrebic Czech Republic, ISBN: 978-153867923-4
- [6] Darula, S., Oberman, P.: Jas okna v noci, Kurz osvětlovací techniky XXVII, Kouty nad Desnou, ISBN 978-80-248-2087-3
- [7] Zielinska-Dabkowska, K., M., Xavia, K.: Global Approaches to Reduce Light Pollution from Media Architecture and Non-Static, Self-Luminous LED Displays for Mixed-Use Urban Developments, Sustainability 2019, 11, 3446; DOI:10.3390/su11123446

Autor: Ing. Petr Běčák, Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava, Fakulta elektrotechniky a informatiky, 17. Listopadu 15/2172, Czech Republic, e-mail: petr.becak@vsb.cz

Srovnání režimů čelních světlometů vozidla při průjezdu v intravilánu bez veřejného osvětlení

Abstrakt. V příspěvku bude zhodnocen význam využití dálkového režimu čelních světlometů vozidla při průjezdu intravilánu bez veřejného osvětlení. V příspěvku budou využity naměřené hodnoty na vzorovém úseku komunikace, která byla vytvořena na polygonu bezpečné jízdy LIBROS v Ostravě v rámci Srovnávacího měření nočního dopravního prostoru, které bylo organizováno v rámci řešení výzkumného úkolu VI2VS/571 programu BV III/1-VS s názvem Analýza viditelnosti účastníků silničního provozu za účelem zvýšení jejich bezpečnosti za soumraku a v noci.

Klíčová slova: potkávací světlometry, dálkové světlometry, jasová analýza, kontrast, vertikální osvětlenost

Úvod

Dle zákona 361/200 Sb. (Zákon o provozu na pozemních komunikacích) „Řidič nesmí užít dálková světla, je-li vozovka dostatečně a souvisle osvětlena nebo mohl-li by být oslněn řidič protijedoucího vozidla, řidič vozidla jedoucího před ním nebo jiný účastník provozu na pozemních komunikacích, strojvedoucí vlaku, řidič jiného drážního vozidla nebo řidič plavidla. Při zastavení vozidla před železničním přejezdem nesmí řidič užít ani potkávací světla, pokud by jimi mohl oslnit řidiče vozidla v protisměru.“ **Chyba! Nenalezen zdroj odkazů.** Ze silničního zákona tedy plyne, že pokud neoslníme ostatní účastníky silničního provozu, můžeme dálkový režim světlometů použít nejen v extravilánu, ale i v intravilánu bez veřejného osvětlení. Během cestování automobilem v nočních hodinách stále můžeme narazit na situaci, kdy obce v rámci úspory elektrické energie vypínají v pozdních nočních hodinách veřejné osvětlení včetně hlavního průtahu obcí. Pokud taková situace nastane a nebudeme oslnovat ostatní účastníky silničního provozu, pak smíme použít dálkový režim čelních světlometů. Dle předpokladu bychom jejich použitím měli být schopni vidět na větší vzdálenost než při použití tlumeného režimu.

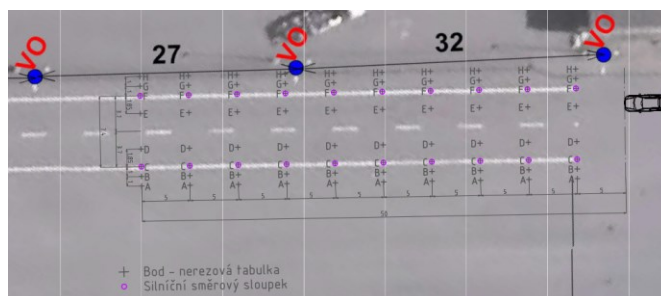
Cílem tohoto příspěvku je posoudit, zda je v intravilánu bez veřejného osvětlení při maximální dovolené rychlosti 50 km/h vhodnější použít dálkový či potkávací režim čelních světlometů z hlediska viditelnosti překážky v podobě chodce.

Metody měření

V rámci Srovnávacího měření na polygonu bezpečné jízdy LIBROS v Ostravě byly vytvořeny modelové situace vyskytující se v nočním dopravním prostoru. V této práci bude sledovaný prostor osvětlen pouze čelními světlometry s halogenovými, xenonovými a LED zdroji osobních vozidel stejného typu v potkávacím či dálkovém režimu. Sledované veličiny budou vertikální osvětlenost E_v modelové vozovky a jas figurantů umístěných na obou krajích pozemní komunikace. V níže uvedených kapitolách budou blíže popsány obě modelové situace.

Model rovné komunikace – měření E_v

Vertikální osvětlenost E_v byla měřena na rovné pozemní komunikaci se dvěma jízdními pruhy. Délka modelové vozovky byla 50 m a šířka 7,2 m. Na vozovce bylo zvoleno deset řad měřených bodů. V každé řadě bylo 8 měřených bodů, které byly značeny písmeny A až H. Rozvržení bodů na modelovém úseku vozovky je znázorněno viz obrázek 1. Z obrázku „Obr.1.“ je patrné, že síť měřených bodů nebyla zvolena dle normy ČSN EN 13 201 – 3 **Chyba! Nenalezen zdroj odkazů.**

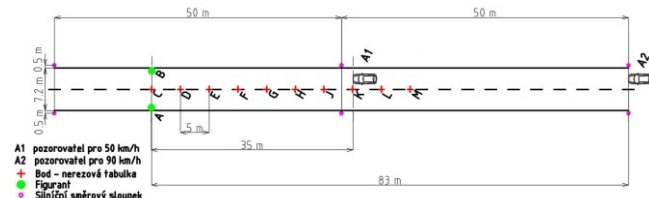


Obr.1. Rastr bodů rovného úseku modelové vozovky pro měření vertikální osvětlenosti

Body na pozemní komunikaci reprezentují pozici pravděpodobného výskytu překážky na vozovce. Měření vertikální osvětlenosti bylo provedeno ve výšce 1 m nad povrchem komunikace. Měření probíhalo pouze do vzdálenosti, ve které byla v bodě F vertikální osvětlenost E_v vyšší než 1 lx.

Model rovné komunikace – jasová analýza

Figuranti představující chodce na kraji vozovky byly osvětleny světlometry osobních vozidel ze vzdálenosti 35 m a 83 m. Tyto vzdálenosti odpovídají dráze potřebné pro zastavení vozidla na mokré vozovce při návrhových rychlostech 50 km/h a 90 km/h. Pro obě vzdálenosti byla provedena jasová analýza prostoru osvětleného světlometry v dálkovém a potkávacím režimu. Schéma modelových situací je znázorněno viz obrázek 2. V této modelové situaci byly směrové sloupky rozmístěny dle normy ČSN 73 6110 [1].



Obr.2. Situační plán modelové vozovky pro jasovou analýzu chodců

Kontrast jasu bude hodnocen vůči průměrnému jas celého snímku.

Na fotodokumentaci níže jsou zachyceny příklady modelových situací.



Obr.3. Ilustrační foto měřené plochy vozovky, vzdálenost k chodci 83 m s VO



Obr.4. Potkávácí světla - 83 m bez VO



Obr.5. Dálková světla - 83 m bez VO



Obr.6. Potkávácí světla - 35 m bez VO s automobilem v protisměru



Obr.7. Dálková světla - 35 m bez VO s automobilem v protisměru

Z naměřených hodnot jasů byl vypočten kontrast mezi jasem chodce a jasem pozadí dle rovnice:

$$(1) \quad K = \frac{|L_a - L_b|}{L_b}$$

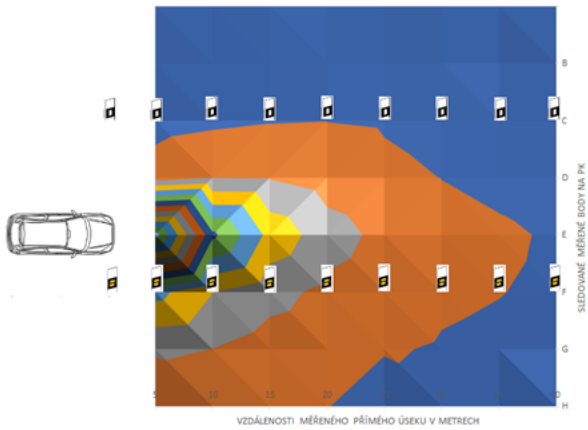
kde: K – kontrast, L_a – průměrný jas chodce, L_b – průměrný jas pozadí.

Měření vertikálních osvětleností modelové komunikace

Celkem bude uvedeno šest situací. Světlomety s halogenovým, xenonovým a LED zdrojem v potkávacím a dálkovém režimu. Pro každou variantu bude níže uveden graf rozložení vertikální osvětlenosti E_v se škálou v luxech měřené ve výšce 1 m nad vozovkou. Pro lepší orientaci jsou v grafech doplněny ilustrace vozidla a směrových sloupků.

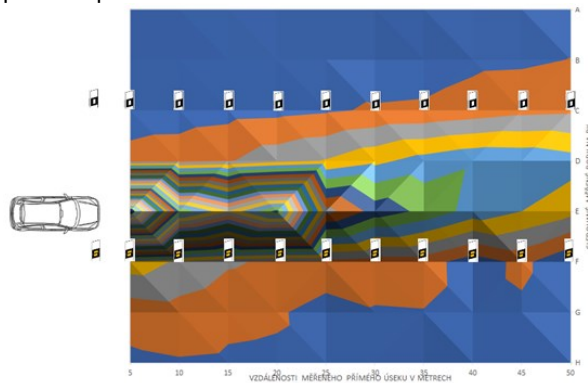
Světlomet s halogenovým zdrojem

Rozložení naměřených hodnot vertikální osvětlenosti E_v pro potkávácí halogenový světlomet je uvedeno v grafu 1. Vertikální osvětlenost E_v měřená v bodě F, tedy na pravém kraji vozovky ve směru jízdy vozidla, byla ve vzdálenosti 40 m od vozidla nižší než 1 lx. Klasická halogenová žárovka je schopná dosvítit do oblasti cca 35 m před řidičem. Nicméně, je důležité si uvědomit, že v pravém i levém nástupním pásmu se pohybujeme pouze v oblasti do 20–25 m [4][5].



Graf 1. Průběh vertikální osvětlenosti vzorové komunikace osvětlené halogenovým světlořetivem v potkávacím režimu [4]

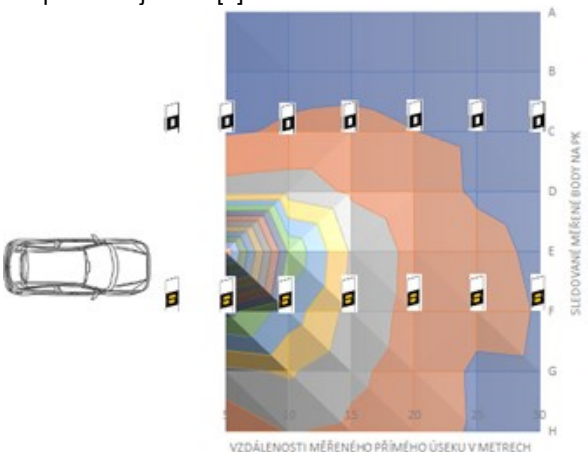
Rozložení naměřených hodnot vertikálních osvětleností E_v pro dálkový halogenový světlořetiv je uvedeno v grafu 2. Ve středu pravého pruhu lze do vzdálenosti 25 m od vozidla pozorovat vysokou hodnotu E_v , která poté výrazně klesá. Maximální naměřená hodnota E_v byla 157 lx ve středu pravého pruhu 5 m od světlořetivů vozidla.



Graf 2. Průběh vertikální osvětlenosti vzorové komunikace osvětlené halogenovým světlořetivem v dálkovém režimu

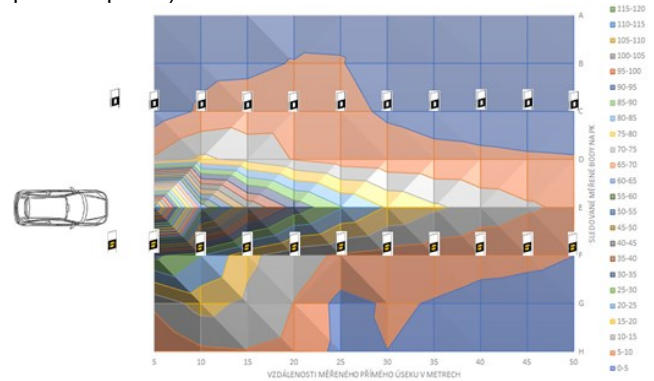
Světlořetiv s xenonovým zdrojem

Rozložení naměřených hodnot vertikálních osvětleností E_v pro potkávací xenonový světlořetiv je uvedeno v grafu 3. V dané modelové situaci byla již ve vzdálenosti 30 m v bodě F hodnota E_v menší než 1 lx. Xenon má výborný ořez světelného paprsku, který omezuje oslnění protijedoucích vozidel. Může ale nastat situace (nastavení světlořetivů), kdy potkávací světlořetivy osvětlují prostor před řidičem pouze do vzdálenosti 30 m. Velmi příznivá je situace v oblasti nástupních zón. Vysoká T_c xenonových světlořetivů je vhodná pro periferní oblasti vidění při nízkých adaptačních jasech [4].



Graf 3. Průběh vertikální osvětlenosti vzorové komunikace osvětlené xenonovým světlořetivem v potkávacím režimu [4]

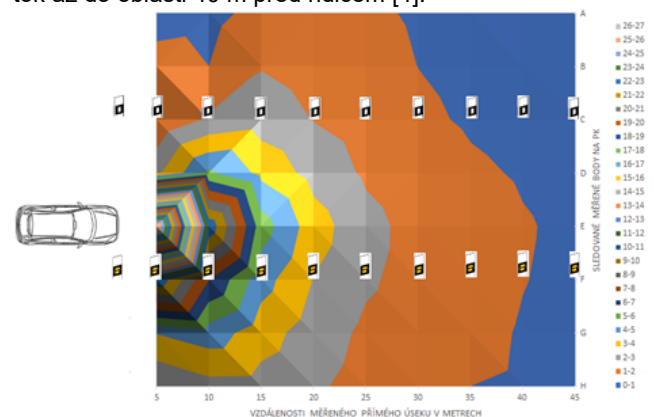
Rozložení naměřených hodnot vertikálních osvětleností E_v pro dálkový xenonový světlořetiv je uvedeno v grafu 4. Hodnota E_v bodu F v celé délce modelovaného úseku nepoklesla pod hodnotu 5 lx. Dokonce na celém úseku nepoklesla E_v pod 2 lx. Z rozložení naměřených E_v lze pozorovat dostatečné nasvětlení celého úseku. Nejvyšší naměřená hodnota E_v byla 118,6 lx v bodě E (ve středu pravého pruhu) ve vzdálenosti 5 m od světlořetivů vozidla.



Graf 4. Průběh vertikální osvětlenosti vzorové komunikace osvětlené xenonovým světlořetivem v dálkovém režimu

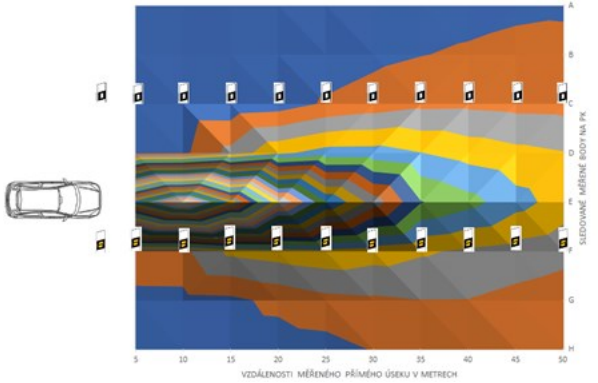
Světlořetiv s LED zdrojem

Rozložení naměřených hodnot vertikálních osvětleností E_v pro potkávací LED světlořetiv je uvedeno v grafu 5. Hodnota E_v byla naměřena ve vzdálenosti 45 m od světlořetivů vozidla. Potkávací osvětlení LED světlořetivů zajišťuje kvalitní osvětlení nástupních zón v periferní oblasti z pohledu osvětlení i barvy světla a zároveň zajišťuje světelný tok až do oblasti 40 m před řidičem [4].



Graf 5. Průběh vertikální osvětlenosti vzorové komunikace osvětlené LED světlořetivem v potkávacím režimu [4]

Rozložení naměřených hodnot E_v pro dálkový LED světlořetiv je znázorněno v grafu 6. LED světlořetivy vozidla v dálkovém režimu více než dostatečně osvětlily nejen oba jízdní pruhy vzorové komunikace, ale i přilehlý prostor do vzdálenosti 2 m od kraje vozovky.



Graf 6. Průběh vertikální osvětlenosti vzorové komunikace osvětlené LED světlotemetem v dálkovém režimu

Jasová analýza prostoru vozovky před vozidlem

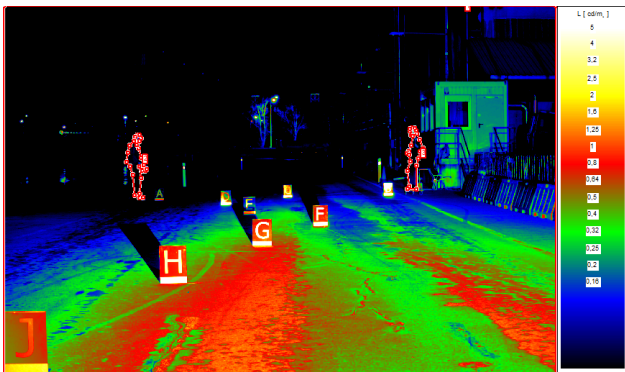
Během srovnávacího měření byly získány hodnoty jasů, které jsou uvedeny v tabulce 1 pro vzdálenosti chodců od vozidla 35 a 83 m. Chodec vlevo byl oblečen do červené bundy, chodec vpravo do bundy modré. Zkratky "PR" a "DR" v tabulce znamenají potkávací a dálkový režim světlotmetů.

Z naměřených hodnot jasů lze pozorovat dle předpokladu jednoznačné navýšení jasů chodce použitím světlotmetů v dálkovém režimu všech technologií proti režimu potkávacímu. U světlotmetu s halogenovým zdrojem a dálkovém režimu lze pozorovat při porovnání jasů chodce na pravém okraji vozovky anomálii proti ostatním technologiím, kdy jas chodce na pravé straně vozovky je ve vzdálenosti 83 m vyšší o 2 setiny cd/m^2 než ve vzdálenosti 35 m. Tento jev pravděpodobně vznikl rozdílným oříznutím vyzářovací charakteristiky proti zbylým technologiím. Jednoznačně nejhůře dopadl světlotmet s xenonovým zdrojem. Porovnání technologií zdrojů při této modelové situaci je blíže popsáno viz. [5].

Tabulka 1. Naměřené hodnoty jasů chodců stojících po obou krajích vozovky

		Průměrný jas chodce [cd/m^2]					
		Halogen		Xenon		LED	
	Pozice chodce	PR	DR	PR	DR	PR	DR
35 m	Vlevo	0,043	0,130	0,037	0,112	0,048	0,412
	Vpravo	0,057	0,226	0,036	0,180	0,096	0,642
83 m	Vlevo	0,029	0,200	0,028	0,055	0,030	0,227
	Vpravo	0,026	0,246	0,024	0,127	0,030	0,384

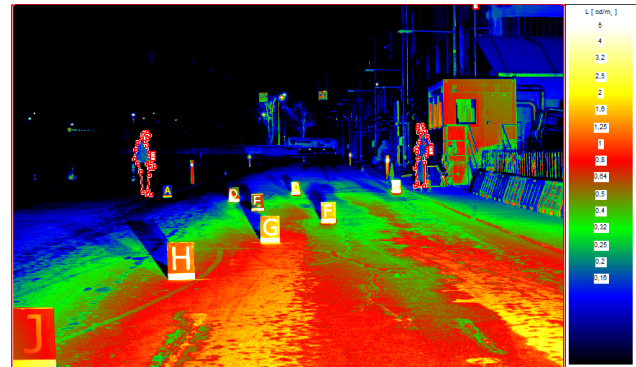
Na následujících obrázcích a tabulkách jsou zachyceny jasové analýzy pro potkávací a dálkový režim ve vzdálenostech 35 a 83 m s halogenovými světlotmety.



Obr.8. Potkávací režim – vzdálenost 35 m [5]

Tabulka 2. Potkávací režim – vzdálenost 35 m

Průměrný jas figuranta vlevo [cd/m^2]	0,043
Průměrný jas figuranta vpravo [cd/m^2]	0,057
Průměrný jas pozadí [cd/m^2]	0,284
Kontrast figuranta vlevo vůči pozadí	0,850
Kontrast figuranta vpravo vůči pozadí	0,801



Obr.9. Dálkový režim – vzdálenost 35 m

Tabulka 3. Dálkový režim – vzdálenost 35 m

Průměrný jas figuranta vlevo [cd/m^2]	0,130
Průměrný jas figuranta vpravo [cd/m^2]	0,226
Průměrný jas pozadí [cd/m^2]	0,443
Kontrast figuranta vlevo vůči pozadí	0,706
Kontrast figuranta vpravo vůči pozadí	0,489



Obr.10. Potkávací režim – vzdálenost 83 m [5]

Tabulka 4. Potkávací režim – vzdálenost 83 m

Průměrný jas figuranta vlevo [cd/m^2]	0,029
Průměrný jas figuranta vpravo [cd/m^2]	0,026
Průměrný jas pozadí [cd/m^2]	0,174
Kontrast figuranta vlevo vůči pozadí	0,832
Kontrast figuranta vpravo vůči pozadí	0,851

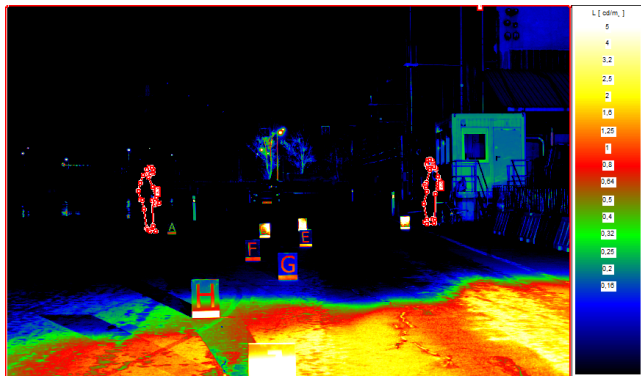


Obr.11. Dálkový režim – vzdálenost 83 m

Tabulka 5. Dálkový režim – vzdálenost 83 m

Průměrný jas figuranta vlevo [cd/m ²]	0,200
Průměrný jas figuranta vpravo [cd/m ²]	0,246
Průměrný jas pozadí [cd/m ²]	0,279
Kontrast figuranta vlevo vůči pozadí	0,286
Kontrast figuranta vpravo vůči pozadí	0,120

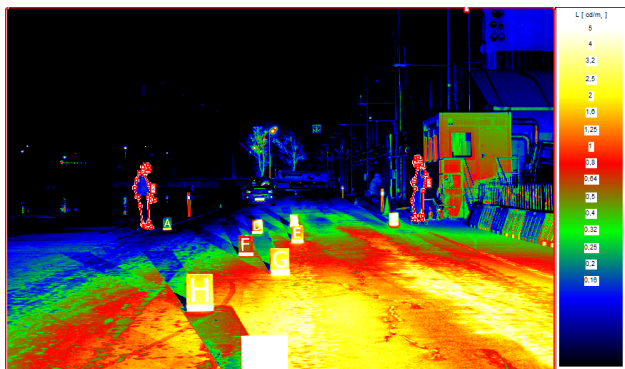
Na následujících obrázcích a tabulkách jsou zachyceny jasové analýzy pro potkávací a dálkový režim ve vzdálenostech 35 a 83 m s xenonovými světly.



Obr.12. Potkávací režim – vzdálenost 35 m [5]

Tabulka 6. Potkávací režim – vzdálenost 35 m

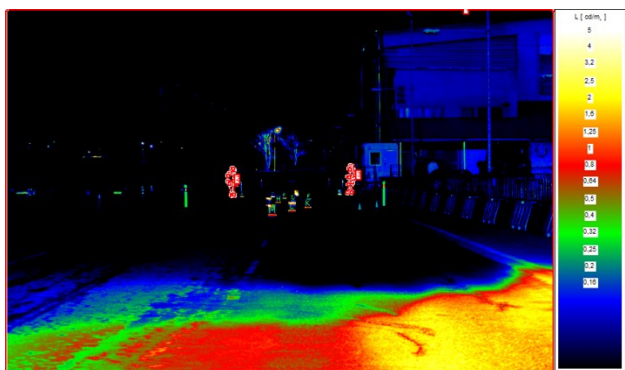
Průměrný jas figuranta vlevo [cd/m ²]	0,037
Průměrný jas figuranta vpravo [cd/m ²]	0,036
Průměrný jas pozadí [cd/m ²]	0,354
Kontrast figuranta vlevo vůči pozadí	0,896
Kontrast figuranta vpravo vůči pozadí	0,898



Obr.13. Dálkový režim – vzdálenost 35 m

Tabulka 7. Dálkový režim – vzdálenost 35 m

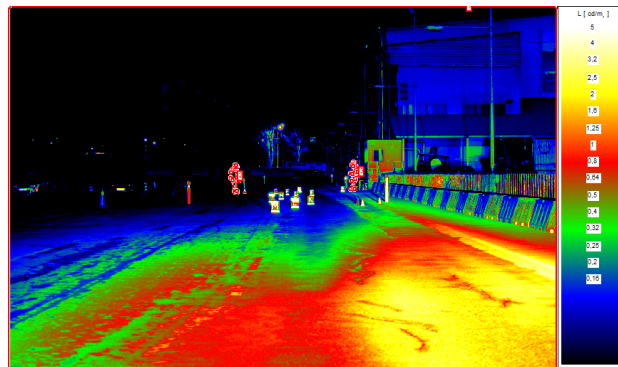
Průměrný jas figuranta vlevo [cd/m ²]	0,112
Průměrný jas figuranta vpravo [cd/m ²]	0,180
Průměrný jas pozadí [cd/m ²]	0,677
Kontrast figuranta vlevo vůči pozadí	0,835
Kontrast figuranta vpravo vůči pozadí	0,734



Obr.14. Potkávací režim – vzdálenost 83 m [5]

Tabulka 8. Potkávací režim – vzdálenost 83 m

Průměrný jas figuranta vlevo [cd/m ²]	0,028
Průměrný jas figuranta vpravo [cd/m ²]	0,024
Průměrný jas pozadí [cd/m ²]	0,240
Kontrast figuranta vlevo vůči pozadí	0,882
Kontrast figuranta vpravo vůči pozadí	0,902

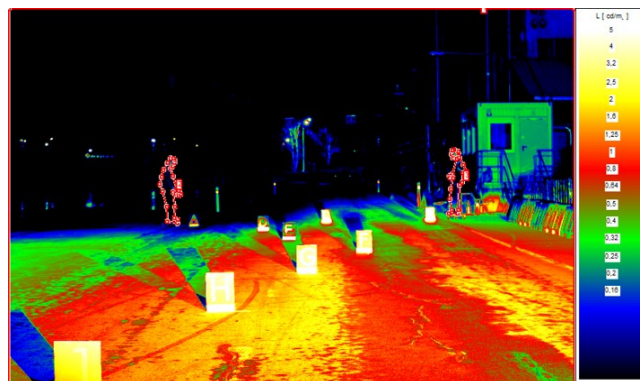


Obr.15. Dálkový režim – vzdálenost 83 m

Tabulka 9. Dálkový režim – vzdálenost 83 m

Průměrný jas figuranta vlevo [cd/m ²]	0,055
Průměrný jas figuranta vpravo [cd/m ²]	0,127
Průměrný jas pozadí [cd/m ²]	0,445
Kontrast figuranta vlevo vůči pozadí	0,877
Kontrast figuranta vpravo vůči pozadí	0,714

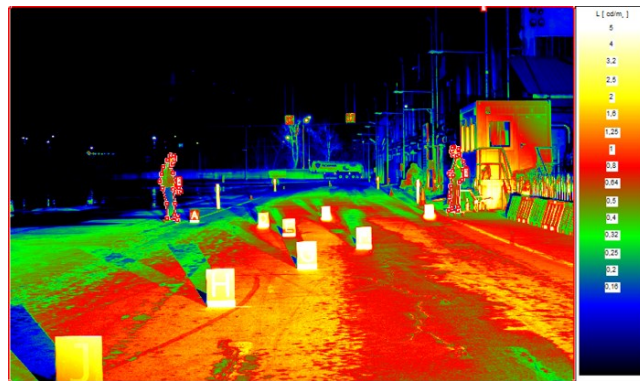
Na následujících obrázcích a tabulkách jsou zachyceny jasové analýzy pro potkávací a dálkový režim ve vzdálenostech 35 a 83 m s LED světly.



Obr.16. Potkávací režim – vzdálenost 35 m [5]

Tabulka 10. Potkávací režim – vzdálenost 35 m

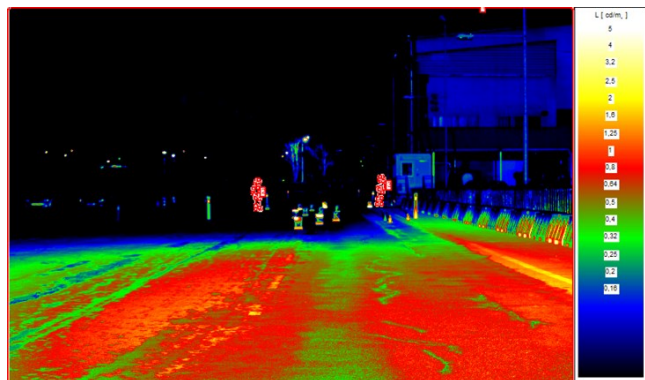
Průměrný jas figuranta vlevo [cd/m ²]	0,048
Průměrný jas figuranta vpravo [cd/m ²]	0,096
Průměrný jas pozadí [cd/m ²]	0,567
Kontrast figuranta vlevo vůči pozadí	0,915
Kontrast figuranta vpravo vůči pozadí	0,830



Obr.17. Dálkový režim – vzdálenost 35 m

Tabulka 11. Dálkový režim – vzdálenost 35 m

Průměrný jas figuranta vlevo [cd/m ²]	0,412
Průměrný jas figuranta vpravo [cd/m ²]	0,642
Průměrný jas pozadí [cd/m ²]	0,603
Kontrast figuranta vlevo vůči pozadí	0,316
Kontrast figuranta vpravo vůči pozadí	0,065



Obr.18. Potkávací režim – vzdálenost 83 m [5]

Tabulka 12. Potkávací režim – vzdálenost 83 m

Průměrný jas figuranta vlevo [cd/m ²]	0,030
Průměrný jas figuranta vpravo [cd/m ²]	0,030
Průměrný jas pozadí [cd/m ²]	0,295
Kontrast figuranta vlevo vůči pozadí	0,899
Kontrast figuranta vpravo vůči pozadí	0,897



Obr.19. Dálkový režim – vzdálenost 83 m

Tabulka 13. Dálkový režim – vzdálenost 83 m

Průměrný jas figuranta vlevo [cd/m ²]	0,227
Průměrný jas figuranta vpravo [cd/m ²]	0,384
Průměrný jas pozadí [cd/m ²]	0,398
Kontrast figuranta vlevo vůči pozadí	0,429
Kontrast figuranta vpravo vůči pozadí	0,035

V rámci vyhodnocení jasů byl vypočten kontrast jasu chodce proti jasu pozadí. Hodnoty kontrastu jasů jsou uvedeny v tabulce 14. Kontrast jasu chodce a jasu pozadí je ve všech případech nižší při použití dálkového režimu než při použití potkávacího režimu. Tento jev je způsoben nízkými jasy chodců při použití potkávacího režimu. V praxi to znamená, že v režimu potkávacích světél budeme chodce registrovat jako tmavé siluety, což není optimální způsob jejich rozpoznání.

V tabulce 14 jsou pro snadnější orientaci značeny maximální kontrasty zelenou barvou, a naopak minimální kontrasty barvou červenou.

Opět platí, že chodec vlevo byl oblečen do červené bundy, chodec vpravo do bundy modré. Zkratky "PR" a "DR" v tabulce znamenají potkávací a dálkový režim světlometů.

Tabulka 14. Vypočtené hodnoty kontrastu jasu chodce proti jasu pozadí

	Pozice chodce	Kontrast jasu chodce vůči průměrnému jasu snímku [-]					
		Halogen		Xenon		LED	
		PR	DR	PR	DR	PR	DR
35 m	Vlevo	0,850	0,706	0,896	0,835	0,915	0,316
	Vpravo	0,801	0,489	0,898	0,734	0,830	0,065
83 m	Vlevo	0,832	0,286	0,882	0,877	0,899	0,429
	Vpravo	0,851	0,120	0,902	0,714	0,897	0,035

Závěr

Měřením vertikálních osvětleností bylo zjištěno, že viditelnost překážek u pravého kraje jízdního pruhu ve směru jízdy při zapnutých světlometech v potkávacím režimu bez veřejného osvětlení je do 40 m od vozidla. Na tuto vzdálenost jsme schopni na mokré vozovce vozidlo zastavit při rychlostech do 55 km/h, což je pro jízdu v intravilánu dostatečné.

Se světlometry v dálkovém režimu jsou hodnoty vertikálních osvětleností E_v pro zpozorování překážky splněny v celé délce 50 m dlouhého úseku pro všechny použité technologie. Použitím dálkového režimu tedy uspokojivě osvětlíme prostor minimálně 50 m před vozidlem. V případě dalších měření bude nutné v tomto režimu E_v měřit alespoň do vzdálenosti 90 m od vozidla.

Z výsledků jasové analýzy bylo zjištěno, že použitím dálkového režimu navýšíme pěti až deseti násobně jas chodců vzdálených 83 m od vozidla. Jasy chodců vzdálených 83 m od vozidla jsou při použití dálkového režimu vyšší v řádech násobků jasů než jasy chodců ve vzdálenosti 35 m od vozidla při použití potkávacího režimu.

Při vyhodnocení kontrastu jasu chodce a průměrného jasu snímku byly vypočteny vyšší hodnoty kontrastu při potkávacím režimu. Tento jev je způsoben o řád nižšími jasy chodců, než jsou průměrné jasy snímku při použití potkávacího režimu světlometů. Nejnižší kontrast byl při potkávacím režimu světlometů (mimo světlometry s xenonovými zdroji) pro chodce vpravo ve vzdálenosti 35 m.

Nejnižší hodnoty kontrastů jsou u všech typů zdrojů světlometů v dálkovém režimu v případě chodce vpravo ve vzdálenosti 83 m od vozidla.

V případě použití potkávacího režimu světlometů se chodec jeví jako tmavá silueta. Tento jev pro rozpoznání chodce není zrovna optimální, jelikož chodec lze snadno přehlédnout. V daném případě je paradoxně vhodný nižší kontrast, jelikož v osvětleném prostoru před vozidlem je jednodušší rozpoznat lépe osvětleného chodce než jeho tmavou siluetu.

Na základě výše uvedených informací lze tvrdit, že využití možnosti dálkového režimu čelních světlometů vozidla v neosvětleném intravilánu za předpokladu neoslňení ostatních účastníků provozu, lze zpozorovat chodce lépe na vzdálenost o 48 m vyšší než při použití potkávacího režimu, čímž řidič získá navíc téměř 3,5 s pro vyhodnocení situace a vykonání manévru.

Poděkování

Tento článek vznikl v rámci řešení výzkumného grantu VI2VS/571 „Analýza viditelnosti účastníků silničního provozu za účelem zvýšení jejich bezpečnosti za soumraku a v noci“ poskytnutý Ministerstvem vnitra a za podpory Služby dopravní policie policejního prezidia ČR.

REFERENCE

- [1] Zákon č. 361/2000 Sb. o provozu na pozemních komunikacích a o změnách některých zákonů (Zákon o silničním provozu)
- [2] ČSN EN 13201-3. Osvětlení pozemních komunikací: Část 3: Výpočet. Praha: ČESKÝ NORMALIZAČNÍ INSTITUT, 2016

- [3] ČSN 736110. Projektování místních komunikací. Praha: ČESKÝ NORMALIZAČNÍ INSTITUT, 2006
- [4] Dolejší, O., Baleja, R., Becak, P., Novak, T., Sokansky, K.: A Comparison of light sources technologies of vehicles headlights illuminating a model road. In: Proceedings of the 2019 20th International Scientific Conference on Electric Power Engineering, EPE 2019
- [5] Baleja, R., Dolejší, O., Becak, P., Novak, T., Sokansky, K.: The visibility of pedestrians in the traffic are using different light source technologies of car headlights. In: Proceedings of the 10th International Scientific Symposium on Electrical Power Engineering, ELEKTROENERGETIKA 2019

17. listopadu 15/2172,
ondrej.dolejsi.st@vsb.cz

Česká Republika,

e-mail:

Autor: Ing. Ondřej Dolejší, Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava, Fakulta elektrotechniky a informatiky,

Výhody řízení nejen osvětlení jediným celosvětově normalizovaným systémem KNX

The benefits of controlling not only lighting with the world's only standardized KNX system

Abstract. Po dobu více než 30 let je systém KNX nepřetržitě rozvíjen a zdokonalován. Proto v každé době dokáže plnit aktuální požadavky uživatelů na nejvyšší technické i bezpečnostní úrovni. Tím, že systém byl normalizován nejdříve v rámci Evropy a následně i v celém světě, byly úspěšně vytvořeny předpoklady pro skutečně celosvětové rozšíření KNX systémových elektrických instalací pro řízení všech funkcí jak v oblasti objektů pro bydlení, tak i v komerčních, školských, zdravotnických, správních a dalších budovách vždy s možností jejich začlenění do „Smart Cities“ a se spoluprací se „Smart Grids“.

Abstract. For more than 30 years the KNX system has been continuously developed and improved. Therefore, it is able to meet the current requirements of users at the highest technical and safety level. By standardizing the system first in Europe and then worldwide, the prerequisites for a truly global expansion of KNX system electrical installations to manage all functions in residential buildings as well as in commercial, school, health, administrative and other buildings, always with the possibility to integrate them into "Smart Cities" and in cooperation with "Smart Grids".

Keywords: KNX Secure, IoT, Smart City.

Úvod

Základním požadavkem při zahájení vývoje systému KNX byla bezpodmínečná možnost bezproblémové spolupráce programovatelných přístrojů různých výrobců ve společných elektrických instalacích. Proto také jediným správným řešením bylo vytvoření decentralizované soustavy, tedy systému bez centrálních řídicích jednotek. Každý z použitých prvků musí proto ve své paměti mít uloženy veškeré informace potřebné pro jeho požadovanou činnost.

Dalším kritériem, beroucím do úvahy neustále probíhající technický rozvoj, byla nezbytnost zajištění spolehlivé vzájemné komunikace prvků i v těch nejstarších KNX instalacích s prvky aktuálními, zhotovenými podle nejnovějšího stavu techniky. To znamená, že při rozšiřování instalace z roku 1993 o přístroje vyrobené v roce 2033, budou všechny funkce vzájemně kooperovat, všechny přístroje budou schopny vzájemně plně komunikovat. Anebo, starší přístroje lze jednoduše nahrazovat přístroji novějšími (i od jiných výrobců), navíc s vyspělejšími aplikačními programy dovolujícími rozšíření funkcionalit oproti předchozímu stavu.

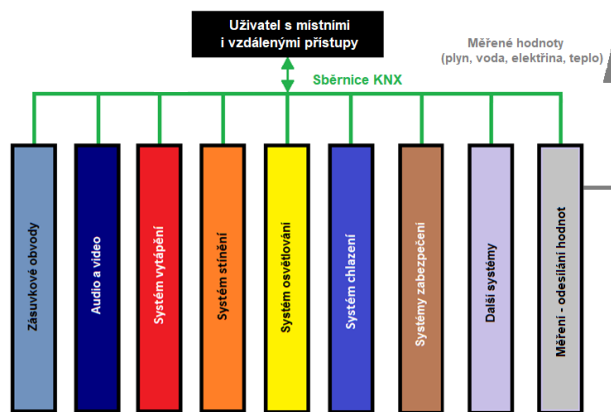
Proto také bylo nezbytné vytvořit, následně projednat a v normalizačních komisích schválit nejdříve evropské a později mezinárodní normy, jimž musí všechny KNX výrobky plně vyhovovat. Podle těchto norem jsou také povinně zkoušeny všechny nově na trh uváděné produkty.

V KNX systémových instalacích probíhá komunikace mezi jednotlivými prvky po vlastní metalické sběrnici, po silovém vedení, bezdrátově anebo po IP síti, přičemž v jedné instalaci lze použít i více než jedno z těchto přenosových médií.

Řízení nejen osvětlení

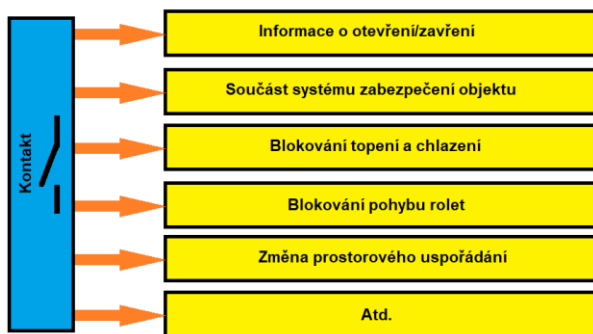
Více než 490 výrobců a softwarových společností je sdruženo v mezinárodní asociaci KNX s cílem zajišťování nepřetržitého rozvoje systému a rozšiřování jeho možností. Proto každý projektant elektrických instalací má možnost výběru ze široké škály přístrojů určených jednak pro řízení prakticky libovolných funkcí a na druhé straně koncový zákazník si může vybírat ovládací prvky z nepřeberného počtu jejich designových řešení.

Ve společné KNX instalaci je proto nejen možné, ale také výhodné všechny funkce, jimiž jsou budovy vybavovány, řídit rovněž společně, prostřednictvím jednoho komunikačního protokolu. To ovšem nevylučuje možnost integrace do KNX instalace různých specializovaných řídicích systémů, avšak s plnou komunikační návazností na řízení jiných funkcí. Uživatel má tak k dispozici jednoduchou možnost společně ovládat úplně všechny funkce ve svém objektu (obr. 1).



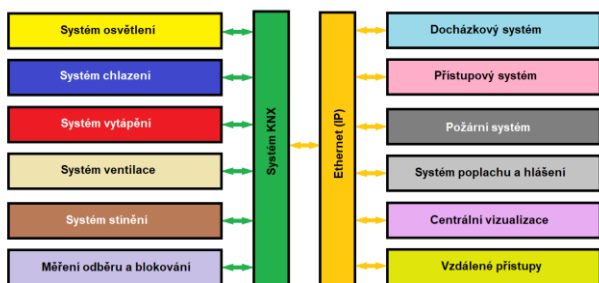
Obr. 1: V systému KNX je výhodné řídit všechny funkce společně

Obrovskou výhodou systému KNX je možnost využití jednoho prvku tak, aby se podílel na řízení i celé řady funkcí. Typickým příkladem vícenásobného využití je okenní kontakt (obr. 2). Ať již je anebo není součástí systému elektronického zabezpečení budovy, podává do systému KNX informace o svém provozním stavu. Tento údaj lze potom zpracovat mnoha způsoby. V centrální vizualizaci, např. v hotelu, je na první pohled zřejmé, zda v již opuštěném pokoji jsou okna zavřena. Tatáž informace ale může zajistit zablokování pohybu vnitřní žaluzie při otevřeném okně a současně zablokovat spotřebu tepla v téže místnosti. Protože nemá smysl mít v plném provozu topení či chlazení, když dodávaná tepelná energie je vypouštěna do venkovního prostoru otevřenými okny.



Obr. 2: Úkoly okenních kontaktů v KNX systémové instalaci

Ne všechny funkční oblasti musí být řízeny systémem KNX (obr. 3), ale je důležité, aby data, která jsou důležitá pro optimální provoz, byla vzájemně předávána mezi KNX a dalšími dílčími systémy. Například při příchodu do budovy předá docházkový systém informaci na pracoviště příchozího, což může znamenat uvedení topení nebo klimatizace do komfortního režimu činnosti. Při odchodu bude dodávka tepla uvedena do úsporného provozu.



Obr. 3: Všechny systémy v budově se vzájemně podporují

KNX – celosvětově nejrozšířenější systém



Obr. 4: KNX ve vztahu k normám

Systém KNX určený pro řízení funkcí v budovách všech velikostí byl postupně vyvíjen od roku 1987 nejdříve v malé asociaci Instabus, od roku 1990 byl vývoj převeden do nové vzniklé asociace EIBA (Asociace pro evropskou instalační

sběrnici), která byla v roce 1999 sloučena s dalšími dvěma evropskými asociacemi (BCI a EHSA) a přejmenována na KNX. Od roku 1993 byly zahájeny dodávky KNX/EIB přístrojů – do této doby se tedy datují nejstarší a také stále spolehlivě fungující KNX/EIB instalace.

Schválením KNX jako celosvětové normy ISO/IEC 15443-3-1 až 7 v roce 2006 byla otevřena cesta k jeho masivnímu rozšíření i mimo Evropu – mohl být zaveden do národních norem v Číně, v USA a v řadě dalších zemí (obr. 4).

V současnosti se systém KNX stal nejčastěji využívanou systémovou instalací – v mnoha zemích má nejvyšší podíl při řízení funkcí v budovách vybavených některým z mnoha systémů, většinou proprietárních. V některých zemích (např. Německo, Čína) tento podíl značně přesahuje 50 % ročně realizovaných systémových instalací.

Dopady výměny světelných zdrojů ve stávajících KNX instalacích

Uživatelé v průběhu využívání elektrické instalace zvyšují svoje nároky na způsoby provozu. Namísto stmívaných svítidel se žárovkami 230 V nebo s halogenovými žárovkami chtějí využívat energeticky úspornější LED světelné zdroje. Jedná-li se o náhradu svítidel pouze spínaných, zpravidla to neznámá žádný problém, neboť byly použity spínací akční členy s kontaktními výstupy. Avšak starší univerzální stmívací akční členy s polovodičovými výstupy již nejsou schopny LED zdroje ovládat. Svodový proud výkonových polovodičů postačí k tomu, aby svítidlo nebylo možné vypínat, ve většině případů je ani nelze stmívat. Potom již je nutná výměna akčních členů.

Pokud však v instalaci byla v systému osvětlení využita výhodná spolupráce sběrnic KNX a DALI, výměna starého světelného zdroje za energeticky úsporný LED zdroj je doprovázena pouze výměnou příslušného DALI předřadníku ve svítidle s následným novým naprogramováním, a to bez nutnosti výměny akčního členu – tedy rozhraní KNX/DALI. A přitom se může jednat i o RGB nebo RGBW předřadník vyžadující namísto jedné tři, resp. čtyři DALI adresy. Samozřejmě za předpokladu, že ve stávající instalaci nebyla využita celá kapacita možných DALI adres.

Optimalizace spotřeby energie

Optimálně, tedy co nejúsporněji využívat energii znamená, že bude spotřebována vždy jen tehdy, tam a v takovém množství, kdy, kde a kolik je právě zapotřebí.

K tomuto účelu je nezbytné instalaci mít vybavenou všemi potřebnými komponenty, které dovolují vytvářet vzájemné vazby mezi řízením jednotlivých funkcí. V komerčních a podobných objektech to znamená vzájemně provázet řízení žaluzií, vytápění a klimatizace, kromě toho zde musí být také vazba na přítomnost osob i na časové programy, ev. na docházkový systém. Protože jiná teplota v místnosti bude v pracovní době, v noci, o víkendy či o dovolených nebo během pracovních cest. Lamely žaluzií budou nastaveny jinak při přítomnosti a jinak v průběhu nepřítomnosti osob. A to ještě ve vazbě na venkovní teplotu, tedy v závislosti na aktuální spolupráci řízení žaluzií s topením či klimatizací. Proto při nepřítomnosti osob mohou být žaluzie plně svinuty (při spolupráci s vytápěním, aby do vnitřního prostoru vnikalo sluneční tepelné záření bez jakýchkoli omezení) nebo naopak spuštěny, s plně uzavřenými lamelami (při spolupráci s klimatizací, kdy je prakticky zcela zabráněno vnikání slunečního tepla – následně výrazně poklesne nárok na potřebu energie na chlazení). Řízení osvětlení je potřebné vždy propojit s indikací přítomnosti osob.

V bytech a rodinných domech bude spotřeba tepla v jednotlivých místnostech regulována např. podle časových programů stanovených pro využívání jednotlivých místností a také ve vazbě na stav zabezpečení objektu, ať již na relativně pravidelnou několikahodinovou či dlouhodobou nepřítomnost. Činnost žaluzií i zde je možné provázat s požadavky na vytápění nebo chlazení.

Ve všech typech objektů je důležitá i vazba na povětrnostní podmínky. Venkovní snímače podávají informace o rychlosti, případně i směru větru, o venkovní teplotě, o slunečním svitu, resp. o intenzitě přirozeného osvětlení, o dešti. Tyto informace jsou v instalaci využívány k řízení správné činnosti venkovních žaluzií, markýz či elektricky ovládaných oken, pro spínání vyhřívání okapových žlabů a chodníků při namrzajícím dešti, pro řízení zalévání zahrady atd.

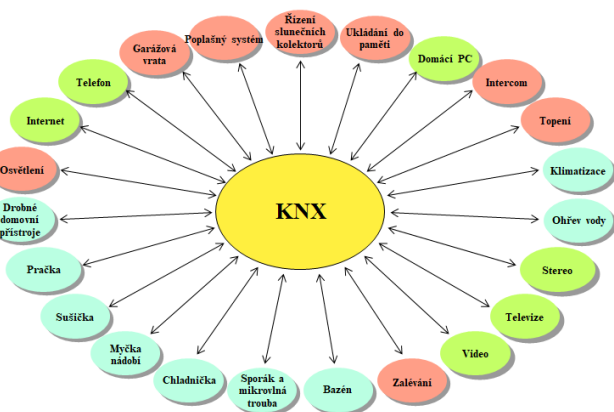
Smart City s budovami vybavenými KNX instalacemi

Chytré město neznamená pouze optimální zajištění dopravních systémů, ale také bezproblémové řešení energetické situace. Např. v době dopravní špičky, kdy městská doprava má maximální odběr elektrické energie, tedy v době kryjící se s návraty ze zaměstnání, s důsledkem zvýšení odběrů i v domácnostech, je potřebné zajistit zvýšené nároky na dodávanou energii. A co teprve po nyní předpokládaném značném rozšíření elektromobility, kdy v téměř čase bude zapotřebí dobít baterie.

Je tedy důležité, aby domy se systémovou instalací a stále častěji vybavené také vlastními obnovitelnými zdroji energie, se staly součástí chytrých sítí, které jsou schopny spolehlivě zajišťovat ukládání energie v době jejího přebytku, a naopak využívat ve špičkách všechny zdroje, případně i s využíváním energie uložené v bateriích elektromobilů. V domech se systémovou instalací to může znamenat i centrálně řízené blokování vysokých odběrů.

IoT a KNX

Systém KNX je decentralizovaným systémem (obr. 5), takže s určitým zjednodušením bychom jej mohli považovat za model internetu věcí. Prostřednictvím systému KNX mohou vzájemně kooperovat všechny funkce, byť např. po sběrnici TP.



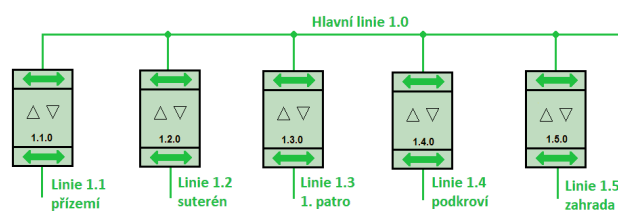
Obr. 5: KNX jako model IoT

KNX instalace se běžně připojuje k internetu přes vhodné rozhraní KNX/IP, nejlépe prostřednictvím KNX/IP routeru se zabezpečenou komunikací. Potom tato instalace bude jedním z mnoha účastníků internetové sítě – internetu věcí.

KNX Secure

Umožňuje-li KNX instalace vzdálené přístupy prostřednictvím internetového připojení, může se stát objektem vhodným pro nežádoucí přístupy nepovolanými osobami (hackery). Proto je důležité již při vytváření KNX sítě pamatovat na její zajištění před tímto potenciálně nebezpečným.

Pokud KNX instalace není připojena k síti internetu, lze ji ve většině případů považovat za dostatečně zajištěnou před hackery – ovšem za předpokladu, že byla dodržena všechna pravidla pro správnou montáž. Sběrnice nesmí být zvenčí přístupná. Vhodnými způsoby zabezpečení KNX instalací se zabývají i mnohá doporučení, předávaná školenými osobám především v certifikačních školicích centrech v průběhu základních kursů KNX. Jelikož KNX instalace můžeme topologicky rozdělit do různých, vzájemně komunikujících linií, přístroje, k nimž je možný neoprávněný přístup (v místnostech s nekontrolovatelným přístupem osob anebo ve venkovních prostorech – na zahradách apod.), by měly být na samostatné linii (obr. 6).



Obr. 6: Topologické oddělení různých částí KNX instalace

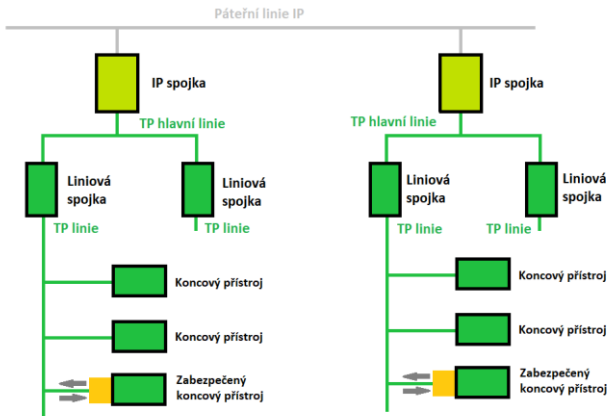
Použité liniové spojky musí mít nastaveny aktivní filtrační tabulky, takže na sběrnici linie 1.5 nemohou být přenášeny telegramy z ostatních linií. Nejnovější liniové spojky mohou mít navíc (až po definitivním nahrání aplikačních programů přístrojů) zablokování možnosti přenosu programovacích telegramů. Takže k tomu, aby nepovolaná osoba, byť vybavená PC s ETS, má prakticky znemožněný přístup k přístrojům na dalších liniích. Jiným možným zabezpečovacím krokem v instalacích s novějšími přístroji je zadání hesel sběrnice spojкам, není tedy možné jejich nežádoucí přeprogramování.

Dalším opatřením je informace o odpojení důležitého přístroje od sběrnice (např. snímače pohybu na zahradě). Tomuto přístroji může instalatér nastavit periodické odesílání telegramů, jejichž významem je informace o přítomnosti sběrnice napájení. Přerušení odesílání této informace lze následně vyhodnotit jako sabotáž (podobně, jako je tomu se sabotážními kontakty v zabezpečovacích systémech).

Jinou možností, jak úplně zabránit přístupu ke sběrnici v prostorách s pohybem a přítomností nepovolaných osob je, vůbec zde nemít sběrnici. Ovšem pro zajištění správné činnosti funkcí v těchto prostorách je potřebné, aby v nich byly umístěny potřebné snímače a ovládací prvky. Avšak namísto sběrnice snímačů je možné využít klasických přístrojů (tlačítkových ovladačů, snímačů teploty apod.) připojených ke vstupům binárních a analogových vstupů v rozvaděčích instalovaných v již běžně nepřístupných (uzamčených) místnostech.

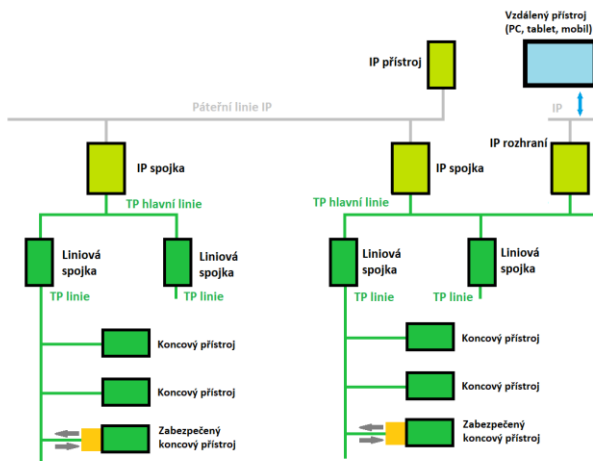
Současným trendem je využívání nových KNX přístrojů umožňujících kódování a následné dekódování přenášených telegramů. Jedná se o jednu ze dvou bezpečnostních koncepcí vytvořených v mezinárodní asociaci KNX. Pro přenos zpráv mezi dvěma částmi KNX instalace jsou určeny nové koncipované sběrnice přístroje (pro různá přenosová média – TP, PL, IP, RF), které šifrují a dešifrují (ověřují věrohodnost) vybraných KNX telegramů. Potřebné klíče lze stanovit jak pro celé přístroje,

tak např. jen pro vybrané komunikační objekty. Každý telegram je opatřen ověřovacím kódem, který je automaticky přidělován z různých číselných řad nebo identifikačních posloupností. To znamená, že každý následující telegram má jiný kód. Budou-li přenášeny kódované telegramy nahrány a následně na sběrnici znovu odeslány, přijemce je nepřijme, protože jsou vybaveny již neplatnými kódy. Takovéto šifrování datového provozu učiní KNX instalaci prakticky nezranitelnou. Zmíněný postup vychází z celosvětově existujících bezpečnostních protokolů.



Obr. 7: KNX Data Secure – zabezpečený přenos v budově

Neznamená to, že pro zvýšení zabezpečení komunikace ve stávajících KNX instalacích by bylo potřebné vyměňovat všechny přístroje za nové, s možností kódovaných přenosů. V zásadě postačí doplnit jen např. dva zabezpečené přístroje, které budou úspěšně komunikovat se všemi ostatními – staršími přístroji běžným způsobem. Ke zvýšení zabezpečení komunikace tedy nejsou nutné zbytečné vysoké náklady.



Obr. 8: KNX IP Secure – zabezpečený vzdálený KNX přenos

Při přenosech dat přes internet, což je v současně vytvářených KNX instalacích běžný požadavek, lze ochranu přenášených dat zajistit využitím virtuálních přenosových

sítí (VPN) nebo vhodných webových serverů. Při vzdáleném přístupu přesto není plně zajištěno oprávnění odesílatele ke konfiguraci sběrnice systému či k výměně dat.

Druhá část nové zabezpečovací koncepce KNX nabízí přenos šifrovaných dat KNX IP Secure. To znamená, že veškerá přenášená data jsou šifrována – jedná se o rozšíření protokolu KNX IP. Takto je zajištěno, aby přes internet měly ke KNX instalaci přístup pouze oprávněné osoby, které mohou sledovat a upravovat provoz různých funkcí i měnit nastavení parametrů a způsobů komunikace.

Je proto potřebné, aby projektanti, systémoví integrátoři i elektromontéři dodávající KNX systémové instalace zabránili možným přístupům nepovolaných osob. Měli by se seznámit s potřebnými ochrannými opatřeními a plně je využívat. Nejen při předávání nových instalací, ale i při pravidelných kontrolách již fungujících instalací KNX, kdy je vhodné prověřovat uvažovanou úroveň zabezpečení. Jako pomůcku k tomu mohou využívat podklady na www.knxcz.cz, které jsou přístupné pod záložkou Studijní materiály. Konkrétně se jedná o příručku „KNX zabezpečená komunikace“ a také o pracovní pomůcku uvedenou pod názvem „KNX zabezpečení – kontrolní seznam“.

Bezpečnostní mechanismy – KNX Data Secure i KNX IP Secure lze snadno doplnit využitím nových rozhraní obsahujících již tyto zabezpečovací funkce. Oba tyto mechanismy podporuje programovací software ETS pro projektování a uvádění instalací do provozu již od verze 5.5.

Mezinárodní normalizační orgány potvrdily, že KNX je první normou pro tzv. chytré byty a budovy, která umožňuje naplnit nejvyšší zabezpečovací požadavky na světě v oblasti kybernetického zabezpečení. V zabezpečovací architektuře KNX Secure, která je nyní normalizována podle EN 50090-4-3, KNX úspěšně blokuje útoky hackerů v digitální infrastruktuře v sítích budov, stejně tak zajišťuje maximální ochranu dat.

Zabezpečovací architektura KNX Secure vychází z mezinárodních zabezpečovacích algoritmů normalizovaných podle ISO 18033-3, jako je šifrování AES 128 CCM. Je tak plněn cíl: účinně zabránit útokům na digitální infrastrukturu budov a dosáhnout také nejvyšší úrovně ochrany dat. Takto jsou vytvořeny dva vzájemně se doplňující ochranné mechanismy. KNX IP Secure rozšiřuje IP protokol tak, aby všechny přenášené telegramy s daty byly kompletně zašifrovány. Vedle toho, KNX Data Secure efektivně ochraňuje uživatelská data, včetně dat vyměňovaných mezi různými účastníky proti neautorizovaným přístupům a před manipulací prostředky jiného šifrování a autentizace.

LITERATURA

- [1] www.knx.org, www.knxcz.cz
- [2] Soubor norem ČSN EN 50090.

Autor: Ing. Josef Kunc, sekretář spolku KNX národní skupina České republiky, z. s., Technická 3058/10, 616 00 Brno, Česká republika, e-mail: sekretar@knxcz.cz

Dynamické veřejné osvětlení

Abstrakt: V poslední době se stále častěji mluví o chytrých osvětlovacích soustavách. Vnitřních i vnějších. Chytré veřejné osvětlení, které zajistí nejrůznější služby. Počínaje dynamickým osvětlením (bio i nebio) a konče chytrou nabíječkou pro neméně chytrý telefon nebo dokonce elektrovůz. Samozřejmě také chytrý. Ne vždy, co je „chytré“ je také prospěšné. Byť se to zprvu jako prospěšné jeví.

Klíčová slova: dynamické osvětlení, veřejné osvětlení, třídy osvětlení, navazující třídy osvětlení.

Dynamické osvětlení – navýšení

Dynamické nemusí znamenat vždy ztlumení osvětlení. Může znamenat i navýšení. Navýšení hladiny osvětlení. V době světelných diod to není nemožné. Dokonce to ani nemusí znamenat nárůst investičních nákladů. Úkol je možné řešit třeba tak, že se použijí svítidla s vyšším světelným výkonem a v obvyklé situaci se provozují s výkonem sníženým. To ostatně diodám prospívá, nižší budící proud znamená obvykle vyšší měrný výkon, lepší tepelné poměry – tedy opět lepší měrný výkon, ale i delší dobu života.

Navýšení hladiny osvětlení řeší dokonce norma. Norma ČSN P 36 0455 [1]. V té se ve článku 4.4.4 praví, že se doporučuje navrhnout osvětlovací soustavu tak, aby bylo možné ji provozovat také na úrovni průměrné udržované osvětlenosti (jasu) o stupeň vyšší, než odpovídá jejímu zatřídění podle ČSN CEN/TR 13201-1 [2]. Důvod je vcelku nasnadě. Jde o to, aby bylo možné zvýšit úroveň osvětlení v případě kritických situací. To mohou být práce na silnici, přeložení dopravního proudu z hlavní na vedlejší komunikaci, překážka na povrchu vozovky – například výkopové práce nebo dopravní nehoda.

Přitom je nezbytné dbát na to, aby navýšením v jedné části komunikace nevznikly nepřiměřené přechody v úrovních osvětlení. Způsob odvisí od konkrétní situace. Bude-li se osvětlovat jedna jáma na kilometrovém úseku, tak postačí, když se přisvětlí relativně krátký úsek. Složitější situace nastává v případě, že se navýšuje hladina osvětlenosti v delším, nebo celém úseku komunikace. Potom je nezbytné zkontrolovat, zda nedochází k vysokým rozdílům úrovně osvětlení také v navazujících souběžných komunikacích. Pochopitelně také v ulicích příčných, do kterých může z přisvětlené vozovky řidič odbočovat. I to řeší zmíněná norma [1].

V článku 4.1.13 se praví, že mezi osvětlením sousedních oblastí (obvykle ulic) nesmí být větší rozdíl, než dvě (porovnatelné) třídy osvětlení (viz Tabulka 1). To znamená, že například na komunikaci třídy osvětlení M4 smí navazovat M6, ale ne M1. V okamžiku, kdy se navýší pro příkladnou komunikaci úroveň osvětlení o jeden stupeň, tedy na třídu osvětlení M3, tak je případně navazující M6 již nedostatečně osvětlena a musí se úroveň zvýšit také o jednu třídu, tedy na M5. V případě dlouhé navazující ulice postačí jen přiměřený úsek. Což je však nezbytné provést velmi uvážlivě.

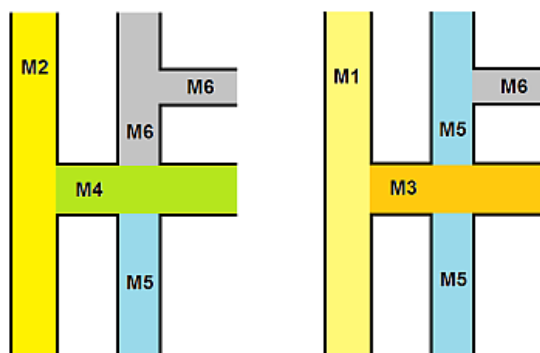
Tabulka 1 – Navazující třídy osvětlení

	M 1	M 2	M 3	M 4	M 5	M 6		
C 0	C 1	C 2	C 3	C 4	C 5			
			P 1	P 2	P 3	P 4	P 5	P 6

Popsané navýšování tříd v sousedních oblastech zdánlivě hrozí dominovým efektem. Pro jeden kritický úsek by se nakonec navýšilo osvětlení v celém městě. Je to

opravdu jen zdánlivé. I v případě velmi krátkých navazujících úseků by se domino zastavilo za druhou křižovatkou (viz obr. 1).

Jen pro úplnost - Navazující neznamená nahrazující. Není přípustné použít tabulku 1 na přetřídění komunikace z jedné skupiny tříd do jiné. Například není dovoleno komunikaci třídy osvětlení M4 přetřídít do třídy osvětlení P4. Avšak na takovou komunikaci může navazovat komunikace s třídou osvětlení C2 až C5 (nikoliv C0 nebo C1) nebo P1 až P4 (nikoliv P5 nebo P6). Je však možné nahradit, přetřídít, komunikace třídy M do „konfliktní“ třídy C podle tabulky 2 normy [2] v závislosti na hodnotě průměrného součinitele jasu Q_o.



Obr. 1 – Třídy osvětlení v „normálním“ stavu – vlevo, po navýšení o jeden stupeň – vpravo. Dominový efekt nenastává. Při delších úsecích není ani nutné v ulicích nepřímo navazujících navýšovat hladinu osvětlení s předstihem

Jen prozradím – navýšit úroveň osvětlení oproti zatřídění podle normy je možné i bez dříve uvedených pohnutek (havárie, díra ve vozovce...). Třeba v místech s vysokým společenským významem – před operou, hudební arénou nebo jinak význačným objektem. Ale také tam, kde je vyšší riziko dopravní nehody nebo kriminality.

Dynamické osvětlení – ponížení

Opak povýšení je ponížení ☹. Běžně se s tím lze setkat v nejedné vesnici i městě. V noci přece skoro nikdo nejedí, tak proč svítit intenzivně? Někdy obecní zastupitelstvo dojde k extrémnímu rozhodnutí nesvítit vůbec.

K úplnému zhasnutí lze jen poznamenat, že to je jeden z nejdražších způsobů šetření (viz [3], [4], [5]). Již „šetření“ způsobem svítit „ob stožár“ má neblahé důsledky. Jsou známé dopady takového počínání. Neuvěřitelný nárůst kriminality a dopravních nehod. Jsou známá čísla z britského Lancashire, kde se celkově zvýšila zločinnost o 55 %; krádeže v obchodech a bytech vzrostly o 65 %; aut bylo vykradeno o 13 % víc, nočních chodců bylo přepaden o 25 % více.

Podle zprávy britského ministerstva životního prostředí z doby energetické krize vzrostla nehodovost s následkem

těžkých a smrtelných úrazů o 12 %. Přitom v denním období naopak o 6 % klesla. Noční nárůst byl způsoben snížením úrovně veřejného osvětlení. Naštěstí byla současně omezena povolená rychlost a také se snížila hustota dopravy vlivem nárůstu cen pohonných hmot – proto onen pokles nehodovosti za dne. Bez těchto vlivů by noční nehodovost stoupla o poznání víc. Pozoruhodné je vyhodnocení „úspor“. Náklady na odstranění škod vzniklých zvýšenou nehodovostí dosáhly hodnoty šest milionů liber. Úspory na energiích byly sto tisíc – šedesátkrát méně! Podobné dopady jsou známé i z nedávné doby.

Jen z uvedených několika příkladů je vidět, že nesvítit, nebo bezdůvodně ztlumit veřejné osvětlení, není nejlepší nápad. Omezení úrovně osvětlení, které by bylo provedeno neuváženě, je značně prodělečný podnik.

Snížit osvětlení je možné jen tehdy, pokud k tomu nastane vážný důvod. Je pár možností. Například pokud po nějaké komunikaci projedou za dne stovky aut za hodinu a v noci jen pár zbloudilých, pak je možné, že bude přípustné a oprávněné snížit třídu osvětlení. Pokud to dovolí i ostatní parametry určující úroveň osvětlení.

Povětšinou je to však možné pouze o jednu třídu osvětlení. Ať už je to skupina M, C nebo P. Žel, řada „expertů“ nabízí obcím snížení příkonu po večerníčku na polovinu a v pozdních hodinách i více. Je to nekorektní, protože změna mezi jednotlivými stupni je menší, odpovídá vnímání zraku. Například pro třídu osvětlení M3 je požadovaný udržovaný jas 1 cd.m^{-2} , pro třídu M4 to je $0,75 \text{ cd.m}^{-2}$, což zcela jistě není polovina. Polovina odpovídá dvěma stupňům (M5). Podobně tomu je také u skupiny C či P.

Argumentace, že v noci skoro nikdo nejede, neobstojí. Proč by měl mít noční poutník horší osvětlení při stejném vlivu okolí na jeho vidění jako v době večerní? Ať už je poutníkem řidič nebo pěší. Pokud na úseku dlouhém 250 m projede brzy po setmění 200 automobilů za hodinu, tak je jejich průměrná vzájemná vzdálenost rovna právě oné délce. To za předpokladu, že pojedou v obci povolenou rychlostí. V průměru se tedy ani nevidí. Stejně tak je na onom úseku opuštěn ojedinelý noční šofér. Večerní i noční naprosto shodné podmínky. Proč by tedy měli mít rozdílnou úroveň osvětlení? Není důvod. Spíše naopak. Noční řidič může být mnohem unavenější a lepší vidění by mu usnadnilo cestu bez nehody.

Snížit hladinu osvětlení není vhodné ani tam, kde je vysoké riziko kriminality, nebo v místech s vyšším podílem nehodovosti v nočních hodinách.

Dynamické osvětlení – ponížení „chytré“

Nemám rád slůvko „smart“ nebo „chytré“ v souvislosti s nějakým předmětem nebo třeba osvětlovací soustavou. Sami o sobě nejsou nikterak bystré. Jsou tak smart, jako je smart jejich konstruktér.

Přesto se takové osvětlovací soustavy vyskytují a stávají se oblíbeným prodejním artiklem. Nebudu to v tomto článku rozebírat, jen zvědavého čtenáře odkážu na článek ve starším čísle časopisu Světlo [6].

Neštěstím je, že takové soustavy navrhuji nepřilíži zdatní „experti“, kteří používají podobně „kvalitní“ prvky. Tak se stane, že se rozsvítí svítidlo až po průjezdu automobilu, nebo se nerozsvítí vůbec. Rozsvěcuje se obvykle jen to nejbližší svítidlo, v lepším případě ještě následující. Nedávno přišel o život chodec na přechodu s „chytrými“ LED knoflíky ve vozovce. Čidlo, které je má rozblikat,

reagovalo zcela náhodně. Dost možná, že se řidič na jejich rozblikání spoléhal. Stav bez blikání vyhodnotil tak, že nikdo nejede. Šel...

Ale budu předpokládat, že čidla ovládající soustavu veřejného osvětlení budou správně umístěna, mít správnou citlivost a budou fungovat naprosto spolehlivě. Aby však bylo osvětlení vyhovující, tak nesmí svítit pouze jedno nebo dvě svítidla. Měla by současně svítit alespoň ta svítidla, která jsou zahrnuta do výpočtu jasů. To je dvanáctinásobek výšky svítidla nad vozovkou za místem směru pohledu řidiče a pětinašobek před místem směřování pohledu. Hrubým odhadem to znamená, že by před vozidlem měl být osvětlen úsek délky přibližně sedmnáctinásobku výšky svítidla. Pro svítidla běžné kvality to znamená, že asi pět by jich mělo svítit současně.

Pro osvětlení skupiny P by stačilo méně, protože se účastníci dopravy pohybují pomaleji. Tam by bylo možné převzít pravidlo pro výpočet osvětlenosti a rozsvěcet tři, čtyři svítidla. Rozhodně by mělo být v provozu svítidlo i ve vzdálenosti jedné rozteče za chodcem. To pro pocit bezpečnosti. Nejen pocit, on to totiž bezpečnostní prvek fakticky je.

Dlužno ještě podotknout, že takto provozovaná osvětlovací soustava se bude při průjezdu každého vozidla rozsvěcet a posléze pohasne. To může v řadě případů působit rušivě na okolí. Dokonce rušivěji, než kdyby svítila s plným světelným tokem po celou noc. Trochu může pomoci pozvolný pokles světelného toku po uklidnění situace, odjezdu auta, odkrácení chodce. Pozvolný náběh však možný není.

I obvyčejné dynamické osvětlení, které bude dobře navržené a správně fungovat, může nepříznivě působit na okolí. A co teprve takzvané „biodynamické“ veřejné osvětlení!

Biodynamické osvětlení

Pominu biodynamické osvětlení v interiérech. Tam má své opodstatnění. Musí se však provádět obezřetně, aby více neuškodila, než prospěla.

Ve veřejném osvětlení nemá biodynamické osvětlení ani ten nejmenší smysl. Změna náhradní teploty chromatičnosti není ničím opodstatněná. Vlastně ano – snahou vydělat na oněch „biodynamických“ svítidlech.

Není třeba více dodat.

REFERENCES

- [1] ČSN P 36 0455, Osvětlení pozemních komunikací – Doplňující informace
- [2] ČSN CEN/TR 13201-1 (36 0455) Osvětlení pozemních komunikací – Část 1: Výběr tříd osvětlení
- [3] zn. JPI: Veřejné osvětlení v Anglii, IZ Světelná technika 1981
- [4] Berounský, B.: Osvětlení a bezpečnost. Bezpečná práca, 3/1986
- [5] Schreuder, D.A.: Osvětlení, nehody a zločinnost, Světelná technika 2/1993
- [6] Maixner, T. O chytrém veřejném osvětlení. Světlo, 1/2017

Author: Ing. Tomáš Maixner, živnostník, Nad Petruskou 2283/10, 120 00 Praha 2 - Vinohrady, Česká republika, e-mail: dql@dql.cz

Vliv provozních parametrů svítidel na energetickou náročnost veřejného osvětlení

Abstrakt. V příspěvku je analyzována energetická náročnost osvětlovacích soustav veřejného osvětlení z hlediska provozních režimů a z hlediska měrných výkonů světelných diod (LED) užívaných v silničních svítidlech v závislosti na náhradní teplotě chromatičnosti, indexu podání barev a budícím proudu. V závěru je provedeno vyhodnocení energetické náročnosti vybraných LED silničních svítidel s různými parametry (T_{cp} , R_a) na modelovém úseku pozemní komunikace.

Keywords: veřejné osvětlení, světelné diody, energetická náročnost.

Úvod

Současný trend vývoje řízení osvětlovacích soustav veřejného osvětlení směřuje ke snížení energetické náročnosti provozu při současném zlepšení kvalitativních parametrů světla. K řízení parametrů soustav VO lze využít 2 základní principy. Dynamické řízení založené na na údajích aktuální situaci na pozemní komunikaci nebo statické řízení vycházející z předem definovaného harmonogramu.

Adaptivní veřejné osvětlení je definováno jako osvětlení s časově řízenou změnou jasu nebo osvětleností ve vztahu k intenzitě dopravy, skladbě dopravního proudu, času nebo k jiným ovlivňujícím parametrům okolního prostředí, např. klimatickým podmínkám. Cílem je snížení rušivého světla, spotřeby energie nebo pozitivního ovlivnění sociálních potřeb uživatelů a estetického vnímání městského prostředí.

Článek se v následujících odstavcích zabývá autonomní statickou regulací světelně technických parametrů. Statické řízení VO nereaguje na aktuální podmínky a proto musí být pečlivě zohledněny všechny faktory vstupující do hodnocení změn prostředí během doby provozu osvětlovacích soustav, na základě kterých jsou voleny adaptivní třídy osvětlení.

První část příspěvku je zaměřena na nastavení časových režimů u svítidel s autonomním řízením úrovně osvětlení v závislosti na intenzitě dopravy na pozemních komunikacích. Jsou porovnávány různé stupně řízení osvětlovací soustavy v závislosti na volbě různých adaptivních tříd osvětlení. Využití adaptivních tříd osvětlení může, ve srovnání s provozem při normální třídě osvětlení po celou dobu nočních hodin, výrazně snížit spotřebu energie, negativní dopady rušivého světla a emise CO_2 při současném zachování bezpečnosti silničního provozu.

Druhá část příspěvku je zaměřena na ověření měrných výkonů současných LED silničních svítidel vybraných výrobců v souvislosti s náhradní teplotou chromatičnosti, indexem podání barev a budícím proudem.

Účel veřejného osvětlení

V ČSN EN 13201-5 jsou popsány metody výpočtu ukazatelů energetické náročnosti, které lze použít pro porovnání energetické náročnosti různých řešení a stupňů řízení pro danou instalaci osvětlovacích soustav VO.

Podle národní technické normy ČSN CEN/TR 13201-1:2017 [1] je normální třída osvětlení definována jako třída s maximální hodnotou průměrného jasu nebo osvětleností v libovolném časovém úseku. V ČSN EN 13201-2:2019 [2] je třída osvětlení pozemních komunikací definována souborem světelně technických požadavků zaměřených na vizuální potřeby určitých účastníků silničního provozu na

určitých typech komunikací v konkrétním prostředí. Aplikace zvolené třídy však nemusí být odůvodněná v průběhu nočních hodin kvůli měnícím se podmínkám. Časové změny parametrů umožňují úpravu úrovně osvětlení danou normální třídou osvětlení.

Pro účely osvětlování pozemních komunikací a jiných veřejných prostranství musí být vyhodnocen jejich dopravní význam, z důvodu rozdílných potřeb motoristů, cyklistů a chodců. Dle dopravně-urbanistického významu a administrativního dělení pozemních komunikací je provedeno zařazení komunikací do tříd osvětlení.

Provozování veřejného osvětlení

Spotřeba elektrické energie na veřejné osvětlení dosahuje téměř 1% [3] veškeré roční spotřebované elektrické energie v České republice a celkové roční náklady na provoz a údržbu veřejného osvětlení v ČR představují téměř 2 mld. Kč. Na území České republiky se nachází bezmála 1,4 milionu světelných míst [4] a průměrná doba provozu veřejného osvětlení v České republice činí kolem 4 100 hodin ročně. Přibližně 850 000 světelných míst se nachází v obcích s osídlením do 20 000 obyvatel [4]. U veřejného osvětlení, jako neplacené službě veřejnosti, je žádoucí vynakládat finanční prostředky na provoz a údržbu co neefektivněji.

Plošné zavádění světelných zdrojů na bázi světelných diod (LED) do veřejného osvětlení v období poslední dekády sebou přineslo nové možnosti provozování venkovních osvětlovacích soustav. Došlo k navýšení regulačního rozsahu v případě adaptivního řízení osvětlení. Oproti vysokotlakým sodíkovým výbojkám, u nichž byla maximální mez snížení jmenovitého světelného toku (kolem 50%) limitována zhasací napětí výboje (180V), jsou LED zdroje schopny stabilně pracovat v celém rozsahu od 0% do 100%. Díky této vlastnosti lze LED světelné zdroje dynamicky regulovat [5].

Řízení soustav veřejného osvětlení

Nové LED světelné zdroje umožňují volbu kvalitativních parametrů, kterými jsou náhradní teplota chromatičnosti (T_{cp}) a všeobecný index podání barev (R_a).

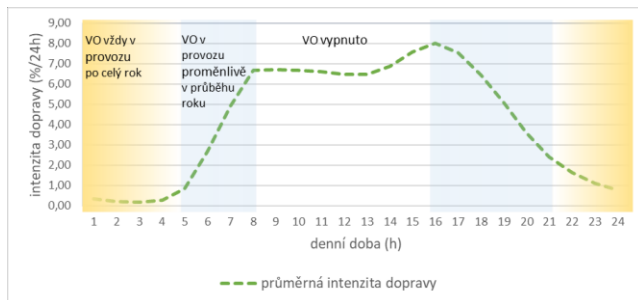
Volba těchto parametrů ovlivňuje měrný výkon LED a a tím i energetickou náročnost provozu osvětlovacích soustav veřejného osvětlení. Dalším stupněm, jak lze snížit energetickou náročnost provozu VO je použití regulace světelného toku osvětlovacích soustav.

Mezi důvody pro použití adaptivního osvětlení na pozemních komunikacích patří změny zrakových požadavků uživatelů v době (určitých časových úsecích v průběhu noci), kdy dochází k poklesu intenzity dopravy. Zatímco kvantitativní parametry, jako je jas nebo

osvětlenost, lze přizpůsobovat nižší intenzitě dopravy, skladbě dopravního proudu nebo klimatickým podmínkám, kvalitativní parametry dané třídy osvětlení uvedené v [2] je třeba dodržet po celou dobu provozu.

Při změnách (přechodu) z normální třídy osvětlení na adaptivní nebo při změnách adaptivních tříd osvětlení dochází pouze ke změnám průměrných hodnot jasu (resp. osvětlenosti). Ostatní parametry normální třídy osvětlení se nemění.

Parametr, kterým lze ovlivnit výběr normální třídy osvětlení je v technické normě [1] intenzita dopravy. Parametr intenzita dopravy klasifikuje intenzitu dopravy na pozemních komunikacích na základě dosažení její maximální kapacity a nabývá váhových hodnot, vstupujících do výběru třídy osvětlení, od -1 do 1. Za střední intenzitu dopravy dle [1, 6] je považována intenzita dosahující 35% až 65% návrhové maximální kapacity dané pozemní komunikace.



Obr. 1: Průběh intenzity dopravy v závislosti na denní době (průměrné roční hodnoty)

Kapacita pozemní komunikace je jedním z hlavních kritérií návrhu na základě intenzity dopravy, která se očekává v budoucnu. Návrhové období je dle [7] 25 let. Intenzita provozu na pozemní komunikaci určená pro např. méně než 60 % projektové hodnoty, lze klasifikovat dle [1] jako „střední“. Pokud hodnota intenzity dopravy poklesne, např. na méně než 25 %, bude klasifikována jako „nízká“. Skutečná intenzita dopravy není měřena nepřetržitě, ale bývá známa nebo předpokládána ze sezónních profilů intenzity dopravy. [8]

Pro nastavení řízení adaptivního osvětlení (změn třídy osvětlení) lze nejlépe použít parametr intenzity dopravy, který (jako jeden z mnoha) vstupuje do taxativního hodnocení výběru vhodné třídy osvětlení [1]. V případě, že přesné hodnoty hodinových intenzit dopravy na pozemní komunikaci nejsou známy, lze vyjít z průměrných intenzit dopravy (obr. 1) pro jednotlivé typy komunikací jak uvádí [8]. Adaptivní třídy osvětlení lze aplikovat v době výrazného poklesu intenzity dopravy, tj. obecně mezi 22. a 5. hodinou.

Na pozemních komunikacích v bytové zástavbě nebo na místních komunikacích pro cyklisty a chodce (zklidněné komunikace s omezeným přístupem) lze uplatnit více časových intervalů s příslušnými adaptivními třídami osvětlení.

Na základě poklesu průměrné intenzity dopravy na místních komunikacích dle [8] lze i na průjezdných úsecích silnic přistoupit k regulaci světelných parametrů ve večerních a ranních hodinách, kdy dochází k poklesu intenzity dopravy na 10% až 20% špičkové hodnoty. V období nárůstu intenzity dopravy, ranní dopravní špičky a odpolední návratové dopravní špičky, musí být nastavena normální třída osvětlení.

V intravilánu na průjezdných úsecích silnic lze mezi 5:00 a 22:00 použít adaptivní třídu osvětlení o jeden stupeň nižší, než je normální třída osvětlení. Na základě vyhodnocení statistik policie ČR o dopravních nehodách v obcích při veřejném osvětlení s následky na životech je

adekvátní snížit normální třídu osvětlení pouze o jeden stupeň [9]. Další snížení hladiny osvětlení dopravního prostoru komunikací by mohlo negativně ovlivnit bezpečnost pohybu účastníků dopravního provozu.

Adaptivní třídy osvětlení

Adaptivní třídy osvětlení se volí podle postupu uvedeného v národní normě [1] a při jejich volbě dochází ke změně průměrného jasu nebo osvětlenosti. Přechod z normální nebo adaptivní třídy osvětlení na jinou třídu osvětlení se děje po jednotlivých krocích (danou konkrétní třídou osvětlení), které však nejsou ve všech případech napříč třídami osvětlení konstantní.

Pokud se provádí v průběhu provozu soustavy VO regulace světelného toku z normální na adaptivní třídu osvětlení změnou o jednu třídu, bude se hodnota jasu/osvětlenosti u adaptivní třídy osvětlení pohybovat od 60% do 75% jmenovité hodnoty normální třídy osvětlení. Při změně jasu/osvětlenosti o 2 adaptivní třídy osvětlení, bude výsledná hodnota mezi 40% až 50% jmenovité třídy osvětlení. Pokud se užije regulace osvětlení snížením o 3 třídy osvětlení, bude výsledná adaptivní třída osvětlení dosahovat hodnoty jasu/osvětlenosti 27% až 33% normální třídy osvětlení.

Podrobné hodnoty jasu/osvětlenosti při změně normální třídy osvětlení a přechod mezi adaptivními třídami jsou zaneseny v následujících tabulkách 1 až 3.

Tabulka 1: Přehled poklesu hodnot průměrného jasu (%) při přechodu na adaptivní třídy osvětlení M

M1	M2	M3	M4	M5	M6
normální	adaptivní				
100%	75%	50%	38%	25%	15%
	normální	adaptivní			
	100%	67%	50%	33%	20%
	normální	adaptivní			
		100%	75%	50%	30%
	normální	adaptivní			
		100%	67%	40%	
		normální	adaptivní		
		100%	60%		

Tabulka 2: Přehled poklesu hodnot průměrné osvětlenosti (%) při přechodu na adaptivní třídy osvětlení C

C0	C1	C2	C3	C4	C5
normální	adaptivní				
100%	60%	40%	30%	20%	15%
	normální	adaptivní			
	100%	67%	50%	33%	25%
	normální	adaptivní			
		100%	75%	50%	38%
	normální	adaptivní			
		100%	67%	50%	
		normální	adaptivní		
		100%	75%		

Tabulka 3: Přehled poklesu hodnot průměrné osvětlenosti (%) při přechodu na adaptivní třídy osvětlení P

P1	P2	P3	P4	P5	P6
normální	adaptivní				
100%	67%	50%	33%	20%	13%
	normální	adaptivní			
	100%	75%	50%	30%	20%
	normální	adaptivní			
		100%	67%	40%	27%
	normální	adaptivní			
		100%	60%	40%	
		normální	adaptivní		
		100%	67%		

Příklad nastavení adaptivních tříd osvětlení

Příklad scénáře volby adaptivní třídy osvětlení, včetně požadavků na hladinu minimálního průměrného jasu, resp. osvětlenosti vozovky, udává následující tabulka 4.

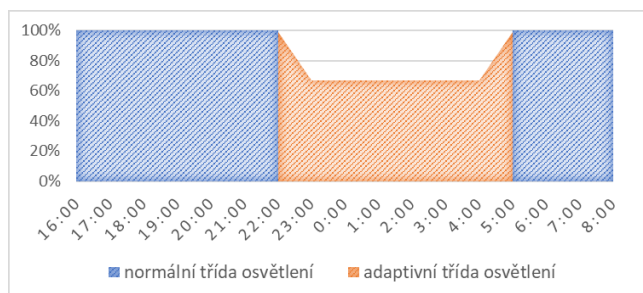
Na základě uplatnění adaptivních tříd osvětlení v definovaných časových intervalech lze vypočítat předběžnou spotřebu elektrické energie dané soustavy veřejného osvětlení. K výpočtu úspor spotřebované elektrické energie byl použit harmonogram spínání VO pro Prahu ve 3. pásmu. Dále je ve výpočtu pro zjednodušení uvažováno s lineární závislostí mezi průměrnou hladinou osvětlenosti a příkonem osvětlovací soustavy tvořenou svítidly se světelnými diodami.

Tabulka 4: Režim statické regulace světelných parametru na průjezdním úseku silnice II. třídy

Pozemní komunikace -intravilán	Poznámka	Třída osvětlení			
		Normální	Adaptivní - statická regulace		
			zap.- 23:00	23:00 - 5:00	5:00 - vyp.
silnice II. třídy	var. A	M4	M4	M5	M4
	L_{av} (cd/m ²)	0,75	0,75	0,5	0,75
	L_{av} (%)	100	100	67	100
	var. B	C4	C4	C5	C4
	E_{av} (lx)	10	10	7,5	10
	E_{av} (%)	100	100	75	100

Při aplikování výše uvedeného scénáře řízení VO, kdy je přistoupeno k regulaci o jednu třídu osvětlení lze snížit spotřebu elektrické energie přibližně na 84% ve srovnání s aplikováním normální třídy osvětlení o celou dobu provozu. Celková spotřeba energie se tedy sníží o 16% při stmívání na 67% hladiny průměrného jasu normální třídy osvětlení během 64% času, kdy je soustava v provozu.

Vhodným typem pozemních komunikací, kde lze uplatňovat širší rozsah adaptivních tříd osvětlení mohou být komunikace pro cyklisty nacházející se v intravilánu obce nebo v extravilánu mimo dopravní prostor přilehlé komunikace (např. stavebně oddělena pásem zeleně). Jedná se podle prostorového vedení uživatelů o místní komunikace využívané cyklisty a chodci nebo o místní komunikace zklidněné s omezeným přístupem motorové dopravy.



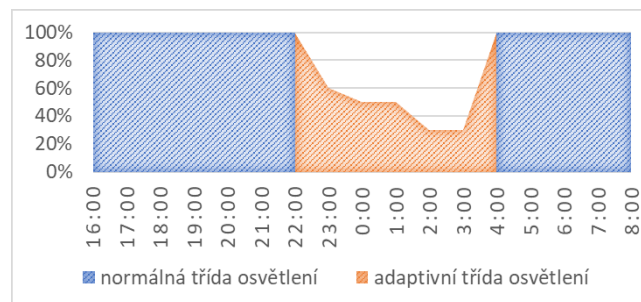
Obr. 2: Režim statické regulace o jeden stupeň normální třídy osvětlení M4 (příklad)

Využívání takovýchto místních komunikací v nočních hodinách značně klesá a je možno přistoupit k vyššímu rozsahu adaptivního (statického) řízení osvětlení. V příkladu (tabulka 5 a obrázek 3) Je voleno celkem 5 časových úseků s třemi adaptivními třídami osvětlení. V případě adaptivní třídy osvětlení P7 nejsou normou [2] stanoveny konkrétní parametry. Pro tento časový úsek od půlnoci do 2:00 hodin ráno je průměrná osvětlenost třídy osvětlení P7 nastavena na hodnotu 1,5 luxů, což odpovídá osvětlenosti 50% normální třídy osvětlení. V časovém úseku 2:00 až 5:00, kdy lze pohyb po místní komunikaci očekávat téměř

zanedbatelný, je průměrná hladina osvětlenosti pozemní komunikace stanovena na minimální hodnotu 1 lux (odpovídá hodnotě normální osvětlenosti 33%).

Tabulka 5: Režim statické regulace světelných parametru na místní komunikaci pro cyklisty

Pozemní komunikace -	Třída osvětlení					
	Nor-mální	Adaptivní - statická regulace				
		zap.- 22:00	22:00 - 0:00	0:00 - 2:00	2:00 - 5:00	5:00 - vyp.
Místní komunikace	P5	P5	P6	P7	P7	P5
E_{av}	(lx)	3	2	1,5	1	3
	(%)	100	66	50	33	100



Obr. 3: Režim statické regulace normální třídy osvětlení P4 s více adaptivními třídami (příklad)

Tabulka 6: Podíl provozního využití adaptivních tříd osvětlení

Třída osvětlení	E_{av} (%)	T (h/rok)	T (%/rok)
P5	100	1630	40
P6	66	730	18
P7	50	730	18
P7	33	1010	24

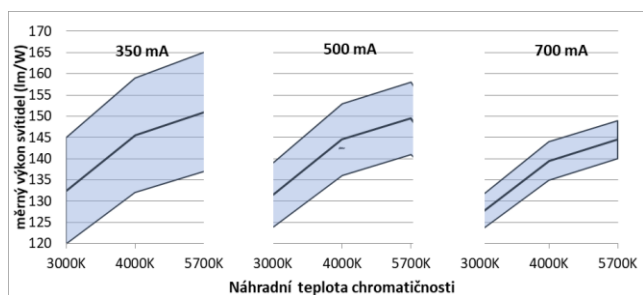
Pokud bude aplikován výše uvedený scénáře řízení VO, kdy je přistoupeno k třístuňové regulaci normální třídy osvětlení, lze snížit spotřebu elektrické energie přibližně na 69% ve srovnání s aplikováním normální třídy osvětlení o celou dobu provozu. Celková spotřeba energie se v předběžném sníží o 31% při postupném snižování průměrné hladiny osvětlenosti normální třídy osvětlení. Podrobnosti o časovém využití jednotlivých stupňů řízení udává Tabulka 6.

Měrný výkon LED svítidel

Měrný výkon světelných diod je mimo jiné ovlivňován parametry jako je náhradní teplota chromatičnosti spolu s indexem podání barev [10]. Ve veřejném osvětlení jsou LED svítidla běžně osazeny světelnými diodami s náhradní teplotou chromatičnosti 4000K a 3000K, popřípadě s vyššími teplotami chromatičnosti (např. 6500K). Směrem k teplejším barevným tónům jsou dodávána svítidla s náhradní teplotou chromatičnosti $\geq 2700K$. V případě LED součástek instalovaných v silničních svítidlech s náhradní teplotou chromatičnosti od 2700K do 4000K dosahuje index podání barev hodnot $R_a \geq 70$ až $R_a \geq 80$. Světelné diody s velmi nízkou náhradní teplotou chromatičnosti (1800K až 2500K) nabízené jen některými výrobci silničních svítidel dosahují indexu podání barev R_a 30 až 50.

Celkový měrný výkon svítidla je také ovlivňován provozními parametry předřadníku. V případě svítidel osazených LED modulem závisí jeho měrný výkon na hodnotě budícího proudu. Dle typu LED světelného zdroje a požadavku na jeho světelný tok, bývají velikosti budícího proudu různé. Typicky se jeho hodnota pohybuje od 300mA až do 1000mA [11]. Obrázek 4 zobrazuje měrné výkony LED silničních svítidel (vybraných výrobců) spolu s

vyznačením střední hodnoty pro různé teploty chromatičnosti v závislosti na velikosti proudu procházejícího světelnými diodami v LED modulu.

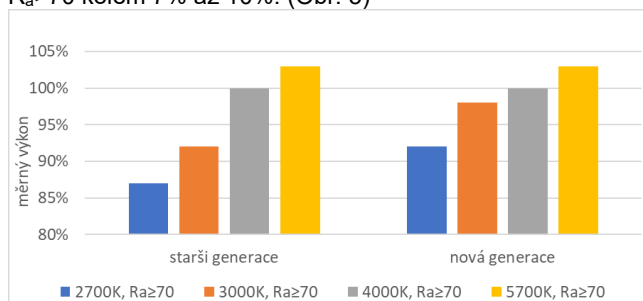


Obr 4: Průběhy měrných výkonů LED silničních svítidel v závislosti na náhradní teplotě chromatičnosti (3000K, 4000K a 5700K) za shodným indexem podání barev $R_a \geq 70$ pro různé budící proudy.

U současných světelných diod klesá měrný výkon s klesající náhradní teplotou chromatičnosti [10, 11]. Při porovnání LED součástek (popř. svítidel osazenými světelnými diodami stejného výrobce), které jsou zároveň provozovány se stejnou hodnotou budícího proudu, došlo v průběhu posledního desetiletí vývoje k snížení rozdílů měrných výkonů světelných diod s rozdílnou náhradní teplotou chromatičnosti.

V případě teple bílého tónu světla LED s $T_{cp}=3000K$ a $R_a > 70$ byl v minulosti pokles měrného výkonu kolem 10% vůči LED s chladně bílým tónem světla $T_{cp}=4000K$ a $R_a > 70$. Pokud srovnáme měrný výkon LED s $T_{cp}=2700K$ a 4000K, činil rozdíl v měrném výkonu kolem 15% ve prospěch LED s vyšší náhradní teplotou chromatičnosti.

U současných LED součástek používané předními výrobci silničních svítidel VO [11] je rozdíl v měrném výkonu (lm/W) mezi LED 4000K $R_a > 70$ a LED 3000K $R_a > 70$ pouhých 1%-2% U teplejších barevných tónů světla, činí rozdíl měrného výkonu LED 4000K $R_a > 70$ vůči LED 2700K $R_a > 70$ kolem 7% až 10%. (Obr. 5)



Obr 5: Střední hodnota měrných výkonů LED součástek užívaných ve svítidlech VO – vztaženo k $T_{cp}=4000K$

Vyhodnocení energetické náročnosti

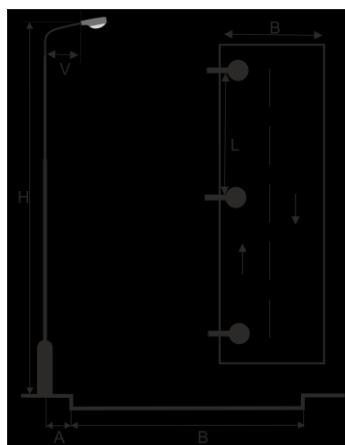
Pro vyhodnocení energetické náročnosti provozu osvětlovací soustavy byl vytvořen modelový příklad silničního osvětlení, ve kterém byly srovnány silniční LED svítidla významných výrobců. Do srovnání byly zařazeny svítidla od 5 výrobců silničních svítidel. Od každého výrobce byla vybrána 2 svítidla z různých modelových řad a také s rozdílnými hodnotami náhradních teplot chromatičnosti pro každý model. Zástupci modelových řad vybraných svítidel jsou v Tabulce 7 odlišeny symboly (I) a (II). Všechna svítidla byla vybrána s vhodným optickým systémem pro dané geometrické uspořádání.

Modelový úsek pozemní komunikace pro objektivní posouzení energetické náročnosti byl uspořádán dle obrázku 5. Jedná se o jednostrannou osvětlovací soustavu, kde: šířka komunikace (B) je 7,3m, závěsná výška svítidla (H) je 10m, odsazení stožáru od krajnice (A) a délka

vyložení svítidla (V) je shodně 0,5m, rozteč stožárů (L) je 40m. V modelovém příkladu je zvolena třída osvětlení M4. Třída osvětlení je neměnná po celou dobu provozu, která činí 4200h za rok. Pro všechny varianty je počítáno se shodným udržovacím činitelem ($Z=0,9$).

Tabulka 7: Světelně technické parametry vybraných silničních svítidel

Výrobce, model svítidla	T_{cp}	R_a	Φ_{sv}	P	η_{sv}	Φ_{voz}	η_{Φ}	η_E	$\Delta\eta_E$	
	(k)	(-)	(klm)	(W)	(lm/W)	(klm)	(-)	(W/lux)	(%)	
A	I	4000	70	12,8	109	118	6,1	0,48	7,75	3,7
		3000	70	12,4	109	114	5,9	0,47	8,04	
	II	4000	70	10,0	83,7	119	4,4	0,44	6,92	2,5
		3000	70	9,7	83,7	116	4,3	0,44	7,09	
B	I	4000	70	12,9	107	121	6,5	0,51	7,10	26,5
		3000	80	10,0	105	95	5,1	0,51	8,98	
	II	1750	—	10,0	127	79	5,0	0,50	9,19	X
C	I	4000	70	12,5	86	145	4,8	0,38	7,89	X
		4000	70	10,8	72	150	4,7	0,43	6,73	
	II	3000	70	14,8	106	140	5,2	0,35	8,83	31,3
D	I	4000	70	9,5	69	139	4,4	0,46	5,71	7,1
		3000	80	8,9	69	130	4,1	0,46	6,12	
	II	4000	70	10,4	70	149	4,7	0,45	5,47	54,2
		3000	80	15,4	113	136	4,9	0,32	8,43	
E	I	4000	70	9,1	58	157	4,7	0,51	5,42	25,9
		3000	80	9,1	73	125	4,7	0,51	6,82	
	II	3000	80	10,8	90	120	4,5	0,41	7,38	7,7
		4000	70	10,8	76	142	4,1	0,38	6,85	
		5700	70	10,8	76	142	4,1	0,38	6,85	



Obr 5: Geometrické uspořádání modelové osvětlovací soustavy

Světelnětechnické parametry vybraných svítidel jako náhradní teplota chromatičnosti (T_{cp}), index podání barev (R_a), světelný tok vyzařovaný svítidlem (Φ_{sv}), jeho celkový příkon (P) a měrný výkon (η_{sv}) jsou uvedeny v tabulce 7. Dále jsou v tabulce k jednotlivým zástupcům vybraných typů silničních svítidel udávány výsledné hodnoty světelných a energetických ukazatelů pro posouzení energetické náročnosti. Na modelovém úseku pozemní komunikace, zařazenou do třídy osvětlení M4, byly jednotlivé varianty

osvětlovací silniční soustavy (neměnné geometrie) porovnány s různými svítidly dle následujících vypočítaných hodnot, kterými jsou: světelný tok dopadající na vozovku (do kontrolního pole) (Φ_{voz}), činitele využití světelného toku svítidla (η_{Φ}) a měrná osvětlenost na jednotku příkonu (η_{E}).

Závěr

Na celkovou energetickou náročnost osvětlovací soustavy má zásadní vliv měrný výkon svítidla a činitel využití světelného toku. Činitel využití bývá typicky kolem 50%, což potvrzují výsledky modelového příkladu. Vliv na činitel využití světelného toku má především geometrie osvětlovací soustavy spolu s uspořádáním osvětlovaného prostoru. S geometrií osvětlovací soustavy souvisí i výběr vhodného optického systému svítidla, který má za úkol distribuovat světelný tok co nejefektivněji do zamýšleného prostoru k osvětlení.

Řízením světelných parametrů VO zavedením adaptivních tříd osvětlení v průběhu noci, kdy obecně intenzita dopravy výrazně klesá, lze snížit příkon osvětlovací soustavy o 15% až 30% v závislosti na typu komunikace a zvolené normální třídě osvětlení. Při volbě adaptivních tříd osvětlení je nutno brát ohled na to, že přechod mezi jednotlivými třídami nemá lineární charakter. To je důležité pokud vybraná svítidla (předřadníky) neumožňují konfiguraci kroků snižování vyzařovaného světelného toku libovolně, ale pracují s přednastavenými hodnotami (typicky 50%, 25% jmenovitého světelného toku). Výsledek použití takovýto svítidel pro adaptivní řízení osvětlení nemusí být vždy uspokojivý.

Měrný výkon svítidla ovlivňuje několik faktorů. Jde o druh použitých LED součástek a jejich počet na desce plošného spoje tvořící LED modul. Dosažení vyššího světelného toku je docíleno osazením většího počtu LED součástek a velikostí budícího proudu. Nárůst budícího proudu, stejně tak snižování náhradní teploty chromatičnosti vede k poklesu měrného výkonu. Také zvyšování indexu podání barev vede k poklesu měrného výkonu. K snížení rozdílu měrného výkonu u svítidel VO osazenými světelnými diodami s rozdílnou barevnou teplotou (2700K, 3000K, 4000K) přispělo jednak samotné zdokonalení parametrů světelných diod a také zavedení indexu podání $R_a > 70$ namísto $R_a > 80$. K výraznému zlepšení došlo především u LED s náhradní teplotou chromatičnosti $T_{cp} = 2700K$. Index podání barev $R_a > 70$ je pro účely všeobecného světlování ve venkovních soustavách dostačující.

Z výsledků modelového příkladu osvětlovací soustavy pozemní komunikace (tabulka 7) vyplývá, že navýšení instalovaného příkonu osvětlovací soustavy není způsobeno pouze volbou svítidel s nižší náhradní teplotou chromatičnosti. Při výběru náhradní teploty chromatičnosti u

LED svítidel shodného výrobce a modelové řady záleží na přístupu výrobce, jak své výrobky koncipuje. Jednou možností je nabízet svítidla v příkonových řadách, kdy svítidla v rámci jedné modelové řady mají pro všechny dostupné teploty chromatičnosti shodný jmenovitý příkon a liší se v měrném výkonu. V tomto případě je v některých případech zapotřebí pro dodržení světelnotechnických parametrů danou zvolenou třídou osvětlení, vybrat svítidlo (o nižší náhradní teplotě chromatičnosti) s vyšším příkonem v rámci příkonové řady. Tím dojde k znatelnému zhoršení měrné osvětlenosti na jednotku příkonu (lx/W). Druhou možností je nabízet svítidla v rámci modelové řady dle výsledného světelného toku, který je totožný pro všechny nabízené náhradní teploty chromatičnosti. V tomto případě dochází k navýšení příkonu osvětlovací soustavy jen v důsledku nižšího měrného výkonu LED s teplejším tónem světla.

REFERENCE

- [1] ČSN CEN/TR 13201-1 Osvětlení pozemních komunikací – Část 1: Návod pro výběr tříd osvětlení 12/2017
- [2] ČSN EN 13201-2 Osvětlení pozemních komunikací – Část 2: Požadavky, 4/2019
- [3] Manuál veřejného osvětlení 2010, SEVEn, Středisko pro efektivní využívání energie
- [4] Šafařík, M., Terrich, T., Malý, V., Čejka, M., Daniš, P., Rosová, Š., Mazáček, J., Stuchlíková, L., Malý, V.: Jak na chytré veřejné osvětlení? – Příručka pro města a obce. Praha : Porsenna, 2017
- [5] Žák, P., Terrich T., Ovládání veřejného osvětlení. In: Světlo – časopis pro světelnou techniku a osvětlování. Praha: FCC Public, 2018, No3. ISSN 1212-0812
- [6] Žák, P., Terrich T., Bálský M., Volba tříd osvětlení ve veřejném osvětlení. In: Kurz osvětlovací techniky XXXIII, Kouty nad Desnou. Ostrava: Fakulta elektrotechniky a informatiky 2017. ISBN 978-80-248-4104-5.
- [7] ČSN 73 6101 Projektování silnic a dálnic 9/2018
- [8] TP 198:2012 Stanovení intenzit dopravy na pozemních komunikacích (II. Vydání) 6/2012
- [9] Žák, P., Terrich T., Analysis of Traffic Accidents as a Part of Methodology for Selecting a Lighting Class for Road Lighting. In: 2018 VII. Lighting Conference of the Visegrad Countries (Lumen V4) Třebíč. Brno: Czech Lighting Society and Brno University of Technology 2018. ISBN: 978-1-5386-7923-4.
- [10] DOE 2016, U.S. Department of Energy - R&D Plan 2016
- [11] katalogové listy Philips Lighting/Signify, Schröder, iGuzzini, Thorn, Siteco, Cree Lighting

Autoři: Ing. Petr Žák, PhD., Ing. Theodor Terrich
České vysoké učení technické v Praze, Fakulta elektrotechnická, Technická 2, 166 27 Praha-Dejvice, Czech Republic,
e-mail: zakpertr@fel.cvut.cz; theodor.terrigh@fel.cvut.cz

Implementace nové normy EN 17037 – Denní osvětlení budov

Klíčová slova: Denní osvětlení budov, BuildingDesign

Úvod

Po letech příprav přichází do platnosti nová evropská norma ČSN EN 17037 – Denní osvětlení budov. Proces její tvorby a schvalování nebyly snadné, nicméně se všemi svými porodními bolestmi je tu, je platná a na nás všech je, jak se s tím vyrovnáme. Nová norma svým obsahem řeší nejen požadavky a hodnocení denního osvětlení, ale současně také výhledu, proslunění a oslnění. Česká republika, jako člen Evropské unie je zavázána každou EN evropskou normu i tuto přijmout a přizpůsobit ostatní normy tak, aby s ní nebyly v rozporu. Současně s překladem nové normy bylo tedy třeba připravit změny několika důležitých a zavedených norem, zejména ČSN 73 0580-* a ČSN 73 4301. Nezbytné a současně možné změny stávajících norem byly provedeny během jara a léta a vydány současně s vydáním nové normy ČSN EN 17037. Ve stávajících normách byly zrušeny přehledné tabulky požadavků podle typu místnosti a činnosti, místo toho nová norma obsahuje tři uvažované úrovně, z nichž by ta nejnižší měla být splněna.

Vydáním však implementace nové normy zdaleka není u konce. Co ještě tedy zbývá udělat?

- Odstranit několik formálních chyb v úpravách, které se vloudily do textu při tom velkém objemu prací, to by neměl být velký problém
- Dořešit některé nejasnosti ve výkladu některých článků nové normy zejména co se týče proslunění, aby byly stanoveny zcela jednoznačné okrajové podmínky pro výpočet
- Pokusit se vyřešit problém s požadavky na hodnocení denního osvětlení obytných budov. Protože požadavky nové normy jsou výrazně přísnější než požadavky původní ČSN 730580-2 a její odstranění by mohlo prakticky výrazně omezit výstavbu obytných prostor, bylo po dlouhých diskusích rozhodnuto, že původní norma zatím nebude zrušena. Je ovšem s novou normou v konfliktu a to přináší mnoho otázek a problémů.
- Pokusit se zformulovat a vydat zcela novou českou normu, která sdruží do jednoho předpisu všechna česká specifika, doporučení a upřesnění, která nová evropská norma nepostihuje a byla v původních změněných normách. Jedná se například o hodnocení zastínění denního osvětlení na fasádě, upřesnění minimální cílové

osvětlenosti (č.d.o.) v některých prostorech (např. školách), upřesnění limitních úhlů při hodnocení proslunění například při hodnocení zastínění apod.

- Pokusit se iniciovat úpravy a dokončení rozpracovaných stávajících podzákoných předpisů, nařízení vlády a vyhlášek, které se odkazují na původní normy, jejich články nebo hodnoty tak, aby to všechno pokud možno bylo pro odbornou veřejnost srozumitelné a dobře použitelné.

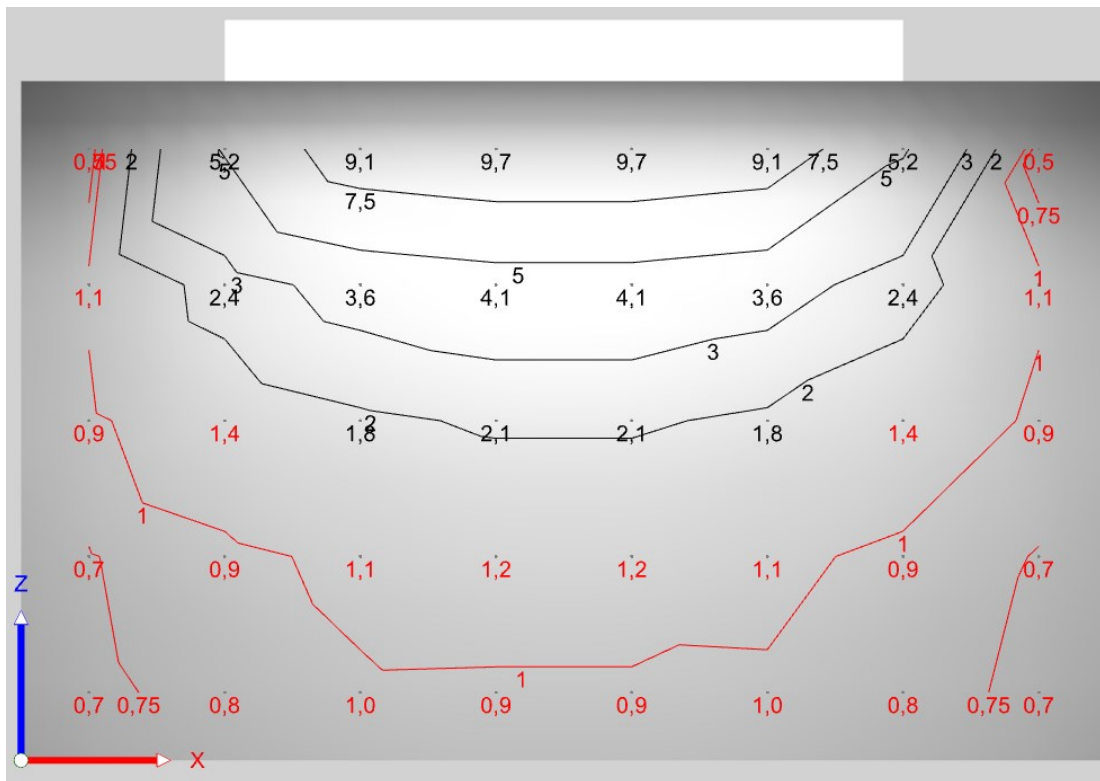
Je zřejmé, že úkolů není zrovna málo a situace v této oblasti není zrovna jednoduchá a přehledná. Stavební činnost nestojí a zastavit se nedá. Investoři, navrhovatelé a posuzovatelé by měli mít jednoznačné podklady a kritéria k tomu, aby mohli věrohodně zjistit, zdali jsou požadavky na denní osvětlení stanovené normami a předpisy splněny.

Jako autorská společnost programu BuildingDesign jsme k možnosti hodnocení denního osvětlení podle nové normy připravili nový modul, který umožňuje v současné verzi hodnotit denní osvětlení a proslunění v souladu s novou normou. Hodnocení výhledu máme v současné době téměř hotovo, potřebovali bychom ovšem konzultaci autora normy k jednoznačným stanovením některých parametrů výpočetního modelu, například délka výhledu. K implementaci hodnocení oslnění se v nejbližší době nechystáme, zde bude třeba nejprve zavést informace o předpovědi ročních klimatických podmínek.

Co se týče denního osvětlení, když pro tuto chvíli zapomeneme na obytné prostory a soustředíme se na minimální požadovanou úroveň a trochu to zjednodušíme na svislé, tedy postaru boční otvory, tak nová norma přináší dva limitní požadavky:

- Minimální cílová osvětlenost 100 lx má být splněna alespoň v 95% hodnoceného prostoru, což pro Českou republiku znamená č.d.o. 0.7%
- Cílová osvětlenost 300 lx má být splněna alespoň v 50% hodnoceného prostoru, což pro Českou republiku znamená č.d.o. 2.0%

Tedy místo minimální hodnoty a rovnoměrnosti bychom měli hodnotit dvě limitní hodnoty č.d.o. Rozdíl si zkusíme ukázat na jednoduchém příkladu, který byl spočítán postaru i podle nové normy.



Obr. 1. Rozložení izočár č.d.o.

Výpočet	Kontrola		Nastavení		Režimy výpočtu	
Název <input type="text"/>	Minimální hodnota	Průměrná hodnota	Maximální hodnota	Rovnoměrnost	Požadovaná hodnota	
Budova - Podlaží - Místnost						
Činitel denní osvětlenosti	0,5 / 1,5 % !	2,5 %	9,7 %	0,055		
Činitel denní osvětlenosti ČSN EN 17037	(0,7) 95 / 95 % ✓		9,7 %	0,055	(2,0) 35 / 50 % !	

Obr. 2. Vyhodnocení výpočtu

Na prvním řádku je hodnocení podle původní ČSN 73 0580-1, na druhém řádku pak hodnocení podle EN 17037. Je vidět, že ani podle jedné normy denní osvětlení nevyhovuje, podle té první není dodržena minimální hodnota 1.5%, podle druhé není dodržena cílová hodnota v 50% prostoru. V určitých případech lze vymezit v místnosti funkčně vymezený prostor, v pracovních prostorech by pak bylo možno použít sdružené osvětlení. Norma ČSN 36 0020 – Sdružené osvětlení byla rovněž v rámci zavedení nové normy upravena.

Na závěr bych se chtěl zmínit o změnách v hodnocení proslunění, které nová norma přináší:

- Kromě obytných prostor by se mělo hodnotit rovněž v nemocničních pokojích a v místnostech pro dětské hry v mateřských školách
- K proslunění bytového prostoru by mělo stačit proslunění jedné obytné místnosti.
- Nová norma zrušila paušální limitní úhel "nahrazující ostění" 25° a požaduje použít skutečné stínící vlastnosti ostění. Toto přináší velké problémy při hodnocení

zastínění okolních staveb a je snaha najít nějaké řešení do uvažované nové české normy.

- Velká diskuse probíhá ohledně výkladu limitní hodnoty minimální výšky slunce, v současné době je otázkou, zdali má být 0, 5 nebo 13°, rovněž toto by mohla řešit uvažovaná nová norma.

Závěr

Z výše uvedeného je zřejmé, že problémů je více než bychom si všichni přáli. Nová norma se snaží unifikovat požadavky na denní osvětlení pro všechny státy Evropské unie a to je dobrá věc. Ne všechna její ustanovení jsou však snadno srozumitelná a použitelná. Zdá se mi, že nová norma celkově není zaměřena na zajištění zrakové činnosti denním osvětlením, tady se odkazuje na EN 12464-1. Více podrobností bych rád prezentoval v přednášce. Přeji Vám všem co nejméně problémů při zavedení této normy do praxe.

Autor: ing. Pavel Staněk, ASTRA MS Software s.r.o., e-mail: pavel.stanek@astrasw.cz, www.astrasw.cz

Umělé osvětlení pro kultivaci rostlin

Abstrakt. Lidská společnost se čím dál častěji setkává s potřebou rozšíření ploch pro pěstování rostlin s nutností umělého přisvitu. Velice rychlý vývoj LED technologie začíná poskytovat vyhovující náhradu za stávající výbojkové světelné zdroje a v některých parametrech již tyto zdroje i převyšuje. Výrobci se vydávají mnoha směry a není triviální se v současných možnostech plně orientovat. Tento článek popisuje současnou technologii a zároveň se zabývá vývojem pěstebního svítidla, od výběru vhodných komponent, přes jeho testování v laboratorním prostředí, až k uvedení na trh. Cílem textu je přiblížit čtenáři problematiku kultivace rostlin pod umělým osvětlením.

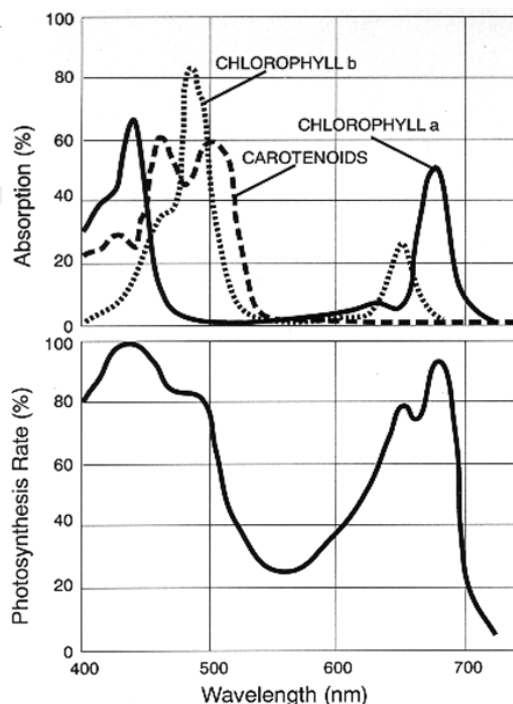
Klíčová slova: kultivace rostlin, umělé osvětlení, světelné spektrum, fotosynteticky aktivní záření.

Úvod

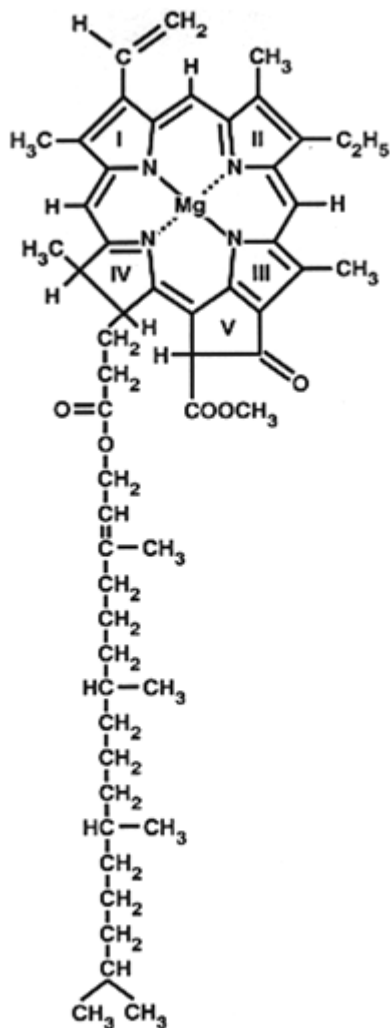
LED technologie patří mezi jeden z nejrychleji se rozvíjející průmyslový obor a postupně si nachází právoplatné místo v mnoha odvětvích lidské činnosti, počínaje obecným osvětlováním, přes speciální aplikace v oblasti UV a infra záření, automobilového průmyslu po pěstování rostlin. Ve výše zmíněných oborech záření LED pozvolna vytlačuje klasické a léty ověřené výbojky a žárovky. Dalo by se říci, že potenciál výbojkových zdrojů dosáhl svého maxima, kdežto u LED můžeme očekávat další vylepšování parametrů jako je CRI, CCT, měrný výkon a životnost. Jedním z oborů, kde se LED technologie uplatňuje stále více je umělé osvětlování pro pěstování rostlin. Umělé osvětlení se primárně využívá dvěma způsoby, zaprvé jako přisvit a za druhé jako náhrada denního světla. Na trhu můžeme najít mnoho výrobců poskytující různá řešení osvětlení. Jedním z lídrů v tomto oboru je finská společnost Valoya, kterou v České republice zastupuje společnost NBB Bohemia s.r.o. Společnost Valoya za relativně krátkou dobu působení v oboru vyvinula světla pro mnoho druhů rostlin. Další známou společností je Philips Lighting nabízející mnoho druhů svítidel pro pěstební účely. V neposlední řadě tu máme samotné výrobce horticulture LED jako je například Lumileds, Osram či Nichia.

Základní jednotky pro osvětlování rostlin

Pro účely běžného osvětlování se používá jednotka lumen. Tato jednotka ovšem není vyhovující z hlediska osvětlování rostlin. Lidské oko je při denním vidění nejcitlivější na vlnovou délku 555 nm (zelená barva). Odezva fotosyntézy je popsána PAR (Photosynthetically active radiation) spektrem. Chlorofyl tedy zelený pigment, který absorbuje světlo, pohlcuje nejvíce světla v modré a červené oblasti viz Obr. 1. Chlorofyl A obr. 3 má nejvyšší citlivost na vlnové délky 622 nm a 430 nm, Chlorofyl B na 642 nm a 453 nm. To je hlavní důvod, proč jsou lumény jako jednotka pro osvětlování rostlin nevyhovující. Pro výpočty osvětlování rostlin se tedy využívají jednotky PPF (photosynthetic photon flux) a PPFD (photosynthetic photon flux density) (ekvivalent jednotek lumen a lux). PPF je v jednotkách $\mu\text{mol/s}$ a PPFD $\mu\text{mol/m}^2/\text{s}$.



Obr. 1. photosynthetically active radiation [1]



Chlorophyll a

Obr. 3. Chlorophyll A [1]

Table 1. koeficienty přepočtů [2]

Zdroj světla	Konverzní faktor
Sluneční světlo	54
Zářivka (studená bílá)	74
HPS	82
DE-HPS	77
MH	71
CMH	65
CMH-Agro	59

Table 2. přepočet PPFD na lux [2]

Sluneční světlo 10 [umol/m2/s]	HPS 10 [umol/m2/s]
540 [lux]	720 [lux]

Způsoby osvětlování

Umělé osvětlování pro pěstování rostlin se dělí na dva hlavní směry. Prvním je přísvit ve sklenících, tímto způsobem se pěstují například rajčata. V tomto případě zatím stále převažují výbojky, protože výhody tohoto

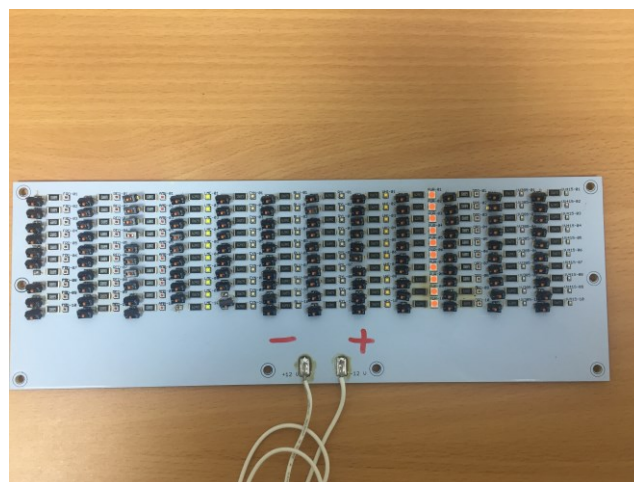
systému osvětlení (světelný tok, měrná efektivita a cena) převyšují jeho nevýhody.

Druhým směrem je kultivace rostlin bez přístupu slunečního záření. Jedná se především o pěstování ve vertikálních farmách například ve vyrazených silech či aquaponii, kde se spojuje chov ryb a pěstování zeleniny. Při tomto způsobu kultivace již není klasická sodíková výbojka vhodná, protože vydává oproti LED mnohem více tepla. Svítidlo s HPS se musí umístit výše a zajistit dostatečný odvod tepla, aby nebyly ovlivněny rostliny. To zvyšuje náklady a komplikuje instalaci HPS do vertikálních farem.

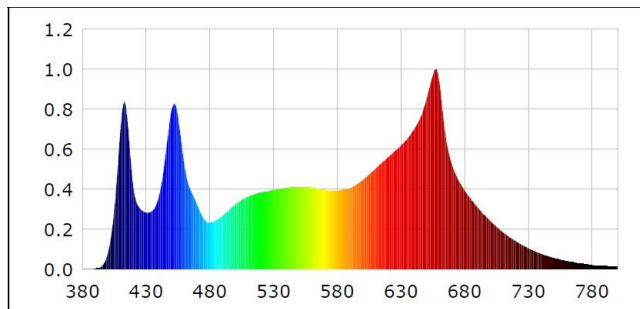
Vývoj vlastního svítidla

Vzhledem k rostoucí poptávce po LED pěstebních svítidlech se NBB Bohemia s.r.o. rozhodla vyvinout vlastní pěstební svítidla. Cílem bylo vytvořit vhodné svítidlo jak pro osvětlování skleníků tak verzi pro použití ve vertikálních farmách a přiblížit se co nejvíce PAR spektru.

Prvním krokem bylo zvolit vhodné tělo svítidla, jako materiál byl zvolen hliník, především z důvodu dobrého vedení tepla. Po provedení simulací přechodu tepla, byly vybrány dva hliníkové profily, jeden pro osvětlování větších ploch, druhý určený primárně pro osvětlování menších vertikálních farem. Jednou z nejsložitějších částí celého procesu vývoje byl návrh vhodného spektra. Všechny zelené rostliny obsahují chlorofyl a platí pro ně tedy PAR spektrum, není vhodné osvětlovat rostlinu pouze modrou a červenou složkou, jak můžeme vidět u některých levnějších svítidel. Světelné spektrum totiž nemá vliv pouze na fotosyntézu, ale i na morfologii rostliny [3]. Například podle poměru složek červené barvy Deep-red 660 nm a Far-red 730 nm rostlina pozná, je-li v podrostu. Proto jsme po konzultacích s Mendelovou univerzitou v Brně přistoupily k tvorbě plnospektrálního svítidla s obohacením spektra o UVA záření, které má vliv tvorbu sekundárních metabolitů například CBD v Cannabis sativa [3]. Návrh spektra probíhal nejprve softwarovou simulací pomocí, které jsme vybraly pro nás nejvhodnější LED čipy. Výsledné spektrum, je tvořeno světlem ze čtyř čipů. Tím je zajištěn požadavek na plné spektrum. Které vyhovuje nejen rostlinám, ale i případným zaměstnancům. Poté byly vybrané čipy osazeny na testovací bord, kde bylo pomocí spektrometru ověřeno, že výsledek odpovídá našim požadavkům (viz Obr 4). Dalším krokem bylo vytvoření PCB, výběr vhodného LED driveru, osazení LED PCB a montáž do svítidla. Po provedení teplotních zkoušek kdy při $T_e=30\text{ }^\circ\text{C}$ nepřesahovalo $T_c = 42\text{ }^\circ\text{C}$, byla zhotovena další svítidla. Tato svítidla byla následně zaslána na testování na Mendelovu univerzitu v Brně.



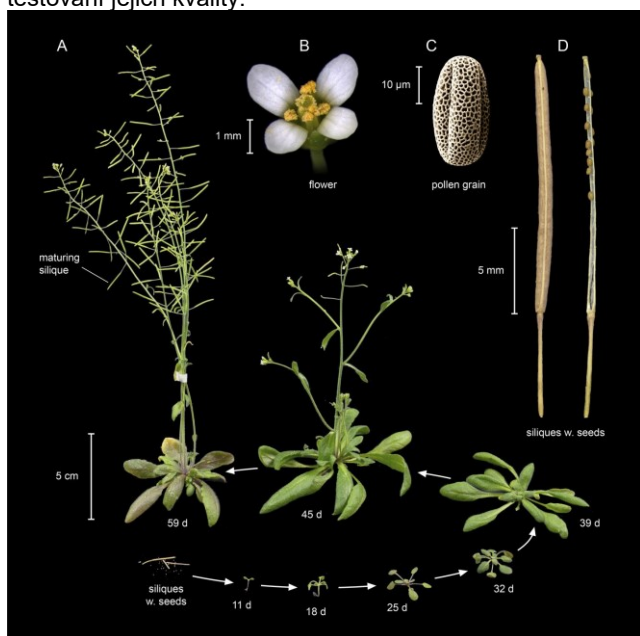
Obr. 2. Testovací deska pro vývoj



Obr. 4. Výsledné spektrum

Ověření výsledku.

Pro ověření výsledku vývoje ke kultivaci zvolen Huseníček rolní (*Arabidopsis thaliana*) (Obr 5). Tato rostlina byla vybrána především z důvodů jednoduché a rychlé kultivace. Výsledkem testu byly růstové křivky. Pěstební plocha byla nasvětlena na 180 umol. K nasvětlení bylo použito 6 LED svítidel a 2 HPS svítidla. Test prokázal, že růstová křivka pod LED je srovnatelná s HPS svítidlem. Hlavní výhodou je přibližně poloviční výkon oproti HPS systému. V současné době probíhá sčítání semen a testování jejich kvality.



Obr. 5. *Arabidopsis thaliana* [4]

Závěr

Kultivace rostlin pod umělým osvětlením je komplexní záležitostí a spektrum světelného zdroje se nemalou měrou

podílí na jejím výsledku. V současné době se jako nejlepší alternativou k slunečnímu světlu jeví LED svítidla, protože mohou být celkem jednoduše modifikována na požadavky jednotlivých rostlin, zároveň mají větší životnost než klasické osvětlovací systémy.

Seznam zkratk

- HPS (High Pressure Sodium)
- DE-HPS (Double ended HPS)
- MH (Metal Halid)
- CMH (Ceramic MH)
- LED (Light Emitting Diode)
- T_e (Temperature environment)
- T_c (Temperature kontrol point)

Reference

- [1] WHITMARSH, John. THE PHOTOSYNTHETIC PROCESS [online]. [cit. 2019-10-14]. Dostupné z: <http://www.life.illinois.edu/govindjee/paper/gov.html>
- [2] Conversion - PPFD to Lux. Apogeeinstruments [online]. USA [cit. 2019-10-14]. Dostupné z: https://www.apogeeinstruments.com/conversion-ppfd-to-lux/?gclid=Cj0KCQjwuZDtBRDvARIsAPXFx3D0HSYZWp_Q8x70Ns2Ri9uYV0aUI_xPmtHhx0iVaqUhZAxUVpBf_TcaAtZVEALw_wcB
- [3] HRUDOVÁ, Eva. Abionozologie pro rostlinolékaře [online]. 2011 [cit. 2019-10-15]. Dostupné z: http://web2.mendelu.cz/af_291_sklad/frvs/hrudova/index.htm
- [4] KRÄMER, Ute. The Natural History of Model Organisms: Planting molecular functions in an ecological context with *Arabidopsis thaliana* [online]. 2015 [cit. 2019-10-15]. Dostupné z: <https://elifesciences.org/articles/06100>
- [5] LED lighting for vegetables & fruits [online]. 2018 [cit. 2019-10-15]. Dostupné z: https://www.lighting.philips.com/main/products/horticulture/vegetables-and-fruits#vegetables_&_fruits

Poděkování

Projekt Vývoj LED svítidel pro umělé osvětlení rostlin je zaměřen na výzkum a vývoj nové generace LED svítidel pro umělé osvětlení rostlin vč. řídicího systému pro regulaci. 3 speciální světelná LED spektra typu „wide band“ pro průmyslové skleníky, vertikální a horizontální farmy apod. Na tento projekt je poskytována finanční podpora od Evropské unie.

Autor: Ing. Vladislav Kosejk., NBB Bohemia s.r.o.,
Sídliště 693, 407 22 Benešov nad Ploučnicí, Česká republika
e-mail: kosejk@nbb.cz

Vplyv uhla natočenia svietidiel s nesymetrickou krivkou svietivosti na vypočítané parametre osvetľovacej sústavy

Abstrakt. Osvetľovacie systémy často používajú štvorcové LED panely alebo svietidlá v tvare gule, ktoré nemusia mať vždy presne symetrickú krivku svietivosti, aj keď sa javia ako symetrické. Problém s týmito svietidlami môže nastať už pri meraní kriviek rozloženia svietivosti vo fotometrickom laboratóriu z dôvodu nesprávneho určenia symetrie. Z konštrukčných dôvodov je mnohokrát veľmi komplikované alebo dokonca nemožné určiť fotometrické osi svietidla v prípade sférických aj štvorcových svietidiel. Táto skutočnosť môže spôsobiť rozdiel v uhle natočenia svietidla v softvéri svetelného dizajnu a v skutočných svetelných systémoch, a teda môže spôsobiť situáciu, že svetelný systém nespĺňa požiadavky normy STN EN 12464-1. Takáto situácia je, samozrejme, nežiaduca a môže spôsobiť značné finančné straty. Vzhľadom na neistoty merania parametrov vstupujúcich do výpočtu osvetľovacej sústavy a ďalších vplyvov, ktoré spôsobujú rozdiel medzi vypočítanými a meranými parametrami, je potrebné do určitej miery systém nadmerne zväčšiť, ale existuje horná hranica stanovená zákonom č. 555/2005 o energetickej hospodárnosti pri inštalácii osvetľovacieho systému.

Kľúčové slová: LED, Výpočtový softvér osvetlenia, svietidlo

Úvod

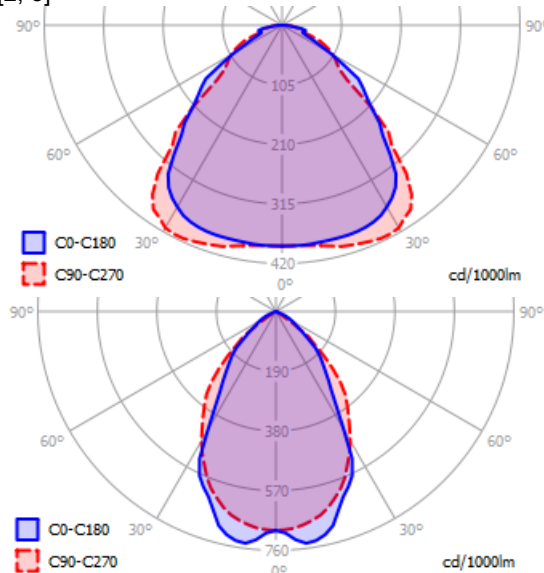
Pri navrhovaní svetelných systémov je potrebné rešpektovať platné legislatívne a normatívne požiadavky v rámci komplexného súboru kvantitatívnych a kvalitatívnych parametrov osvetlenia. Medzi základné parametre patrí osvetlenie a rovnomernosť osvetlenia, rovnaký význam sa však pripisuje požiadavkám na zabránenie oslneniu. Z hľadiska osvetlenia majú priestory s pracoviskom osobitné postavenie v interiéroch, kde je potrebné vytvárať vhodné podmienky pre pracovné prostredie. Počas stavebnej prehliadky sa fotometrické parametre osvetlenia overujú meraním a musia byť v súlade s požiadavkami vyhlášky a normy. Preto je potrebné venovať zvýšenú pozornosť návrhu osvetlenia. Normatívne požiadavky na vnútorné pracoviská sú predpísané normou STN EN 12464-1. Dizajn a výpočet umelého osvetlenia súvisia s veľkým počtom technických výpočtov osvetlenia. Cieľom tohto procesu je na jednej strane určiť výkon a celkový počet svietidiel alebo svetelných zdrojov a na druhej strane overiť požadované fotometrické parametre osvetlenia. Správne osvetlenie má významný vplyv na celkové zameranie a rýchlosť rozpoznávania objektov. Pre správny výpočet parametrov osvetľovacej sústavy je potrebné poznať dostatočne presné parametre vstupujúce do výpočtu. Kritickým vstupným parametrom pre štvorcové svietidlá nielen pri výpočte osvetlenia, ale aj pri realizácii osvetľovacieho systému je krivka svietivosti. Príklad štvorcového svietidla, ktoré nemusí mať úplne symetrickú krivku rozloženia svietivosti, je znázornené na obrázku 1. [1]

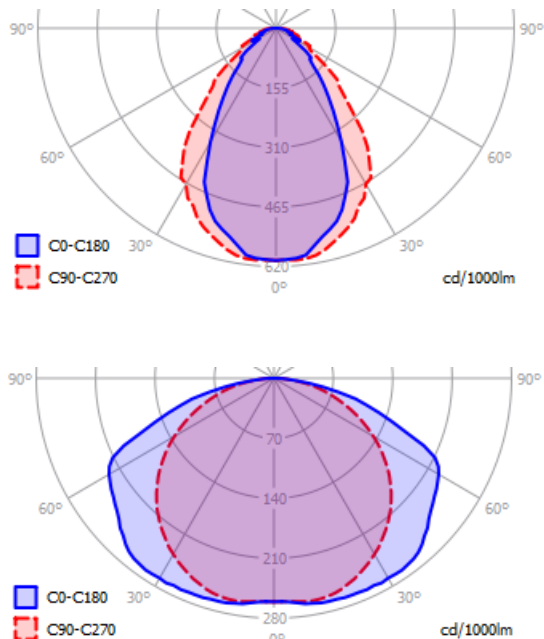


Obr. 1. Príklad štvorcového svietidla s nie úplne symetrickou krivkou svietivosti

Krivka svietivosti štvorcových svietidiel

Krivky svietivosti sú veľmi dôležitým vstupným parametrom pri výpočte osvetlenia, preto je veľmi dôležité čo najpresnejšie zmerať tento fotometrický parameter svietidla. Presnosť merania je ovplyvnená niekoľkými možnými zdrojmi chýb, ktoré môžu byť spôsobené napríklad konštrukciou meracieho prístroja (goniofotometra), podmienkami v laboratóriu a v neposlednom rade presnosťou osvetľovacieho technika. Posledný uvedený fakt úzko súvisí s jedným z problémov štvorcových a sférických svietidiel. Krivky týchto svietidiel môžu na prvý pohľad vyzeráť ako rotačné symetrické a osvetľovací technik môže jednoducho mylne vyhodnotiť, že postačuje zmerať iba jednu rovinu C, ako to umožňuje norma STN 13032-2, a následne urobiť symetriu krivky. Takéto meranie šetrí veľa času, ale za cenu presnosti merania. Ako je znázornené na obrázku 2, tieto svietidlá nemusia mať vždy symetrickú krivku rozloženia svietivosti [2, 3]





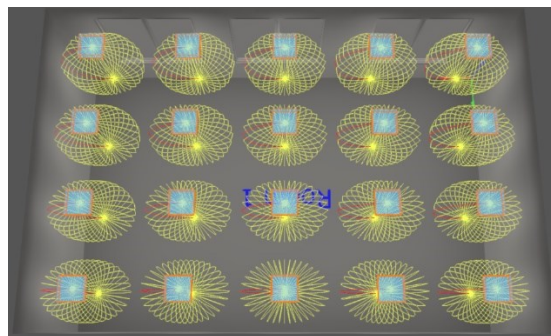
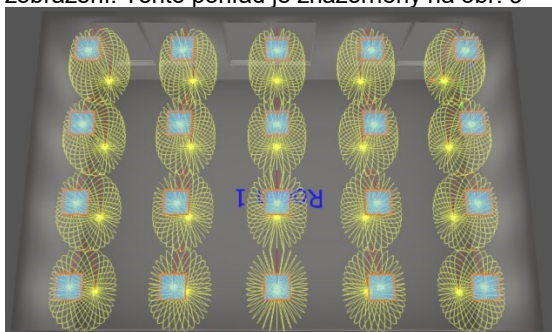
Obr. 2. Príklad kriviek svetivosti štvorcových svietidiel

Projektovanie osvetľovacieho systému

Postup navrhovania osvetľovacieho systému je jasne stanovený a vychádza z normatívnych požiadaviek. Prvým krokom návrhu je modelovanie určitého priestoru (interiéru alebo exteriéru) so všetkými potrebnými parametrami, ako sú odrazivosť povrchov, umiestnenie objektov a okien a stanovenie faktora údržby. Druhým krokom je zvyčajne umiestnenie výpočtových oblastí alebo bodov, napríklad v mieste vizuálnej aktivity. V treťom kroku sú svietidlá vložené do modelového priestoru. Výpočtový softvér ponúka rôzne možnosti usporiadania svietidiel:

- obdĺžnikové usporiadanie
- polygonálne usporiadanie
- kruhové usporiadanie
- čiarové usporiadanie
- umiestniť individuálne svietidlo
- automatické usporiadanie do priestoru

Okrem možnosti „kruhové usporiadanie“ všetky ostatné typy vloženia svietidiel pridávajú svietidlá do miestnosti, takže uhol natočenia okolo vertikálnej osi Z je 0°. V prípade štvorcových svietidiel s asymetrickou krivkou svetivosti sa rotácia svietidla určí podľa krivky svetivosti, napríklad v 3D zobrazení. Tento pohľad je znázornený na obr. 3



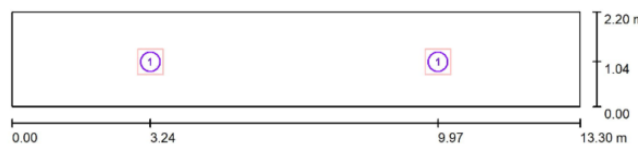
Obr. 3. a) Svietidlá otočené okolo osi Z=0° b) Svietidlá otočené okolo osi Z=90°

Predchádzajúce obrázky tiež ukazujú, že konštruktér môže otočiť svietidlá vo výpočtovom softvéri. V prípade štvorcových svietidiel však nie je možné jednoznačne určiť výslednú rotáciu z dokumentácie systému osvetlenia. V dokumentácii, ktorá je generovaná výpočtovým softvérom, sa zvyčajne uvádza usporiadanie a rotácia svietidiel. Príklad takéhoto výstupu je uvedený v tabuľke 1. Informácie o rotácii štvorcového alebo sférického svietidla nemajú výpovednú hodnotu, pretože pri tomto type svietidla často nie je možné určiť jeho osi.

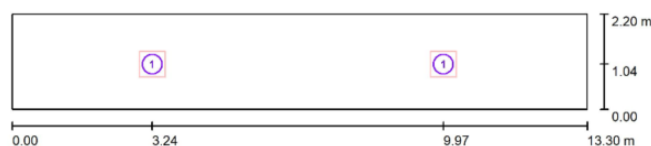
Tabuľka 1. Informácie o pozícii a rotácii svietidiel

Svietidlo	Pozícia [m]			Rotácia [°]		
	X	Y	Z	X	Y	Z
1	9,9	1,04	3,2	0	0	0
2	3,24	1,04	3,2	0	0	0

Obrázky 4 a 5 znázorňujú usporiadanie štvorcových svietidiel. Tento výstup je generovaný softvérom na návrh osvetlenia. Obrázky sú rovnaké, takže nie je možné určiť rotáciu svietidla.



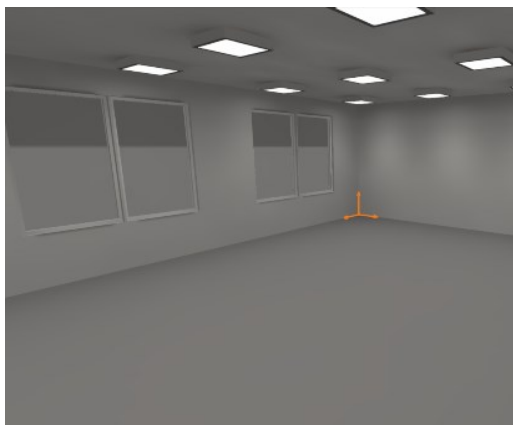
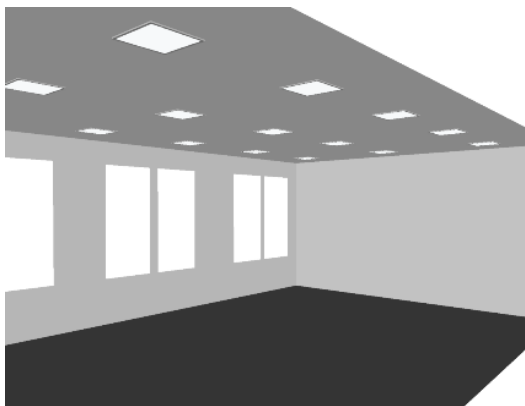
Obr. 4. Usporiadanie svietidiel s otočením okolo osi Z=0°



Obr. 5. Usporiadanie svietidiel s otočením okolo osi Z=90°

Výsledky simulácií

Na porovnanie vplyvu 90° rotácie svietidiel okolo osi Z sa vykonali simulácie v troch výpočtových softvéroch. Vizualizácie miestností v každom softvéri sú znázornené na obrázku 6.



Obr. 6. Vizualizácie modelovaných miestností

V každom výpočtovom softvéri boli modelované úzke chodby a široká trieda. V miestnostiach boli nastavené rovnaké rozmery, odrazivosť povrchu, faktory údržby, rozmery a umiestnenie okien. Do každého projektu boli vložené štvorcové svietidlá, ktorých krivky distribúcie svetivosti sú znázornené na obrázku 2.

Vypočítané parametre boli:

- priemerná udržiavaná osvetlenie \bar{E}_m
 - vo výške 0 m v chodbe
 - vo výške 0,8 m v triede
- rovnomernosť osvetlenia U_0
- UGR

V tabuľke 2 sú zobrazené výsledky simulácií.

Tab. 2 Vypočítané parametre osvetľovacieho systému v chodbe, kde bolo použité svietidlo č.1.

SVIETIDLO 1						
	Výpočtový softvér 1			Výpočtový softvér 2		
	Z=0°	Z=90°	Δ (%)	Z=0°	Z=90°	Δ (%)
\bar{E}_m (lx)	132	136	2,9	132	137	3,6
U_0 (-)	0,53	0,56	5,4	0,53	0,57	7,0
UGR (-)	20	20	0,0	19,5	19,6	0,5
Výpočtový softvér 3						
	Z=0°	Z=90°	Δ (%)			
\bar{E}_m (lx)	129	133	3,0			
U_0 (-)	0,51	0,53	3,8			
UGR (-)	20,6	20,4	-1,0			

Tab. 3 Vypočítané parametre osvetľovacieho systému v chodbe, kde bolo použité svietidlo č.2.

SVIETIDLO 2						
	Výpočtový softvér 1			Výpočtový softvér 2		
	Z=0°	Z=90°	Δ (%)	Z=0°	Z=90°	Δ (%)
\bar{E}_m (lx)	125	133	6,0	126	134	6,0
U_0 (-)	0,67	0,69	2,9	0,74	0,75	1,3
UGR (-)	19	23	17,4	18,7	22,2	15,8
Výpočtový softvér 3						
	Z=0°	Z=90°	Δ (%)			
\bar{E}_m (lx)	125	134	6,7			
U_0 (-)	0,71	0,71	0,0			
UGR (-)	21,1	25,1	15,9			

Tab. 4 Vypočítané parametre osvetľovacieho systému v chodbe, kde bolo použité svietidlo č.3.

SVIETIDLO 3						
	Výpočtový softvér 1			Výpočtový softvér 2		
	Z=0°	Z=90°	Δ (%)	Z=0°	Z=90°	Δ (%)
\bar{E}_m (lx)	148	145	-2,1	149	146	-2,1
U_0 (-)	0,4	0,34	-17,6	0,4	0,33	-21,2
UGR (-)	20	18	-11,1	19,7	17,8	-10,7
Výpočtový softvér 3						
	Z=0°	Z=90°	Δ (%)			
\bar{E}_m (lx)	145	142	-2,1			
U_0 (-)	0,39	0,32	-21,9			
UGR (-)	20,6	18,3	-12,6			

Tab. 5 Vypočítané parametre osvetľovacieho systému v chodbe, kde bolo použité svietidlo č.4.

SVIETIDLO 4						
	Výpočtový softvér 1			Výpočtový softvér 2		
	Z=0°	Z=90°	Δ (%)	Z=0°	Z=90°	Δ (%)
Ē _m (lx)	139	126	-10,3	140	126	-11,1
U ₀ (-)	0,43	0,34	-26,5	0,43	0,33	-30,3
UGR (-)	21	17	-23,5	20,1	16,4	-22,6
Výpočtový softvér 3						
	Z=0°	Z=90°	Δ (%)			
Ē _m (lx)	135	122	-10,7			
U ₀ (-)	0,43	0,33	-30,3			
UGR (-)	20,8	18,1	-14,9			

Tab. 6 Vypočítané parametre osvetľovacieho systému v chodbe, kde bolo použité svietidlo č.1.

SVIETIDLO 1						
	Výpočtový softvér 1			Výpočtový softvér 2		
	Z=0°	Z=90°	Δ (%)	Z=0°	Z=90°	Δ (%)
Ē _m (lx)	527	525	-0,4	517	515	-0,4
U ₀ (-)	0,67	0,67	0,0	0,64	0,64	0,0
UGR (-)	19	19	0,0	18,7	19,5	4,1
Výpočtový softvér 3						
	Z=0°	Z=90°	Δ (%)			
Ē _m (lx)	522	523	0,2			
U ₀ (-)	0,82	0,85	3,5			
UGR (-)	20,2	20,9	3,3			

Tab. 7 Vypočítané parametre osvetľovacieho systému v chodbe, kde bolo použité svietidlo č.2.

SVIETIDLO 3						
	Výpočtový softvér 1			Výpočtový softvér 2		
	Z=0°	Z=90°	Δ (%)	Z=0°	Z=90°	Δ (%)
Ē _m (lx)	524	521	-0,6	515	517	0,4
U ₀ (-)	0,63	0,66	4,5	0,65	0,62	-4,8
UGR (-)	16	17	5,9	16,7	16,9	1,2
Výpočtový softvér 3						
	Z=0°	Z=90°	Δ (%)			
Ē _m (lx)	553	550	-0,5			
U ₀ (-)	0,81	0,72	-12,5			
UGR (-)	19,9	22,3	10,8			

Tab. 8 Vypočítané parametre osvetľovacieho systému v chodbe, kde bolo použité svietidlo č.3.

SVIETIDLO 4						
	Výpočtový softvér 1			Výpočtový softvér 2		
	Z=0°	Z=90°	Δ (%)	Z=0°	Z=90°	Δ (%)
Ē _m (lx)	605	608	0,5	593	597	0,7
U ₀ (-)	0,71	0,65	-9,2	0,69	0,59	-16,9
UGR (-)	18	19	5,3	18,5	18,5	0,0
Výpočtový softvér 3						
	Z=0°	Z=90°	Δ (%)			
Ē _m (lx)	580	588	1,4			
U ₀ (-)	0,79	0,89	11,2			
UGR (-)	19,4	19,3	-0,5			

Záver

Z vypočítaných hodnôt vyplýva, že rotácia štvorcového svietidla o 90 stupňov má výrazný vplyv na vypočítané parametre osvetľovacieho systému. Najväčšia zmena v priemernej udržiavanej osvetlenosti sa dosiahla so svietidlom č. 4, ktoré bolo použitý v chodbe. Táto zmena bola -11,4%. Zmeny priemerného udržiavaného osvetlenia v triede boli minimálne. Významný vplyv rotácie svietidla bol aj na parameter U₀. Na chodbe bol najväčší rozdiel tohto parametra po otočení svietidla o 90 stupňov - 30,3% a v triede -16,9%. Parameter UGR bol tiež ovplyvnený zmenou natočenia svietidiel okolo osi Z. Najväčšia zmena UGR bola zaznamenaná v úzkej chodbe, kde bol rozdiel 23,5%. Výsledky ukazujú, že konštruktér musí tiež zvážiť možnosť, že osvetľovací systém bude realizovaný so svietidlami otočenými o 90 stupňov. Najmä v prípade štvorcových svietidiel a svietidiel s guľatým tvarom, kde nie je možné určiť pozdĺžnu os svietidla, by mal projektant overiť účinok rotácie týchto svietidiel.

LITERATÚRA

- [1] STN EN 12464-1. Svetlo a osvetlenie. Osvetlenie pracovísk. Časť 1: Vnútorne pracoviská. 2012.
- [2] CIE 198:2011. Determination of Measurement Uncertainties in Photometry. ISBN 978-3-902842-00-8.
- [3] STN EN 13032 - 2. Svetlo a osvetlenie: Meranie a vyhodnotenie fotometrických údajov svetelných zdrojov a svietidiel Časť 2: Prezentovanie údajov pre vnútorné a vonkajšie pracovné miesta. 2018.

Autori: Ing. Marek Mokráň, Mgr. Roman Dubnička PhD., doc. Ing. Dionýz Gašparovský PhD. Slovenská technická univerzita v Bratislave – Fakulta elektrotechniky a informatiky. Slovenská republika, e-mail :mokran.marek@gmail.com

Implementace inteligentního modulátoru na bázi OOK s Bias-Tee do svítidla veřejného osvětlení

Abstract. Tento článek přináší nové možnosti o využití svítidel veřejného osvětlení s možností implementace inteligentního modulátoru na bázi OOK s Bias-Tee pro zvýšení funkcionality a možností využití sítě VO v rámci extravilánů. V článku jsou představeny blokové schémata OOK modulátoru pro vysílací část s Bias-Tee včetně blokového schématu pro přijímací část. V dalších částech článku je pak zaměřena pozornost na ověření funkčnosti navrženého konceptu s cílem dosažení přenosu signálů pro účastníky silničního provozu skrze svítidla veřejného osvětlení.

Keywords: vysílač, přijímač, OOK, Bias-Tee, veřejné osvětlení.

Introduction

V dnešní době jsme svědky prudkého nárůstu přenesených dat ke koncovým stanicím či zákazníkům s tím, jak roste možnost zasíťování lokalit od mobilních operátorů či poskytovatelů internetu. To sebou však přináší nové výzvy v podobě šíření, pokud možno, bezztrátového signálu a tím pádem i otázky, kam umístit vysílací respektive přijímací jednotku. Jedna z cest, kudy by mohlo vést řešení je využití sítě stožárů veřejného osvětlení. Je známo, že s jakoukoliv výstavbou jsou spjaté složité administrativní a legislativní úkony, které značným způsobem prodražují a časově natahují možnou výstavbu.

S tím, jak se rozvíjí koncepty IoT či SMART prvky, jde ruka v ruce i možnost využití množství nástrojů a dat ze senzorů pro přenos k účastníkům silničního provozu. Pod pojmem množství nástrojů si lze představit nové možnosti řešení řízení křižovatek, optimalizace provozu na základě jeho vytížení od účastníků silničního provozu, přenos důležitých informací/telematických dat.

Někdo přistupuje k řešení SMART osvětlení skrze využití Raspberry-Pi 3 s kombinací Wi-Fi modulu [1].

Další možností je pak využití matice LED zdrojů záření a jejich modulace pomocí OOK skrze FPGA pole, kde bylo dosaženo 40 metrové komunikační vzdálenosti pro nízké přenosové rychlosti s šumem pozadí [2].

Byly zkoumány možnosti využití FPGA polí pro zhotovení prototypu vysílače na bázi Li-Fi pro komunikaci v reálném čase. Vysílačem byl zakomponován do svítidla veřejného osvětlení s cílem dosažení kvalitativních parametrů komunikačních a osvětlení současně [3].

Přímou implementací vysílače a přijímače pro přední světlotometry u aut skrze VLC při dosažení Q-faktoru 5 a BER=10⁻⁹ se zabývali jiní autoři s cílem přenosy ITS dat. Pro řízení jejich prototypů bylo využito standardní CAN sběrnice používaná u automobilů [4].

S ohledem na nové možnosti, které v sobě přináší využití polovodičových zdrojů záření, přichází i možnost stmívání s potlačením funkce blikání svítidel pomocí vhodného typu modulačního formátu a ovládní sítě VO. K tomu se nejlépe hodí např. DFSOOK založená na FSK pro nekoherentní detekci signálové složky. Bylo navrženo schéma dokazující využití DFSOOK pro VLC s PWM řízením stmívání. Vysílač byl otestován pro nízkou chybovost (BER) a delší dosah komunikace a osvětlení [5].

Naším cílem práce je navrhnout vysílač a přijímač na bázi OOK modulace s Bias-Tee pro svítidla veřejného osvětlení s dosažením přenosu užitečné signálové informace. V článku jsou představeny možnosti návrhu blokových schémat a měření záznamu signálů při nastavení různých modulačních rychlostí pro přenos dat.

Inteligentní modulátor OOK s Bias-Tee

Pro viditelné spektrum a OOK obecně platí, že data nelze vysílat přímo. Jednoduché spínání podle logických úrovní by mělo za následek pozorovatelné kolísání intenzity osvětlení. Při použití obvodu BIAS-TEE je navíc potřeba dodržet minimální pracovní frekvenci, takže by delší sekvence hodnot stejné úrovně mohly znamenat problém na vysílací straně.

Prvním úkolem je tedy úprava dat do formátu, který lze pomocí obvodu BIAS-TEE odeslat (Fig. 1). Důležitá je tedy volba vhodného kódovacího schématu, např. diferenciální Manchester, nebo jakékoliv jiné řešení, které bude udržovat stabilní střední hodnotu signálu a minimální pracovní frekvenci pro přenos. V rámci experimentů jsou, ale implementace podobných schémat složitější, tudíž byla zvolena možnost klíčování nosné. Data jsou namodulována na nosný signál vyšší frekvence a upraveny do symetrické podoby. Výhodou daného řešení je, že lze použít originální napájecí zdroj svítidla veřejného osvětlení a v případě poruchy komunikační části nebude přerušena osvětlovací funkce VO. To je velmi podstatné pro provozovatele a organizační celky sítě VO v rámci extravilánů.

Modulace OOK (On-Off Keying) výkonové LED

Modulace OOK patří mezi nejjednodušší typy, kde logická hodnota „1“ je zakódována jako světelný pulz. Z důvodů snížení složitosti modulátoru se používají pulzy s pravouhlým tvarem. Přenosová rychlost jednoho bitu je prezentována jako $R_b = 1/T_b$, kde T_b označuje trvání jednoho bitu. Důležitým parametrem (kromě BER), který je nutné zvažovat v každém modulačním schématu, je požadavek na šířku pásma. Šířka pásma je odhadována spektrální hustotou signálu, kterou dostaneme pomocí Fourierovy transformace s využitím autokorelační funkce. Spektrální hustota signálu modulovaného pomocí OOK bez korelace na vstupu má tvar [6]:

$$(1) \quad S(f)_{OOK} = \frac{i_s^2}{4R_b} \operatorname{sinc}^2\left(\frac{\pi f}{R_b}\right) \left[1 + R_b \sum_{k=-\infty}^{\infty} \delta(f - kR_b) \right],$$

kde: $\operatorname{sinc}(x) = \sin(x)/x$, $\delta(x)$ – Dirakova funkce, i_s – průměrná hodnota fotoelektrického proudu vygenerovaného ve zdroji optického záření, f – frekvence.

Protože délka trvání pulzu je konečná, sahá spektrum k nekonečnu. Pulz s nulovou hodnotou frekvence odpovídá stejnosměrné složce a reprezentuje energetickou bilanci. Se snižující se hodnotou pulzu δ roste potřeba na šířku

pásmu. Pro hodnotu $\delta = 0,5$ obvykle nazýváme takové modulační schéma jako OOK RZ (s návratem k nule) a

dokáže zvýšit šířku pásma na dvojnásobek oproti výše uvedenému modulačnímu schématu OOK NRZ.

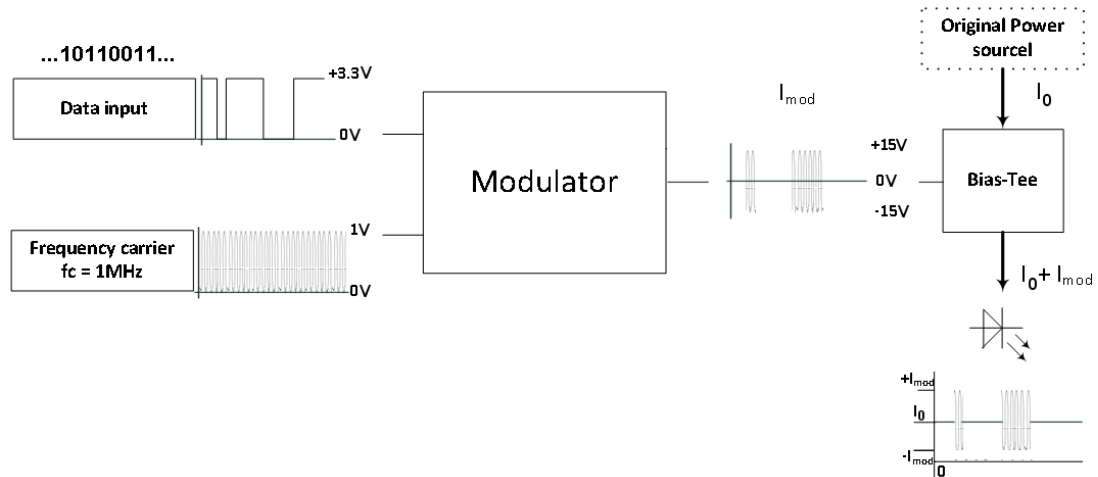


Fig.1. Blokové schéma vysílací části.

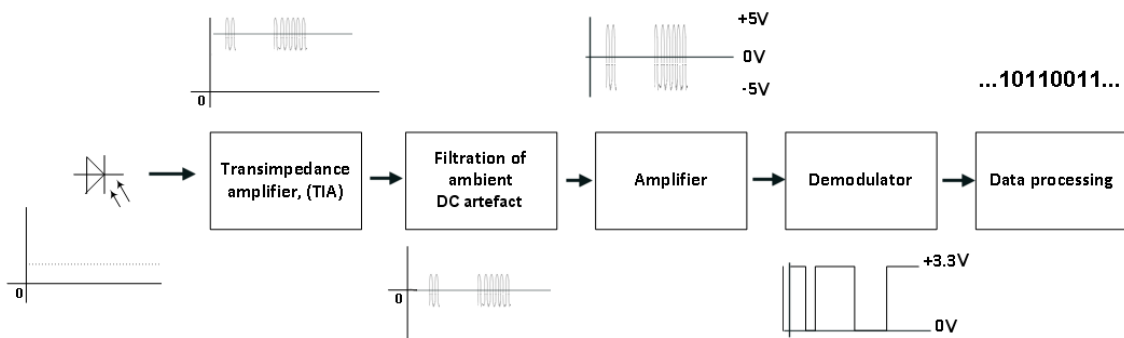


Fig.2. Blokové schéma přijímací části.

Přijímací část systému

Přijímač (Fig. 2) má za úkol přijímat signál i v nehostinných podmínkách denního osvětlení, kdy je signál ze svítidla VO, ve značném nepoměru k pravděpodobnému rušení přímého slunečního záření. Napájecí napětí musí být kompatibilní s 12V palubním napětím automobilu, tudíž je na přijímací straně k dispozici pouze +/-6V. Navíc zde je podmínka minimální modulační frekvence 1 MHz. Během detekce nesmí dojít k saturaci fotodetektoru parazitními zdroji signálu, z toho důvodu musí být úvodní transimpedanční zesilovač nastaven tak, aby byl schopen přijímat data i při přímém slunečním osvětlení. Část problému pomůže vyřešit filtrace nepotřebných částí spektra signálu (necháme si pro komunikaci pouze modrou barvu), nicméně nastavení vyšší citlivosti pak má za následek negativní dopady v podobě omezení maximálních pracovních frekvencí. Po provedení filtrace je signál zesílen tak, aby byly hodnoty signálu co nejvyšší (v tomto specifickém případě je saturace signálu přímo žádoucí), ale šum nesmí být vyšší, než je rozhodovací úroveň pro zpracování signálu. Díky tomu je systém schopen pracovat ve velmi velkém dynamickém rozsahu a není omezen potřebami vyhodnocování úrovní podle amplitudy signálu. Blok demodulátoru má za úkol transformovat signál na datový tok, kompatibilní s vyhodnocovací jednotkou. Přijátá data jsou pak zpracována dle aktuálních potřeb – v tomto případě pomocí webové aplikace, nicméně není problém data předávat např. řídicí jednotce, nebo infotainmentu automobilu [7].

Možnosti nastavení

Pro potřeby experimentování v reálném provozu bylo navrženo webové rozhraní pro přijímací i vysílací část (Fig. 3). Vysílací část webového rozhraní umožňuje uživateli zvolit text zprávy, přenosovou rychlost a modulační frekvenci. Přijímací části pak stačí jednoduše nastavit shodnou přenosovou rychlost a poté už se automaticky zobrazí přijatá data přenesená skrze svítidlo veřejného osvětlení.

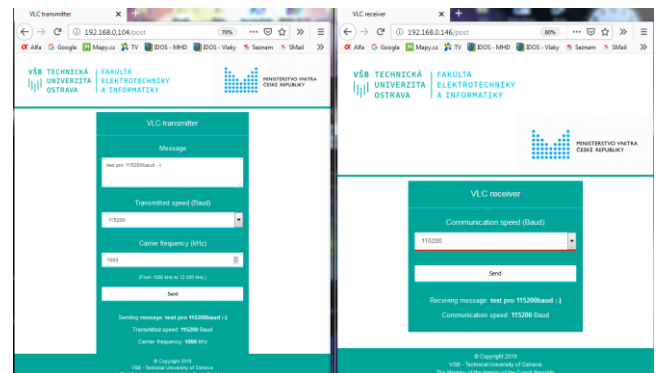


Fig.3. Vizualizace webového rozhraní pro ovládání a nastavení přenosových rychlostí a dat pro inteligentní modulátor s Bias-Tee.

Optimální nastavení systému je přizpůsobeno pro 1MHz nosnou frekvenci a přenosovou rychlost 115200 Baud.



Fig.4. Komunikace při 115kbaud.

Při vyšších úrovních signálu pak lze teoreticky s navrženým systémem dosáhnout až na 512kbaud. Na průběhu už je ale patrné, že se již signál nestíhá plně přizpůsobovat tomu vysílanému a na řadě tak bude elektronika a vhodné nastavení rozhodovacích úrovní.



Fig.5. Průběh komunikace při 512kbaud.

V případě slabého signálu, kdy ani vysoké zesílení signálu nestačí, dojde k omezení amplitudy signálu. Pokud v tomto případě nedojde k překročení rozhodovací úrovně vyhodnocovací elektroniky, tak dojde ke ztrátě dat.



Fig.6. Průběh komunikace při slabém signálu.

Podobný následek bude mít na signál i volba zbytečně vysoké nosné frekvence, protože zesílení zesilovače klesá s rostoucí frekvencí. V kombinaci s nízkými výkonovými úrovněmi signálu pak snadno dosáhneme hranic na jednotkách MHz. Pro konstrukci bylo použito několik kaskádově zapojených zesilovačů s šířkou pásma 100MHz, kdy zesílení jednotlivých stupňů nesmělo být větší než 15.

Závěr

Komunikační systém na bázi VO je schopen snadno přenášet data k účastníkům silničního provozu. Omezení z hlediska přenosových rychlostí jsou, z větší části, závislé na fotodetektoru.

Podstatou systému je rychlé předání telemetrických informací, například při průjezdu vozidla pod svítidlem VO. Potenciál využití takového systému není jen v informacích o dopravě, ale například lze využít i pro navigaci. Svítidlo může snadno předávat informace o své poloze, bez nutnosti přítomnosti signálu GPS. Systém by pak mohl fungovat jako doplněk navigace v husté zástavbě (kde mívá GPS problémy), nebo například i v podzemních parkovištích [7].

Systém však lze využít i opačným směrem. Pokud by se doplnil o přenos telemetrie směrem ke svítidlu VO, pak by mohl například reagovat na aktuálně nastavený cíl navigace. Při malém provozu v nočních hodinách by tak mohl systém dynamicky měnit výkon svítidel VO podle aktuálních požadavků. Elektrická energie by se tak teoreticky mohla využívat úsporněji, při zachování potřebné viditelnosti účastníků silničního provozu.

REFERENCES

- [1] MAGULURI, Lakshmana Phaneendra, Yaswanth Sri Venkatesh SORAPALLI, Lokesh Kumar NAKKALA a Venkat TALLARI. Smart street lights using IoT. In: *2017 3rd International Conference on Applied and Theoretical Computing and Communication Technology (ICATccT)*. IEEE, 2017, s. 126-131 DOI: 10.1109/ICATccT.2017.8389119. ISBN 978-1-5386-1144-9.
- [2] LOURENCO, Nuno, Domingos TERRA, Navin KUMAR, Luis Nero ALVES a Rui L AGUIAR. Visible Light Communication System for outdoor applications. In: *2012 8th International Symposium on Communication Systems, Networks & Digital Signal Processing (CSNDSP)*. IEEE, 2012, s. 1-6. DOI: 10.1109/CSNDSP.2012.6292744. ISBN 978-1-4577-1473-3.
- [3] BAEZA, Victor Monzon, Matilde SANCHEZ-FERNANDEZ, Ana Garcia ARMADA a Antonio ROYO. Testbed for a LiFi system integrated in streetlights. In: *2015 European Conference on Networks and Communications (EuCNC)*. IEEE, 2015, s. 517-521. DOI: 10.1109/EuCNC.2015.7194129. ISBN 978-1-4673-7359-3.
- [4] KIM, Deok-Rae, Se-Hoon YANG, Hyun-Seung KIM, Yong-Hwan SON a Sang-Kook HAN. Outdoor Visible Light Communication for inter-vehicle communication using Controller Area Network. In: *2012 Fourth International Conference on Communications and Electronics (ICCE)*. IEEE, 2012, s. 31-34. DOI: 10.1109/CCE.2012.6315865. ISBN 978-1-4673-2493-9.
- [5] KNOBLOCH, Florian. Noncoherent dimming frequency shift On-Off keying scheme for low data rate optical street lighting communication. In: *2015 17th International Conference on Transparent Optical Networks (ICTON)*. IEEE, 2015, 2015, s. 1-5. DOI: 10.1109/ICTON.2015.7193306. ISBN 978-1-4673-7880-2.
- [6] CARLSON, A. B., PAUL, B. C., RUTLEDGE, J. *Communication System: An Introduction to Signal and Noise in Electrical Communication*. McGraw-Hill, 2001, 4 edition, 864 p. ISBN: 0070111278.
- [7] SCHAAL, T., ZEEB, E. *Optical Free Space Communication with LED Rear Lights*. 5th International Symposium Progress in Automobile Lighting, Proc. PAL2003, pp.942-954, Darmstadt, 2003.

Acknowledgement

The authors would like to acknowledge the financial support of the Projects no. SP2019/80 and SP2019/143, VI20172019071. This article was prepared within the frame of sustainability of the project no. CZ.1.07/2.3.00/20.0217 within the frame of the operation programme "Education for competitiveness" that was financed by the Structural Funds and from the state budget of the Czech Republic. This work was supported by the European Regional Development

Fund in the Research Centre of Advanced Mechatronic Systems no. CZ.02.1.01/0.0/0.0/16_019/0000867.

Authors: *Dr. Stanislav Hejduk, VSB–Technical University of Ostrava, Faculty of Electrical Engineering and Computer Science, Department of Telecommunications. 17. listopadu 2172/15, 708 00 Ostrava, Czech Republic. E-mail: stanislav.hejduk@vsb.cz.*
Mr. Tomas Stratil, VSB–Technical University of Ostrava, Faculty of Electrical Engineering and Computer Science, Department of Telecommunications. 17. listopadu 2172/15, 708 00 Ostrava, Czech Republic. E-mail: tomas.stratil@vsb.cz.
Dr. Jan Latal, VSB–Technical University of Ostrava, Faculty of Electrical Engineering and Computer Science, Department of Telecommunications. 17. listopadu 2172/15, 708 00 Ostrava, Czech Republic. E-mail: jan.latal@vsb.cz.

Mr. Lukas Hajek, VSB–Technical University of Ostrava, Faculty of Electrical Engineering and Computer Science, Department of Telecommunications. 17. listopadu 2172/15, 708 00 Ostrava, Czech Republic. E-mail: lukas.hajek@vsb.cz.
Mr. Ales Vanderka, VSB–Technical University of Ostrava, Faculty of Electrical Engineering and Computer Science, Department of Telecommunications. 17. listopadu 2172/15, 708 00 Ostrava, Czech Republic. E-mail: ales.vanderka@vsb.cz.
Asoc. prof. Tomas Novak, VSB–Technical University of Ostrava, Faculty of Electrical Engineering and Computer Science, Department of Electrical Power Engineering. 17. listopadu 2172/15, 708 00 Ostrava, Czech Republic. E-mail: tomas.novak1@vsb.cz.
prof. Karel Sokansky, VSB–Technical University of Ostrava, Faculty of Electrical Engineering and Computer Science, Department of Electrical Power Engineering. 17. listopadu 2172/15, 708 00 Ostrava, Czech Republic. E-mail: karel.sokansky@vsb.cz.

Establishing Confidence Intervals for Luminous Flicker Measurements

Abstract. This paper aims to assess the effect of measurement noise on the evaluation of flicker metrics. We argue that the standard flicker metric – the amplitude of fluctuation of the luminous flux (Percentual Flicker) – is subject to bias when evaluated from noised measurements without proper noise treatment. For the purpose of evaluating the confidence interval, we discuss the well known GUM approach for estimating measurement uncertainty. We also propose a simple algorithm to estimate unbiased value of amplitude of fluctuation of the luminous flux. We demonstrate the usability of this algorithm on measurement data from TUL laboratory.

Keywords: Flicker, Measurement Uncertainty, IEEE 1789-2015, Confidence Intervals.

Introduction

Since the appearance of the solid state lighting systems in the recent decade, the flicker phenomenon became one of the concerns with these systems. The temporal characteristics of the produced light (flicker) can be significantly different from incandescent and fluorescent lamps. Not only that the lamps respond differently to the mains voltage distortion, but also, depending on the driver, luminous flux temporal variations at various frequencies may occur under ideal supply conditions. It was necessary to look for new ways to evaluate flicker.

The IEEE Standard 1789-2015 [1] and other preceding literature clearly indicate that such phenomena are very common with LED lighting. The IEEE standard suggests two metrics to evaluate the flicker level, the amplitude of fluctuation of the luminous flux (Percent Flicker):

$$(1) FP = \frac{\max_{t \in (0;T)} \Phi(t) - \min_{t \in (0;T)} \Phi(t)}{\frac{\max_{t \in (0;T)} \Phi(t) + \min_{t \in (0;T)} \Phi(t)}{2}} \cdot 100 (\%),$$

and the Flicker Index:

$$(2) FI = \frac{A_1}{A_2},$$

where

$$(3) A_1 = \int_{\Gamma} (\Phi(t) - \bar{\Phi}) dt, \quad \Gamma = \{t \in (0;T): \Phi(t) > \bar{\Phi}\},$$

$$(4) A_2 = \int_0^T \Phi(t) dt,$$

$\Phi(t)$ is the luminous flux waveform and T is an integer multiple of a period of fundamental frequency of the analysed flux waveform. Graphical interpretation of these definitions is in Fig. 1. These metrics reflect the shape of the flux waveform independently on the frequency provided the fundamental frequency is known.

Standard [1] gives frequency dependent safety limits for the FP . For example, to stay at no observable effect level, the FP must be smaller than $0.01f$ when $f < 90$ Hz. This means that, for example, for fundamental frequency $f = 10$ Hz, the FP must be < 0.1 %. It is obvious that evaluating compliance with the standard requires measurements with sufficient accuracy and known uncertainty.

In the following text, we will denote $\max_{t \in (0;T)} \Phi(t)$ in a simplified manner as $\max \Phi$, similarly with $\min \Phi$.

In this paper, we analyse the impact of the measurement noise on flicker evaluation. It will be shown that the presence of noise introduces a bias in flicker measurements, systematically overestimating the results. Several approaches of bias reduction are presented, tested and compared.

The GUM Approach

The Guide to the Expression of Uncertainty in Measurements [2] (GUM) establishes a standardized approach to estimate measurement uncertainties. It works

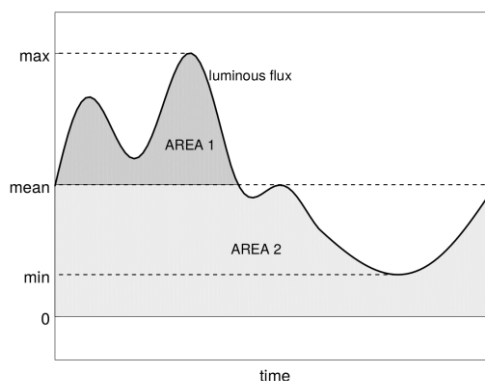


Fig. 1: Demonstration of calculating standard flicker quantities

with the term "standard uncertainty", denoted $u(X)$, which is in fact an estimate of standard deviation of the distribution of given quantity X . When the desired quantity is calculated using a multivariate function, the GUM suggests a way to approximate the error propagation from uncertainties of individual input parameters.

The GUM then also works with the term "expanded uncertainty", denoted $U(X)$, which is an estimate of a (usually a 95%) confidence interval based on $u(X)$ and on assumptions about the distribution of quantity X . With the assumption of normality, the expanded uncertainty is calculated as

$$(5) U(X) = q u(X),$$

choosing $q = 2$. In the following text, we show how this applies to flicker measurements.

Calculating the FP and FI

The flicker metrics are calculated from a sampled signal, thus, the FP uncertainty estimation requires the knowledge of the uncertainty of individual signal samples. The signal samples may be noised in several ways; particularly, each of the samples may be contaminated with two components of noise: 1) noise with constant estimable variance dependent on the data acquisition device (DAQ) measurement range, 2) noise with variable estimable variance dependent on the DAQ actual reading.

Further, with some data acquisition devices, there can be an offset of the entire signal. This offset, which we denote as O , is an unknown value, sometimes with known distribution properties, added to the signal.

In order to evaluate the FP (1), one needs the maximum and minimum value of the signal. When one simply looks for a minimum in an array of data samples which are subject to noise, the minimum will be underestimated

depending on the noise properties, waveform shape and sampling rate. The same holds for the maximum. These operators are systematically biased. Establishing the mean value (bias) and the standard deviation (uncertainty) of the minimum and maximum reading analytically is a complex task dependent on the waveform shape.

In practice, the approach requires to establish the uncertainty of $\max\Phi$ and $\min\Phi$ first. The overall uncertainty of FP , denoted as $u(FP)$, would then be identified from the law of error propagation as given in [2]:

$$(6) \quad u(FP) = \left[\left(\frac{\partial FP}{\partial \max\Phi} u(\max\Phi) \right)^2 + \left(\frac{\partial FP}{\partial \min\Phi} u(\min\Phi) \right)^2 + \left(\frac{\partial FP}{\partial O} u(O) \right)^2 \right]^{\frac{1}{2}}$$

The necessary partial derivatives of (1) are easy to calculate using standard calculus.

In order to evaluate the FI (2), one has to evaluate the integrals (3) and (4). Integrating over sampled signal may be implemented via well known Newton-Cotes formulae. The zero order formula (known also as rectangular rule) is a simple summation. It can be used as a worst-case scenario from among the NC formulae, and as such it is proper for uncertainty estimation. For (4) we will get:

$$(7) \quad A_2 \approx \delta t \sum_{k=1}^N \Phi[k],$$

where $\Phi[k]$ is k -th data sample, N is the number of samples in the fundamental period of the analysed signal, and δt is the time step. This value is affected by noise, but the effect can be estimated, taking the partial derivatives of (5) w.r.t. k -th data point and applying the law of error propagation [2].

For (3), the evaluation is more problematic, as the integration interval depends on the mean of the signal. With the noised signal, not only that the mean of the signal is affected by the noise, thus, corrupting the integration interval, but also some signal samples may be erroneously considered larger than Φ or smaller than Φ .

Generally, using the GUM approach itself for analytic estimation of the flicker uncertainties is only possible when noise properties of all individual samples are known. Even then it is complicated due to reasons stated above. Moreover, it does not offer means to estimate the unbiased value of $\max\Phi$ and $\min\Phi$.

Parabola Fitting Approach

Additionally to estimating the uncertainty of the extreme values, we propose an approach allowing estimating also the unbiased value of the luminous waveform extremes, thus, easing the process of calculating unbiased value of FP . A fixed range of N data samples surrounding the hypothesized extreme is fitted with a parabola using linear regression methods such as Ordinary Least Squares (OLS) or, in the case of unequal (known) variances of the data samples, Weighted Ordinary Least Squares (WOLS).

The parabola model will have the form

$$(8) \quad y_i = \beta_0 + \beta_1 x_i + \beta_2 x_i^2 + \epsilon_i$$

for i -th data sample. The ϵ_i is assumed to come from a symmetrical distribution with zero mean and variance equal to the square of the standard uncertainty $u(y_i)$. Composing a diagonal weighing matrix

$$(9) \quad \mathbf{W} = \text{diag} \left(\frac{1}{u^2(y_1)}, \frac{1}{u^2(y_2)}, \dots, \frac{1}{u^2(y_N)} \right),$$

where $u(y_i)$ is the standard uncertainty of i -th data sample, the WOLS estimate can be obtained as [3]:

$$(10) \quad \hat{\beta} = (\mathbf{X}^T \mathbf{W} \mathbf{X})^{-1} \mathbf{X}^T \mathbf{W} \mathbf{y},$$

where \mathbf{y} is the analysed signal subset and \mathbf{X} is a second order Vandermonde matrix composed of the signal time stamps. For an example of a DAQ hardware allowing estimation of sample-based uncertainty, see [4].

From the known noise properties of the data samples, this method also allows to estimate the variances of the parabola parameters [3]

$$(11) \quad \text{Var}(\hat{\beta}) = (\mathbf{X}^T \mathbf{W} \mathbf{X})^{-1}.$$

In case of the lack of information on $u(y_i)$, one can put

$$(12) \quad \mathbf{W} = \frac{1}{s_y} \mathbf{I}_N,$$

where \mathbf{I}_N is the identity matrix of dimension N and s_y is an estimate of the standard deviation of y_i . The WOLS estimator then reduces to OLS estimator.

The extreme of the fitted parabola, \hat{y}_{ex} , is then found easily from (6) and (8) using common calculus. Applying the GUM approach, we can estimate the uncertainty of \hat{y}_{ex} , which we denote as $u(\hat{y}_{ex})$, from $\text{Var}(\hat{\beta})$:

$$(13) \quad u(\hat{y}_{ex}) = \sqrt{\sum_{i=0}^2 \left(\frac{\partial \hat{y}_{ex}}{\partial \beta_i} \right)^2 \text{Var}(\hat{\beta}_i)},$$

with the partials easily obtained from the analytic evaluation of \hat{y}_{ex} .

The assumptions required for the above described

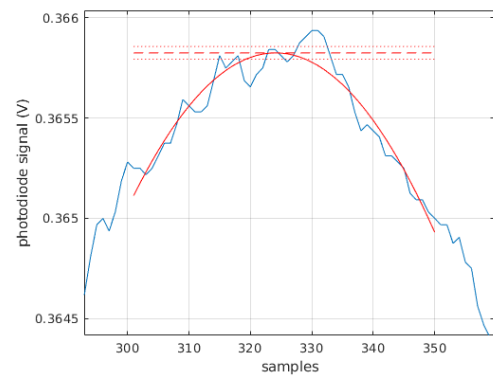


Fig. 3: Parabola fitted through the data in close proximity of the peak; parabola maximum is shown (dashed line) with its 95% confidence interval (dotted line)

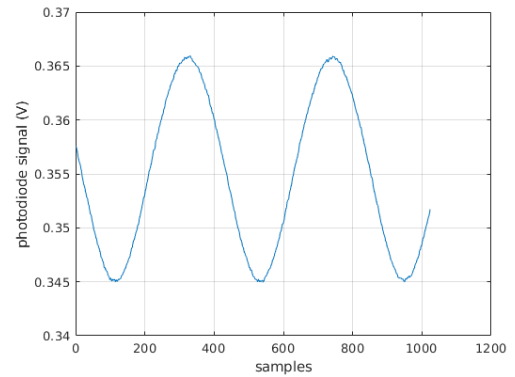


Fig. 2: Signal used for testing the proposed approach

calculations are that the noise constraining the data should be zero-mean with roughly normal distribution. This can be easily verified from the residuals of the fitting process. Further, the calculations can only be applied on a waveform which is similar to parabola around its extremes.

The described process is insensitive to the choice of a data subset to be included in the extreme estimation process, as long as the extreme can be found in the analyzed interval.

Real Data Study

In this section, we study the effect of noise on the evaluated level of flicker from a particular measurement campaign. The analysed signal represents variations of the luminous flux produced by fluorescent tubes supplied by

electronic ballast and flickering at double the AC frequency, i.e. 100 Hz.

The data set was recorded using a photo-diode amplifier system built around a Cypress PSOC low-power system. The photo-diode is an IR-block Silonex SLD 70bg2 [5] centred at 550 nm with a transfer curve very close to CIE1931 'Y' curve. The amplifier output is towards two devices of the PSOC: a high resolution sigma-delta working at 16 bits with a sampling rate of 41 666 Hz, and a fast SAR converter whose acquisition speed may reach 100 kHz.

Table 1: Naïve calculation and an unbiased estimate of FP

Approach	quantity	value	$u(FP)$	$U(FP)$	unit
naïve	$\min\Phi$	344.968			mV
	$\max\Phi$	365.937			mV
	FP	2.9496			%
parabola	$\min\Phi$	345.070	17e-3		mV
	$\max\Phi$	365.826	15e-3		mV
	FP	2.920	3e-3	6e-3	%

The dataset is shown in Fig. 2. From the figure it is apparent that the modulation is roughly sinusoidal. Table 1 shows comparison of the naïve calculation of FP and the parabola technique used to estimate unbiased values of $\min\Phi$ and $\max\Phi$ and, finally, the FP . The number of involved data points N was chosen 50. A naïve calculation of FI yields $9.0904 \cdot 10^{-3}$.

The fitted parabola arc is shown in Fig. 3. The maximum of the parabola is shown by a dashed line. Its 95% confidence interval is shown by a pair of dotted lines.

Discussion

The proposed approach was able to rectify the biased value $FP = 2.9496\%$ to $FP = (2.920 \pm 0.006)\%$. It is apparent that the naïve value was outside the 95% confidence interval estimated by the parabola fitting approach, the relative error being approx. 1%.

The described approach is, however, only limited to waveforms whose shape can be approximated by a parabola in close proximity of the extremes. Naturally, the approach cannot help overcome the difficulties with calculating the FI .

Comparing this technique to other means of fighting acquisition noise which are also usable for flicker evaluation (e.g., application of low-pass or median filter, working with Fourier fundamental of the signal), this approach does not require one to know the fundamental frequency of the signal oscillations and it allows to estimate the confidence interval, which would be impossible with, for example, plain filtering.

Conclusion

This paper aims to draw attention to the lack of standardized approach to associate measurement

uncertainty to flicker level evaluations. Particularly the luminance based flicker metrics defined in IEEE Standard 1789-2015 [1] are discussed. Computational difficulties with calculating the FI are described, as well as noise-induced bias of the FP .

The paper comes up with an approach suitable, in some particular cases, to estimate an unbiased value of FP along with an uncertainty estimate compatible with the GUM approach [2]. The approach is based on finding a parabola fit through the data in close proximity of the extreme. The fit residuals are used to extract information on noise, allowing construction of confidence interval of the FP .

Future work in the field will concentrate on finding a more general solution suitable for both FP and FI without the parabola-similarity constraint.

REFERENCES

- [1] IEEE, 'IEEE 1789-2015 IEEE Recommended Practices for Modulating Current in High-Brightness LEDs for Mitigating Health Risks to Viewers', IEEE Std 1789-2015, pp. 1–80, Jun. 2015.
- [2] Joint Committee for Guides in Metrology, 'Evaluation of measurement data – Guide to the expression of uncertainty in measurement'. 2008.
- [3] C. J. DiCiccio, J. P. Romano, and M. Wolf, 'Improving Weighted Least Squares Inference', University of Zurich, Department of Economics, Nov. 2017.
- [4] National Instruments, 'NI USB 6212 Device Specifications'. 25-Sep-2017.
- [5] Silonex, 'SLD-70BG2 – Infrared Rejection Filter Planar Photodiode'. Online: <http://www.alldatasheet.com/datasheet-pdf/pdf/193307/SILONEX/SLD-70BG2.html>

Authors: Ing. Leoš Kukačka, Ph.D., Technical University of Liberec, Faculty of Mechatronics, Informatics and Interdisciplinary studies, Institute of Mechatronics and Computer Engineering, Studentská 1402/2, Liberec, Czech Republic, e-mail: leos.kukacka@tul.cz
 Dr.Ir. Pascal Dupuis, Université de Toulouse, LAPLACE, UMR 5213 (CNRS, INPT, UPS), 118 rte de Narbonne, 31062 Toulouse, France; Kawantech, 6 Rue Françoise d'Eaubonne, 31200 Toulouse, France, pascal.dupuis@laplace.univ-tlse.fr
 prof. Ing. Michal Vik, Ph.D., Technical University of Liberec, Faculty of Textile Engineering, Laboratory of Color and Appearance Measurement, Studentská 1402/2, Liberec, Czech Republic, michal.vik@tul.cz

Možnosti využití open source řešení pro chytré veřejné osvětlení

Abstract. Tento článek si klade za cíl seznámit s možnostmi využití Open Source hardwarových a softwarových řešení pro vytvoření chytrého osvětlení pro extravilány. Jsou popsány možnosti využití dostupných technologií jako jeho softwarové řešení pro implementaci do sítě veřejného osvětlení.

Keywords: open source, LED, WiFi, MQTT, IoT, DALI, SMART.

Úvod

V posledních letech se celosvětově rozmáhá trend instalace a nasazení chytrého veřejného osvětlení pro extravilány. Díky rozvoji LED technologie a levných zařízení, zajišťující internetovou konektivitu pomocí nejrůznějších technologií, je dnes velmi jednoduché implementovat nebo vyvinout chytré osvětlení pro extravilány. Existuje mnoho hotových technologických řešení pro chytré osvětlení, ale většina z nich je uzavřená a vlastnická práva na řízení či modifikace jsou na konkrétní společnosti, která si své unikátní řešení právně ošetřuje. Ale je tu i možnost využití open source nástrojů pro vytvoření vlastního řešení chytrého osvětlení. Open Source řešení v oblasti veřejného osvětlení může přinést možnost rychlejšího vývoje této problematiky a usnadnění implementace a vývoj nových technologií v oblasti chytrého veřejného osvětlení.

Definice Open Source řešení

Open Source řešení je postaveno na hardwaru a softwaru, ke kterému jsou veřejně dostupné technické informace a zdrojové kódy. Velkou výhodou tohoto řešení je to, že se ve většině případů vytvoří komunita developerů, kteří dané open source řešení zadarmo rozvíjí ve svém volném čase. Člověk potom může jednoduše nalézt již hotové řešení pro jeho danou aplikaci. Díky tomu je vývoj technologie mnohem rychlejší a levnější. Díky kooperaci více vývojářů a otevřenému kódu je zajištěno zabezpečení celkového systému, jelikož je jednodušší odhalit bezpečnostní hrozby, stejně jako chyby open source systému, který je testován uživateli po celém světě. [1] Pro kooperaci vývoje open source softwaru i hardwaru je ve většině případů využita platforma GitHub, kde mohou vývojáři přispívat do různých projektů, ať už samotným vývojem, testováním nebo kompletováním podrobné dokumentace a návodů. V této platformě vždy majitel/správce projektu dohlíží na kompletaci. Kontroluje a schvaluje hotové části projektu od vývojářů, aby přispívající vývojář nevnášel do projektu nechtěné věci, nebo bezpečnostní hrozby. Je zde i část pro běžné uživatele, kteří zde mohou nahlásit případnou chybu či napsat vlastní myšlenku k zlepšení projektu.

Definice a popis Open Source Hardware

Nejznámější platformou pro vývoj chytrých zařízení je jednoznačně Arduino. Tato platforma využívá 8 bitové mikroprocesory od firmy Atmel. Platforma Arduino obsahuje mnoho druhů variant Hardwarového řešení, které je možné rozšířit o spoustu různých typů modulů, ať už se jedná o senzory, nebo například i modul umožňující připojit nějaký hardwarové řešení k internetu. Platforma Arduino má obrovskou uživatelskou základnu a dá se využít nespočet různých přídatných modulů a SW řešení. Další přídatné moduly nabízí celosvětově již mnoho firem, kde

nejznámější z nich je Adafruit. Ke všem modulům je od výrobce poskytnuta velmi podrobná dokumentace. [3]

Další známou platformou jsou WiFi a bluetooth moduly od firmy Espressif Systems. Starší moduly s označením ESP8266 nabízí certifikovanou WiFi, 32 bitový mikroprocesor, 2MB flash paměť a mnoho rozhraní, jako jsou PWM výstupy, i2c sběrnice, Sériová linka a další. [4] Novější model ESP32 který nabízí kromě certifikované WiFi také Bluetooth, disponuje dvoujádrovým 32 bitovým mikroprocesorem, kde první jádro zpracovává protokolovou část pro WiFi a Bluetooth a druhé jádro pak zpracovává aplikační požadavky. [5] Firma Espressif Systems poskytuje ke všem svým zařízením podrobnou dokumentaci i softwarovou platformou.

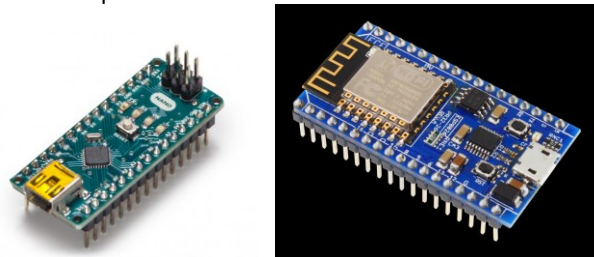


Fig. 1. Arduino Nano a ESP8266 dev modul

Další rozšířená bezdrátová technologie pro chytré osvětlení je Zigbee, kterou například využívá chytré osvětlení od firmy IKEA. Dá se pořídit mnoho modulů podporujících tuto technologii a s kombinací s Arduino platformou je možné dosáhnout jakéhokoliv vlastního řešení. Nevýhodou této technologie je, že je potřeba navíc HUB, ke kterému se zařízení připojí. Tento HUB se poté chová podobně jako routeru řešení s WiFi připojením.

Open Source řešení nezůstává pozadu ani s možností využití mobilních sítí jako např. GSM. GSM modul SIM800L, umožňuje propojit mikrokontroléru pomocí sériové linky k GSM sítím. Při propojení s již zmiňovanou platformou Arduino je velmi snadné vytvořit hotové řešení s připojením k GSM síti. Zde se zase projevuje velká výhoda Open Source řešení v nespočet návodů od ostatních uživatelů a developerů. [6]

Poslední ale ne nejhorší open source HW je velmi známý mini počítač Raspberry pi. Tento počítač velikostí platební karty disponuje u nejnovější verze čtyřjádrovým 64bitovým procesorem o taktu 1.5 GHz a až 4GB operační paměti RAM. Co se týče konektivity, nabízí WiFi 2.4 GHz i 5 GHz, Bluetooth 5.0, Gigabit Ethernet, 2x USB 3.0 a 2x USB 2.0 a 40 GPIO pinů obsahující například i2c sběrnice, PWM výstupy a další. Lze zde připojit také externí monitor pomocí HDMI konektoru. Takové zařízení není vhodné z důvodu velkého výpočetního výkonu a ceny umístit do svítidla veřejného osvětlení, ale může sloužit jako centrální prvek například pro daný segment svítidel veřejného osvětlení. [7]

Open Source Software

K chytrým zařízením nepatří jen Hardwarová část, ale také je zde potřeba určité softwarové řešení. Ať už se jedná o kód ovládající malý mikroprocesor ve smart svítidle veřejného osvětlení, tak o mnohem složitější software zajišťující vzdálenou správu VO, analýzu dat a další.

V případě programování mikroprocesorů umístěných uvnitř chytrého osvětlení, je nejznámější platformou již zmiňované Arduino. Nejedná se totiž jen o HW platformu, ale také o SW platformu, vyvinutou z jazyku C. Právě Arduino IDE a nespočet knihoven jak už oficiálních od výrobce tak od ostatních uživatelů vytváří obrovský komplexní nástroj pro vývoj chytrých zařízení. Výhodou vytváření SW řešení pomocí Arduino je i to, že Arduino IDE podporuje také mnoho dalších HW modulů, jako například zmiňované WiFi moduly od firmy Espressif Systems. Další známou SW platformou pro programování mikroprocesorů je MicroPython. Jedná se o SW platformu umožňující programovat mikroprocesory pomocí jazyka Python. Tato SW platforma má jako Arduino také poměrně velkou uživatelskou základnu a je zde mnoho knihoven a návodů. Pro programování mikroprocesorů existuje další spousta platform a frameworků, které usnadní programování a práci při vývoji, ale účelem tohoto článku není poukázat na všechny možné možnosti. [3]

Pro případ open source softwaru pro řídicí systém chytrých zařízení je spousta. Některá řešení jsou komplexnější, jiná zase nabízí jen dílčí části celého systému. Mezi ty komplexnější patří například Devicehive, Thingsboard, Kaaproject, SiteWhere a Thingier. [8, 9, 10, 11, 12] Toto je malý výčet komplexních systému pro správu a řízení iot zařízení. Tyto komplexní systémy řeší komunikaci s jednotlivými koncovými zařízeními, jejich kompletní správu. Většina z nich také nabízí určité uživatelské rozhraní pro kontrolu celého systému, řeší také autorizaci a autentizaci uživatelů a zařízení, tak aby nikdo neoprávněný nemohl do systému zasahovat a také, aby žádné cizí zařízení nemohlo využívat váš systém. Díky dalším protokolům jako je například SSL je zde i řešeno zabezpečení přenosu informací. Většina open source platform pro IoT běží na operačních systémech Linux, které jsou také open source a zdarma, není proto potřeba kupovat žádnou licenci operačního systému, ani dalšího softwaru, jediné co je potřeba koupit je potřebný hardware, na kterém všechny potřebné služby poběží. [2]

Pro komunikaci mezi Serverem, neboli řídicí jednotkou a koncovým zařízením lze využít mnoho komunikačních protokolů nacházejících se na aplikační vrstvě TCP/IP modelu. Protokol MQTT je jeden z nejjednodušších a

osvětlení, byl vytvořen jednoduchý koncept se zařízením, umožňující vzdálenou správu a kontrolu veřejného osvětlení. Zařízení využívá WiFi připojení pro vzdálené řízení svítidla. Bylo vytvořeno i jednoduché webové rozhraní pro uživatelsky jednodušší a přehlednější řízení. Tento jednoduchý systém je takzvaně bez serverový, nepotřebuje centrální server pro správu zařízení, ale každé svítidlo je možné ovládat zvlášť.

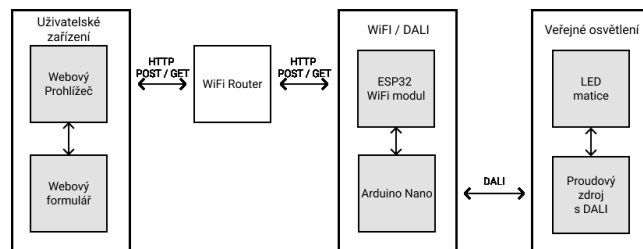


Fig. 3. Základní blokové schéma systému pro řízení veřejného osvětlení pomocí WiFi připojení.

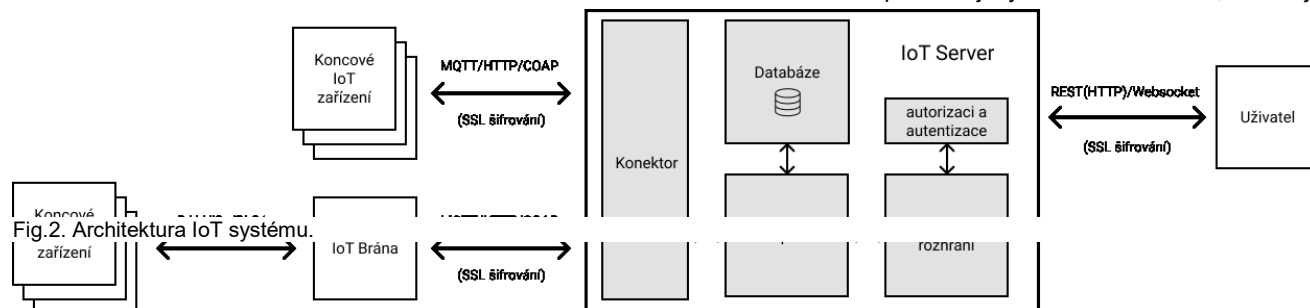
Hardwarové řešení pro implementaci SMART prvků svítidel veřejného osvětlení

Jako hardwarové řešení byl využit již zmiňovaný WiFi modul ESP32 od firmy Espressif Systems. Zároveň bylo vytvořeno jednoduché zapojení s modulem Arduino nano, které obsahuje mikroprocesor ATmega328P od firmy Atmel. Toto jednoduché zapojení se chová jako DALI převodník a může díky již hotovému softwarovému řešení posílat zprávy na DALI sběrnici. Po menší úpravě kódu bylo možné oba moduly propojit pomocí sběrnice i2c a tím bylo umožněno vysílání DALI příkazů pomocí WiFi připojení. Jednoduché blokové schéma zařízení je vidět na obrázku.

Toto zařízení je vhodné pro implementace chytrého osvětlení v případě, že není vybudovaná infrastruktura pro řízení zařízení po datové sběrnici, jako je tomu u DALI protokolu. Při starých rozvodech kde je jen nataženo vedení pro napájení veřejného osvětlení nezasahuje toto řešení do infrastruktury. V případě již hotové infrastruktury pro řízení veřejného osvětlení pomocí DALI sběrnice, je možné toto zařízení využít jen jedno pro více svítidel veřejného osvětlení, jelikož DALI systém dokáže pracovat s adresami.

Návrh softwarové části konceptu pro řízení SMART VO

Velmi důležitou částí systému je jeho softwarová část. Jednoduchý kód je nahrán v zařízení fungující jako převodník z i2c sběrnice na DALI sběrnici. Je napsán v Arduino jazyku, neboli upraveném jazyku C. Ve stejném jazyku je pak napsán software pro WiFi modul, který vykonává většinu práce. Je zde také vytvořeno jednoduché webové rozhraní pomocí jazyka HTML a CSS, které je



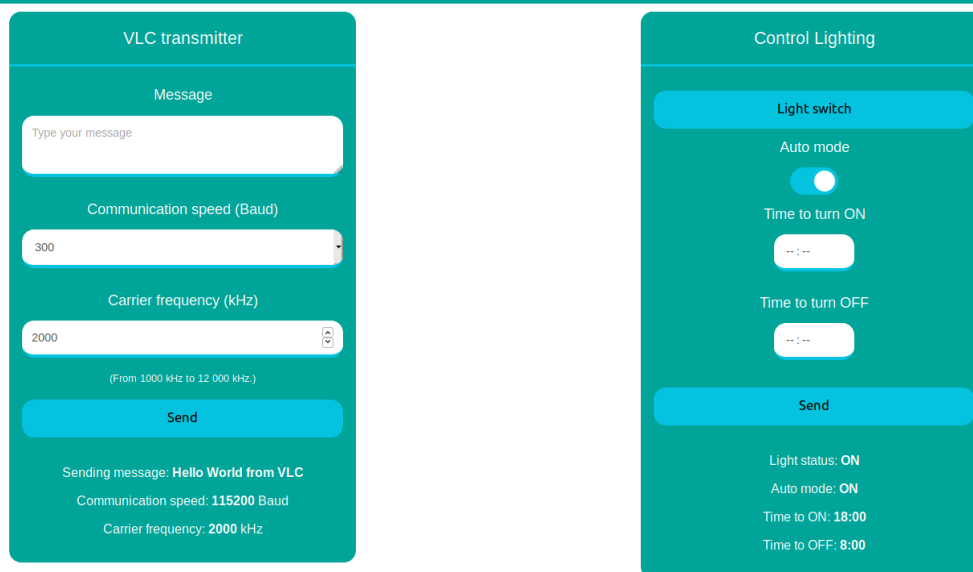
nejvíce využívaných protokolů pro IoT. Dále je v dnešní době velmi populární protokol REST, který je postaven na HTTP požadavcích, stejně jako klasické Webové služby. [2]

Jednoduchý systém pro chytré veřejné osvětlení

V rámci projektu výzkumu a vývoje chytrého zařízení s podporou komunikace viditelným světlem pro veřejné

znázorněno na obrázku. Ve Wifi modulu běží Asynchronní webový server, který přijímá HTTP GET a POST požadavky. Následně tyto požadavky zpracovává a odesílá zpátky odpověď, například ve formě webové stránky a dalších proměnných, které udávají stav svítidla. V případě POST požadavku jsou proměnné z webového formuláře zadané uživatelem odeslány do Wifi modulu a ten je poté

zpracuje a vykoná potřebné operace. Celková komunikace mezi WiFi modulem a koncovým zařízením uživatele probíhá skrze WiFi router, ke kterému jsou oboje zařízení připojena.



© Copyright 2019
VSB - Technical University of Ostrava
The Ministry of the Interior of the Czech Republic

Fig.4. Příklad webového rozhraní pro ovládání svítidla a vysílání zpráv pomocí viditelného světla.

Závěr

IoT je v dnešní době velmi velké téma, které obsahuje nespočet různých hardwarových a softwarových řešení. Jak bylo v článku ukázáno, existuje již mnoho open source univerzálních platform pro IoT, které dokáží pokrýt vše potřebné pro nasazení kompletního IoT systému. Open source řešení v IoT ekosystému má dnes rozhodně co nabídnout a proto má i velké šance pro uplatnění se v budoucím řešení systémů pro chytré veřejné osvětlení.

V článku jsme ukázali jednoduchý případ implementace open source řešení do svítidla veřejného osvětlení, díky kterému bylo možné veřejné osvětlení ovládat pomocí webového rozhraní prostřednictvím WiFi připojení. K tomu všemu se dá použít, již ověřených DALI sběrnic a jiných. V budoucnu bychom chtěli provést další implementace i na síť svítidel VO s cílem jejich efektivním ovládání a řízením.

Poděkování

Tento článek vznikl za aktivní podpory projektu VI20172019071.

REFERENCE

- [1] KRISHNA BEHARA, Gopala a Raju MYADAM. The Benefits of Open Source Architecture for IoT. Opensourceforu [online]. New Delhi 110020: opensourceforu, 2018, October 2, 2018 [cit. 2019-10-15]. Dostupné z: <https://opensourceforu.com/2018/10/the-benefits-of-open-source-architecture-for-iot/>
- [2] IoT Standards and Protocols. Postscapes [online]. Postscapes, 2019, May 1, 2019 [cit. 2019-10-15]. Dostupné z: <https://www.postscapes.com/internet-of-things-protocols/>

- [3] Arduino Nano. Arduino [online]. Arduino, 2019, 2019 [cit. 2019-10-15]. Dostupné z: <https://store.arduino.cc/arduino-nano>
- [4] Espressif Inc. [online katalogový list]. ESP8266

- Version 1.4 Copyright © 2019.[cit. 15.10.2019]. Dostupné z: https://www.espressif.com/sites/default/files/documentation/esp8266-technical_reference_en.pdf
- [5] Espressif Inc. [online katalogový list]. ESP32 Version 4.0 Copyright © 2018.[cit. 15.10.2019]. Dostupné z: https://www.espressif.com/sites/default/files/documentation/esp32_technical_reference_manual_en.pdf
- [6] SIMCom Wireless Solutions Co.,Ltd.. [online katalogový list]. SIM800L Version 1.0 Copyright © 2013.[cit. 15.10.2019]. Dostupné z: https://img.filipeflop.com/files/download/Datasheet_SIM800L.pdf
- [7] Raspberry Pi (Trading) Ltd. [online katalogový list]. Raspberry Pi Compute Module 3+ Version 1.0 Copyright © 2019.[cit. 15.10.2019]. Dostupné z: https://www.raspberrypi.org/documentation/hardware/computemodule/datasheets/rpi_DATA_CM3plus_1p0.pdf
- [8] DeviceHive Microservices Architecture, 2019 [online]. DeviceHive [Cit. 15.10.2019]. Dostupné z: <https://docs.devicehive.com/docs/devicehive-architecture>
- [9] ThingsBoard Architecture, 2019 [online]. ThingsBoard [Cit. 15.10.2019]. Dostupné z: <https://thingsboard.io/docs/reference/architecture/>
- [10] Kaaiot dokumentace, 2019 [online]. Kaaiot [Cit. 15.10.2019]. Dostupné z: <https://docs.kaaiot.io/KAA/docs/current/Welcome/>
- [11] SiteWhere CE 2.1.0 Documentation, 2019 [online]. SiteWhere [Cit. 15.10.2019]. Dostupné z: <https://sitewhere.io/docs/2.1.0/>
- [12] Thinger.io Documentation, 2019 [online]. SiteWhere [Cit. 15.10.2019]. Dostupné z: <https://docs.thinger.io/>

Authors

Authors: Tomáš Stratil, Jan Látal, Stanislav Hejduk, Lukas Hajek,
Ales Vanderka, Vysoká škola báňská - Technická univerzita

The effect of luminance level on color difference evaluation

Abstract. *The test of the visibility of the people under low light conditions is a widely discussed topic across various sectors. The visibility of the passive warning elements under low light conditions, for example related to the safety of persons in the unforeseeable natural disasters accompanied by failure of the all safety systems is very important question point as well as a pedestrian visibility. In recent years, the number of killed pedestrians in traffic accidents due to the insufficient use of safety elements has increased several times. The second reason is inappropriate street lighting in the cities and villages. These are ones of the reasons and suggestions for this work. The wearing of the warning elements is very important not only outside the cities, where the street lighting is not, but also in the cities, where there is the street lighting, but it is often difficult for the drivers to see the pedestrians especially near to the crossing or outside. The aim of this work is description of the color perception at various luminance levels using the current CIECAM02 and CAM02-UCS color appearance models. Design and testing of luminance level adaptation factor modification using STRESS index.*

Keywords: luminance, adaptation, color difference, CIE CAM02.

Introduction

Adaptation is an attribute of the human eye to respond to changes in the surrounding conditions and stimuli by changing sensitivity to these suggestions (describes the ability of the human eye to adapt to various luminance levels of the ambient light). The human eye is able to distinguish the wide range of the luminance levels from the low luminance levels (10^{-6} cd.m⁻²) to high luminance levels (10^6 cd.m⁻²). The adaptation mechanisms are related to photo-pupillary reflex and various spectral sensitivity of the human photoreceptors. The transition from higher luminance levels, where the cones work, to low luminance levels, where the rods work, is described as an adaptation. During this transition, the human eye gradually loses its ability to see colors and is orienting itself in the early stages of adaptation only by contrast. The adaptation can be divided into two types. Firstly, it is a light adaptation and second is a chromatic adaptation. Both types of the adaptation are influenced by mechanisms and properties of an individual part of a visual system. The adaptation is influenced to various dynamic adaptation mechanisms which help to optimize the visual response to changes surrounding conditions and stimuli.

The light adaptation can be divided into light and dark adaptation. With light adaptation, the eye has to quickly adapt to the background illumination to be able to distinguish objects in this background. The process for light adaptation occurs over a period of five minutes. Dark adaptation forms the basis of the "Duplicity Theory" [1], which states that above a certain luminance level (about 3 cd.m⁻²), the cone mechanism is involved in mediating vision: photopic vision. Below this level, the rod mechanism comes into play, providing scotopic (night) vision. The range where two mechanisms are working together is called the mesopic range (until 0.001 cd.m⁻²), as there is not an abrupt transition between the two mechanisms.

Chromatic adaptation describes how the color perception of an objects changes at using two different light sources (color constancy) against to the Purkinje phenomenon, which solves the color perception in the terms of rods and cones sensitivity.

Chromatic adaptation is therefore a process by which the chromatic properties of the visual system of observation of the subjects at various luminance levels.

Chromatic adaptation defines colorimetric shift – this is a change in color perception of the objects caused by light source change, respectively change in spectral power distribution of the light source or luminance level change. For example, objects appear more yellow when we are coming from outdoor lighting to the room, which is

illuminated by the tungsten lamp. After few minutes, the color perception is change back to the normal. Adaptive shift is described by cognitive mechanisms and physiological changes that evolve based on the observer visual properties.

Von Kries coefficient law is used for the description of the chromatic adaptation. This law describes various response of the three types of the cones to the chromatic adaptation, i.e. law describes the relationship between the light source and the human visual system. If one of three types of the cones are less stimulated, the responses of the other two types of the cones are reduced accordingly.

CIE CAM02

The CIECAM02 color appearance model is built on the basic structure of the CIECAM97s model, although it has many revisions. These revisions include:

- a) Linearization of the chromatic adaptation transform to simplify the model and facilitate analytical inversion.
- b) Correction of anomalous surround compensation.
- c) Correction of chroma-scale expansion for color of low chroma.
- d) Inclusion of a continuously variable surround compensation.
- e) Improved response compression function to facilitate an improved saturation correlate.

The chromatic adaptation transform is used for modelling the adaption into changes in the chromaticity of the adopted white point. In CIECAM02 due to different viewing conditions, the CIE considered the differences in color perception by transforming to and from a single reference white. The forward model transforms tristimulus values viewed under a wide range of viewing conditions to the corresponding perceptual attribute correlates as viewed under a reference white, in this case the equal-energy illuminant (Illuminant **E**) with the perfect reflecting diffuser as the reference white. The inverse model transforms from this reference white to some other viewing condition. Besides the chromaticity of the white point, also its luminance effects on the degree to which an observer adapts to the white point. The transform is done based on the viewing condition parameters that have been defined for three types of surrounds: average, dim, and dark. The viewing condition parameters are also used in the calculation of perceptual attributes, which are brightness, lightness, chroma, saturation, colorfulness, and hue [2].

CIE CAM02 UCS

CAM02–UCS color appearance model is a uniform color space based on the CIECAM02 model. This model was

created on the basis, that scaling for small color difference sets (SCD, near to the perception limit) and large color difference sets (LCD) was not linear. Testing and comparisons were made with various data sets with small and large color differences. Based on this testing, two modified spaces were obtained. Because, it was necessary to have one space that would be fit both data sets, uniform color space was created. Together with previous two spaces, the mentioned uniform color space was also tested. The uniform color space fitted good both data sets. New color space CAM02-UCS, CAM02-SCD and CAM02-LCD were obtained by modification of the correlate lightness and colorfulness [3].

The modified correlates in lightness J' and colorfulness M' are defined:

$$(1) \quad J' = \frac{(1 + 100 c_1) J}{1 + c_1 J}$$

$$(2) \quad M' = \frac{1}{c_2} \ln(1 + c_2 M)$$

where: J –lightness, M –colorfulness, c_1 and c_2 –coefficients.

Based on that, the corresponding color space J' , a' and b' was established:

$$(3) \quad a'_M = M' \cos(h)$$

$$(4) \quad b'_M = M' \sin(h)$$

where: M' – modified correlate in colorfulness,

The color difference (5) in the modified color space is calculated as Euclidian distance:

$$(5) \quad \Delta E'_{CAM02-i} = \sqrt{\left(\frac{\Delta J'}{K_L}\right)^2 + (\Delta a'_M)^2 + (\Delta b'_M)^2}$$

where: $\Delta J'$ – difference in lightness, $\Delta a'$ and $\Delta b'$ –differences in coordinates a' and b' , K_L - lightness weighing factor

Materials and methods

Dralon® (polyacrylonitrile) textile material was chosen for the description and testing of the color appearance in this work due to the need to obtain high chromaticity sample. Dyeing of textile fabric was prepared with use of combination of selected cationic dyes. Four color centers were selected for further testing, namely blue, orange, red and yellow–green. For each center, the center sample was selected around which the color center was created. Samples around the center sample were selected using the differences in the hue, the chroma and the lightness. The distribution around color center is approximately uniform and follow the scheme visible in Figure 1.

Selected samples for visual evaluation were folded into a three-layer sandwich interleaved with polyethylene foil. For fixation of the sandwiches, all samples were fixed under pressure at 175 °C. Subsequently, the samples were mounted on a hard paper cardboard for easier handling during measurement and visual assessment.

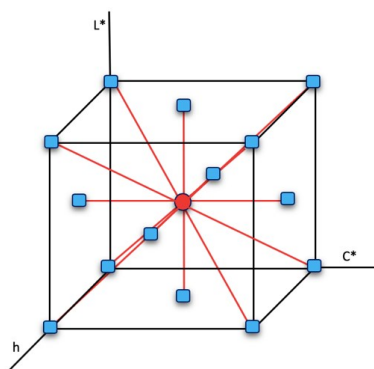


Fig.1. The idealized distribution samples around the center sample in the CIELCh color space

The visual experiment was performed in the Laboratory Color and Appearance Measurement on the Technical University of Liberec. The visual experiment was carried out in the viewing box with 8 various adaptive luminance level (table 1) from photopic to almost scotopic vision with 5 replications.

Table 1. The parameters of the sensor

Step	Adapting luminance L_a (cd.m ⁻²)
1	885 ± 14.02
2	481 ± 10.45
3	76 ± 7.34
4	14 ± 2.11
5	2.2 ± 0.13
6	0.59 ± 0.03
7	0.12 ± 0.02
8	0.04 ± 0.01

The used light source was a daylight simulator based on CIE F7 fluorescent tubes with CCT 6557 K at $L_a = 481$ cd.m⁻² placed in lighting cabinet with N7 surround. This experiment was performed according to the Gray scale method. The color pairs and gray scale were putted into the lighting cabinet as visible on scheme in Figure 2.



Fig.2. The idealized distribution samples around the center sample in the CIELCh color space

Results

Chromatic and brightness induction effect on color difference evaluation have been studied using many psychophysical paradigms (e.g., matching, cancellation tasks, etc.). In our case, the color stimuli are composed by rectangular shape of each sample with sharp edges allowing thin contact between both evaluated samples.

When the luminance level is decreasing, the decreasing post-adapted cone responses can be seen. Although, these responses at luminance level 0.04 cd.m⁻² are very low in comparison to responses at adapting luminance 885 cd.m⁻². This shows that after sufficient dark adaptation (in this case more than 25 minutes), the human eye still distinguishes the color differences even at such a low luminance level. That means our experiment demonstrate contribution of cones to visual response also near to 10⁻² cd.m⁻² that confirms Raphael and MacLeod investigation [4].

Main difference before and after optimizing occurred in the correlate brightness and colorfulness, which they are affected by the luminance level. On the contrary, for the correlate of lightness and chroma, the change at various levels is not so pronounced, due to the fact, that both correlates are relative to the white reference. The results for post-adapted responses for all color centers are given in table 2.

Table 2a. Post-adapted responses for first two color centers at two adapting luminance cd.m^{-2}

	Blue ($L_a = 885$)	Blue ($L_a = 0.04$)	Orange ($L_a = 885$)	Orange ($L_a = 0.04$)
R'_a	7.77	1.93	13.94	2.50
G'_a	8.81	2.23	12.28	1.74
B'_a	11.17	2.34	5.02	1.09

Table 2b. Post-adapted responses for second two color centers at two adapting luminance cd.m^{-2}

	Red ($L_a = 885$)	Red ($L_a = 0.04$)	Yellow-Green ($L_a = 885$)	Yellow-Green ($L_a = 0.04$)
R'_a	9.31	1.82	15.18	3.08
G'_a	7.18	1.26	15.73	3.15
B'_a	8.35	1.76	8.17	1.73

The results show a change in post-adapted cone responses when the color and luminance adaptation are completed at various luminance levels. The post-adapted cone responses are approximately 5 time less at the luminance level 0.04 cd.m^{-2} than at luminance level 885 cd.m^{-2} . For the blue sample set, the post-adapted cone responses are approximately 4 or 4.5 times less at low luminance level than at high luminance level. This can be attributed to the sensitivity of the human eye, which is shifting towards to the shorter wavelengths, where the maximum sensitivity for S-cones is located. The highest responses are for yellow-green samples, which is due to the fact that these samples are fluorescent and at the same time their reflectance maximums are near the highest sensitivity of the human eye.

Modification of F_L

The figure 3 shows graph with dependency of adapting luminance factor on the selected luminance level. The statistical dependence of the F_L factor on luminance level was calculated using power function. For each color center, a different dependency is determined. Each center was evaluated individually.

The high chromaticity samples with small color differences were assessed by the observers at 8 various luminance levels. Comparison of the results with values of the F_L factor before modification it was found that it is necessary to increase its value for the yellow-green center, while to decrease it for other centers.

By the STRESS index evaluation (The Standardized Residuals Sum of Squares) [5], when the measured data of the samples were compared within STRESS index evaluation with the data from the visual experiment, it was found that the predictability of the color appearance decreases with the decreasing luminance level. Therefore, the F_L factor was modified based on these results. This change brought a decrease in the STRESS index, respectively the predictability of the color appearance increased. The most significant change was achieved by modification at the yellow-green center. Contrary, the smallest change was for the center of the red. STRESS index was reduced across all luminance levels.

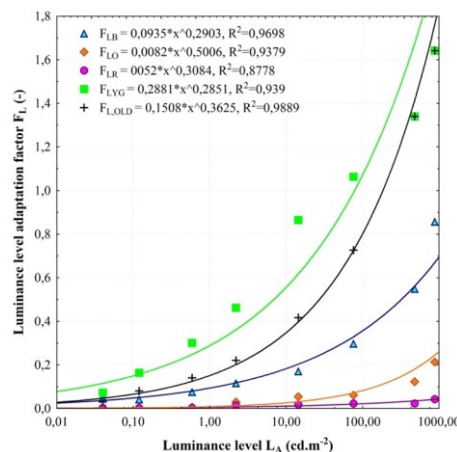


Fig.3. Dependence of F_L factor on adapting luminance

Conclusion

With the concentration series of the cationic dyes, a space was created in which four color centers with high chromaticity samples were selected. 72 color samples with the high chromaticity were subsequently selected from the four centers for visual evaluation.

The high chromaticity samples with small color differences were assessed by the observers at 8 various luminance levels. The observers were evaluated using the STRESS index within inter-observer variability. Overall, based on its results, the whole group of the observers can be declared balanced in this evaluation. The STRESS index was used to evaluate their results. Within this characteristic, the observers achieved the highest agreement for the blue center. The inter-observer variability revealed a 10 – 15 % change in the STRESS index among the luminance levels. The CIE CAM02-UCS color appearance model was used for evaluation and subsequent modification because it is adjusted to predict the color appearance of samples with small differences. This system has the added benefit. This advantage is to include the color and luminance adaptation into the color appearance calculation like other CAM models. In the CIE CAM02-UCS calculations it was found that the luminance level negative affecting the colorfulness and brightness, while in the case of lightness and chroma, this effect is very small. Therefore, the modification of the colorfulness calculation was made.

The proposed modification of the F_L factor and the simultaneous change of colorfulness contributes to the expecting reduction of the STRESS index. A lower STRESS index means that the model's prediction ability to predict the color appearance is greater compared to the visual assessment.

For the yellow-green center was found the lowest change in F_L factor which led to the highest change in STRESS index among color centers. Only for yellow-green center, the F_L factor increased. In other centers, the F_L factor was always reduced opposite to the original values. Although the biggest F_L factor change was made for the red center. The STRESS index results reflected very small change. The results of post-adapted cone responses show that the cones responses in the assessment of this center are very small compared to the other centers evaluated.

After evaluation of the prepared experiment it was also found that the sufficient adaptation, which in addition to the light adaptation also includes color adaptation, the eye is still able to distinguish color differences even at levels around $10^{-2} \text{ cd.m}^{-2}$. This luminance level is at the mesopic and scotopic border of the vision and thus leads to the

finding that even at such low luminance levels, the cones are still involved in the visual response with the rods. The results also show a gradual change in post-adapted cone responses as the luminance level decreases, confirming that the sensitivity of the human eye shifts towards to shorter wavelengths, where the S-cones and rods have the highest sensitivity.

Acknowledgment

This work was supported by the Ministry of Education, Youth and Sports of the Czech Republic and the European Union - European Structural and Investment Funds in the frames of Operational Programme Research, Development and Education-project Hybrid Materials for Hierarchical Structures (HyHi,Reg.No.CZ.02.1.01/0.0/0.0/16_019/0000843)

REFERENCES

- [1] Stabell, B. & Stabell, U., 2009. *Duplicity Theory of Vision*, Cambridge University Press.
- [2] Moroney, N., Fairchild, M.D., Hunt, R.W.G., Li, C.J., Luo, M.R., Newman, T. The CIECAM02 color appearance model. In: The 10th Color Imaging Conference, IS&T and SID, Scottsdale, Arizona, November, 23-27, 2002.

- [3] HUNT, R. W. G. *Measuring colour*. Chichester: Ellis Horwood, 1987. ISBN 07-458-0125-0.
- [4] Raphael, S.; MacLeod, D. I. A. Mesopic Luminance Assessed with Minimally Distinct Border Perception. *Journal of Vision* 2015, 15 (9), 1-14. DOI: 10.1167/15.9.12. ISSN 1534-7362.
- [5] Melgosa, M., Garcia, P. A. GARCÍA, Gómez-Robledo, L., Renzo Shamey, R., Hinks, D., Cui, G. and Luo, M. R. Notes on the application of the standardized residual sum of squares index for the assessment of intra- and inter-observer variability in *color-difference experiments*. *Journal of the Optical Society of America A*. 2011, 28(5), 949-953

Authors: Ing. Marcela Pechová, *Technická univerzita v Liberci, Fakulta textilní, KMI, Studentská 2, Liberec, Czech Republic, e-mail: marcela.pechova@tul.cz*
doc. Ing. Martina Víková, Ph.D., *Technická univerzita v Liberci, Fakulta textilní, KMI, Studentská 2, Liberec, Czech Republic, e-mail: martina.vikova@tul.cz*
prof. ing. Michal Vík, Ph.D., *Technická univerzita v Liberci, Fakulta textilní, KMI, Studentská 2, Liberec, Czech Republic, e-mail: michal.vik@tul.cz*

How night sky brightness changes from ground to satellite level

Abstract. Atmospheric turbidity has a large unknown impact on how the artificial light at night (ALAN) propagates into nocturnal environment. A city or town emits a large fraction of light upwards not only because of common imperfections such as unshielded lights, but also due to ground-reflected light that can never be avoided. These two components combine in a non-trivial way resulting in a skyglow phenomenon. The light scattering efficiency normally increases with number concentration of aerosols, however, the elevated turbidity means more rapid intensity decay. The light scattering and light attenuation are two processes having an opposite trend, therefore it is not easy to estimate the rate at which skyglow changes with altitude. The changes to the skyglow we can expect from varying atmospheric turbidity is analyzed numerically for a point source of light which can be interpreted as an elementary artificially-lit surface area. Our findings are useful to better understand the range of different night sky brightness distributions when transitioning from low-lying areas to high altitudes. The latter is especially important to observatories. Numerical simulations are also made for light escaping the earth's atmosphere at its top, in order to predict the optical signals detected at satellite level.

Keywords: night sky brightness (NSB), light escaping upwards, NSB above ground level

Úvod

Charakterizácia difúzneho svetla nočnej oblohy (DSNO) je multidisciplinárny problém, ktorého riešenie zasahuje do rôznych vedných oblastí od svetelnej techniky (Brons a kol. 2008), cez teoretickú fyziku (Kocifaj 2008, Aubé a Roby 2014), numerické modelovanie (Olsen a kol. 2014, Kolláth a Kránicz 2014), experimentálnu fyziku a inžinierstvo (Rabaza et al 2014) až po dizajnovanie parametrov osvetľovacích sústav (priestorové rozmiestnenie, výkonové parametre, spektrum, a pod), analýzu prostredia (aerosólových častíc, odrazivosti zemského povrchu, topografie a orografie), ale aj analýzu oblačnosti, pretože táto významne ovplyvňuje množstvo žiarenia/svetla smerujúceho nadol. Je známe, že za podmienok jasnej oblohy je „svetelné znečistenie“ úzko spojené so zákalom atmosféry, najmä s aerosólmi (Kerola 2006, Kocifaj 2010). Určenie vplyvu oblakov a aerosólov na difúzne svetlo nočnej oblohy je pritom prioritnou výzvou aj vzhľadom k tomu, že aerosól je v atmosfére všadeprítomný a jeho vplyv na „svetelné znečistenie“ je stále nejasný kvôli nedostatočným znalostiam procesov podieľajúcich sa na formovaní a interakcii týchto častíc s elektromagnetickým žiarením (Mishchenko et al 2002). Základný mechanizmus akým prirodzený a antropogénny aerosól mení radiačnú rovnováhu je síce známy, ale nedostatočne kvantifikovaný. Progres zaznamenaný v ostatných rokoch posunul výskum o niečo ďalej, napriek tomu zostáva znečistenie atmosféry jedným z hlavných zdrojov neistoty pri predpovedi DSNO na povrchu zeme, ale aj vo vyšších polohách. Poznatky o rozložení jasú na nočnej oblohe v závislosti na nadmorskej výške môžu byť kľúčové pri výbere miest pre observatória a tiež pre štúdium nepriaznivých účinkov DSNO na životné prostredie a okolitú prírodu, hlavne v národných parkoch.

Viacnásobný rozptyl v atmosfére

Časť fotónov, ktoré sú emitované z pozemných zdrojov umelého svetla a nie sú blokované prekážkami, sa podieľa na osvetlení atmosféry zdola. Veľká väčšina týchto fotónov prechádza atmosférou bez interakcie s jej zložkami, ako sú molekuly vzduchu alebo aerosóly. Ako však narastá dĺžka dráhy, ktorú musí fotón preletieť atmosférou, tak stále viac narastá aj pravdepodobnosť vzájomnej interakcie fotónu a zložiek prostredia. Rovnaký efekt má nárast koncentrácie znečisťujúcich prímies atmosféry (hlavne aerosólu), pretože viac častíc v jednotke objemu znamená kratšiu voľnú dráhu fotónov, teda dráhu medzi dvoma po sebe nasledujúcimi interakciami. Pri šírení svetla samozrejme nejde o jednotlivé fotóny, ale o zväzok veľkého množstva fotónov. Interakcia tohoto zväzku s časticou aerosólu vedie k dvom procesom: 1) absorpcii - teda k poklesu hustoty toku fotónov a nárastu

vnútornej energie častice (k zahriatiu častice), 2) rozptylu t.j. prerozdeleniu fotónov do rôznych smerov. Pri rozptyle síce nedochádza k strate energie („vstupujúce“ a „vystupujúce“ množstvo energie zostáva rovnaké), ale mení sa smerové prerozdelenie energie, pretože fotóny postupujúce v iných smeroch ako v pôvodnom smere predstavujú stratu energie z pôvodného toku žiarenia. Pre rozptyl je charakteristická zmena smeru fotónov, a práve tento proces je zodpovedný za to, že nočná obloha nie je celkom tmavá. Po rozptyle nesmeruje svetlo primárne k pozorovateľovi, ale osvetľuje ostatné časti atmosféry v blízkom a aj vzdialenejšom okolí miesta prvého rozptylu. V týchto elementárnych objemoch vzduchu môže opäť dochádzať v rozptylu a svetelný zväzok tak niekoľko-krát mení svoj smer. Čím viac-krát sa svetlo rozptylí, tým viac stráca svoju smerovosť. Mnohonásobne rozptýlené svetlo už nemá žiadny preferovaný smer a šíri sa viac-menej s rovnakou pravdepodobnosťou do všetkých smerov. Hovoríme o izotropnom rozptyle alebo izotropnom prostredí. Príkladom takého prostredia sú oblaky ale i hmľa. Účinok rozptylu vyšších rádov klesá s koncentráciou častíc a hustotou vzduchu a teda s výškou nad povrchom zeme. Na druhej strane však narastá s dráhou lúča v atmosfére, preto je len ťažko predpovedať zmeny v rozložení jasú oblohy s meniacou sa výškou. Teoretická spektrálna žiara v režime n-tého rádu rozptylu bola publikovaná len nedávno (Kocifaj 2018)

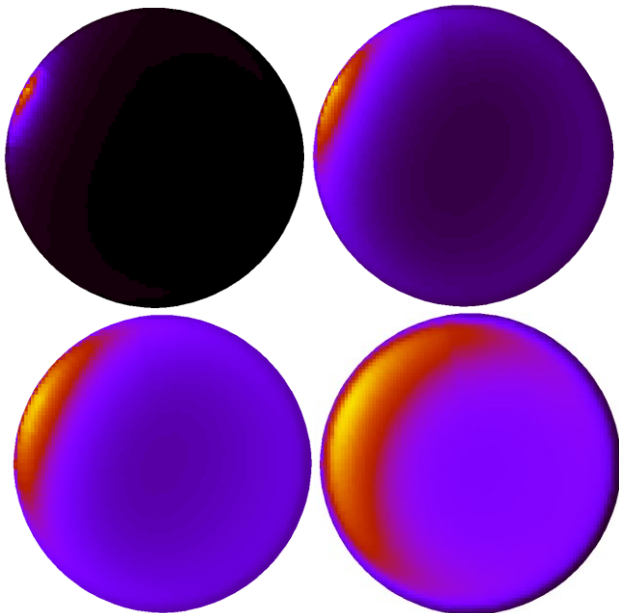
$$I_{n,\lambda}^+(\tau_\lambda, \Omega, R) = \frac{1}{\mu} \int_{\tau'=0}^{\tau_\lambda} \exp\left(\frac{\tau' - \tau_\lambda}{\mu}\right) \left\{ \int_{\mu'=0}^1 \int_{A'=0}^{2\pi} I_{n-1,\lambda}^+(\tau', \Omega', r') \frac{p_\lambda^+(\Omega', \Omega)}{4\pi} dA' d\mu' d\mu' + \int_{\mu'=-1}^0 \int_{A'=0}^{2\pi} \left[I_{n-1,\lambda}^-(\tau', \Omega', r') + \alpha_\lambda \exp\left(\frac{\tau' - \tau_{0,\lambda}}{\mu'}\right) \frac{D_{n-1,\lambda}^+(r'')}{4\pi} p_\lambda^-(\Omega', \Omega) \right] dA' d\mu' \right\} d\tau' \quad (1)$$

kde μ je kosínus zenitového uhla pozorovania oblohy, τ_λ je optická hrúbka atmosféry v stanovenej nadmorskej výške, τ' je zodpovedajúca integračná premenná podobne ako A' a μ' , ktoré reprezentujú azimut a kosínus zenitového uhla oba meniace sa v rozsahu definovanom v integrále, Ω', Ω

sú vektory charakterizujúce smer lúča pred rozptylom a po rozptyle v elementárnom objeme vzduchu, Ω' je obdobný vektor pre smer (n-1)-krát rozptýlené žiarenie, pričom r' je integračná horizontálna vzdialenosť od miesta pozorovania, α_λ je spektrálna odrazivosť povrchu zeme, $D_{n-1,\lambda}^+$ je spektrálna hustota toku difúzneho žiarenia dopadajúceho na zemský povrch po (n-1) rozptylových udalostiach, p_λ^+ a p_λ^- sú tzv. funkcie rozptylu, ktoré určujú pravdepodobnosť, že svetlo dopadajúce zo smeru Ω' je rozptýlené do smeru Ω . Celkovú spektrálnu žiaru oblohy vo výške, v ktorej optická hrúbka dosahuje hodnotu τ_λ , je potom súčtom výrazov (1) pre všetky rády rozptylu, teda pre n=1 až N, kde teoretický limit pre N je nekonečno. Je zrejme, že pre dosiahnutie dostatočnej presnosti výpočtu postačuje sčítať niekoľko členov radu, zvyčajne prvé dva, teda N=2. I keď vzorec (1) je trojnásobným integrálom, numerický výpočet je extrémne rýchly, pretože zložky poľa rozptýleného žiarenia pre n-tý rád sú odvodené z predchádzajúceho rádu rozptylu. Tento rekurentný výpočet je numericky efektívny.

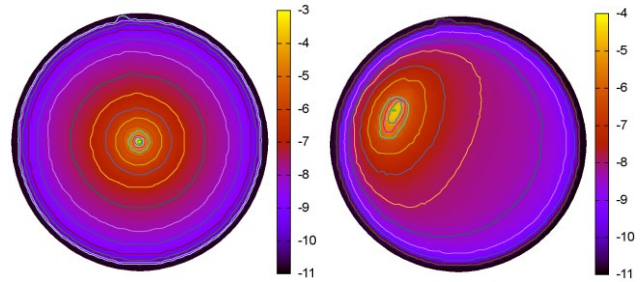
Niektoré výsledky výpočtov

Výpočty dokumentujú charakter zmien rozloženia žiary nočnej oblohy s výškou nad povrchom zeme. Na obr. 1 sú výsledky pre modré svetlo s vlnovou dĺžkou 450 nm. Každý obrázok je v lineárnej mierke, ale na inej škále, inak by sme neboli schopní porovnať hodnoty v rozsahu aj niekoľkých rádov. Prvý obrázok naznačuje že obloha je veľmi jasná nad azimutálnou polohou pozemného zdroja. V ostatných častiach je obloha veľmi tmavá. Ako výška nad povrchom narastá, tak sa rozloženie žiary na oblohe stáva stále viac homogénnejším a znižuje sa gradácia od zenitu k horizontu (porovnaj prvý a posledný obrázok v Obr. 1).



Obr.1. Spektrálna žiara nočnej oblohy pre modrú časť spektra (450 nm). Žiara je zobrazená v nepravých farbách v lineárnej mierke na rôznych škálach aby bolo možné dokumentovať zmeny v rozložení žiary s výškou. Zľava do prava a zhora dole: výška nad povrchom zeme 0 km, 1.1 km, 2 km a 4.3 km. Stred obrázka je zenit, body na okraji každého obrázku sú na horizonte.

Úplne iné rozloženie žiary je pozorované zo satelitu (viď. Obr. 2). Keďže žiara povrchu zeme klesá exponenciálne s horizontálnou vzdialenosťou od zdroja, sú izočiary žiary tentokrát zobrazené v logaritmickej mierke.



Obr.1. Spektrálna žiara zdroja svetla na povrchu Zeme pri pohľade zo satelitu pre modrú časť spektra (450 nm). Žiara je zobrazená v nepravých farbách v logaritmickej mierke. Vľavo: zdroj svetla je v nadire. Vpravo: zdroj svetla v horizontálnej vzdialenosti 81 km teda v mieste mimo nadiru. Stred obrázka je nadir – teda pozícia priamo pod satelitom, body na okraji každého obrázku sú na terminátore – teda kružnici prechádzajúcej viditeľnými okrajmi zeme.

Záver

V práci dokumentujeme, že vertikálne zmeny v rozložení žiary nočnej oblohy je možné získať teoreticky a modelovať numericky a to nielen v blízkom okolí povrchu zeme, ale aj na úrovni satelitu. Teoretickú predpoveď je možné porovnať s experimentálnymi údajmi a použiť jednak na testovanie teórie a jednak na zistenie vlastností svetelných zdrojov. V prvom prípade je validácia teoretického modelu potrebná pre garantovanie predpovedí úrovni difúzneho svetla nočnej oblohy v situáciách, keď experiment nie je možný alebo je časovo, ekonomicky alebo inak náročný. V druhom prípade dosiahnutie zhody medzi experimentom a teóriou umožňuje sledovať dopady použitia rôznych svetelných technológií na zmeny jasu oblohy alebo aj spätne určiť svetelné zdroje, ktoré sú zodpovedné za merané zmeny jasu oblohy a tak nepriamo monitorovať mieru akou sa jednotlivé typy zdrojov podieľajú na tzv. svetelnom znečistení.

Táto práca bola podporovaná Agentúrou na podporu výskumu a vývoja prostredníctvom finančnej podpory č. APVV-18-0014.

LITERATÚRA

- [1] Brons JA, Bullough JD, Rea MS (2008). Lighting Res. Technol. 40, 201
- [2] Kocifaj M (2008). Appl. Opt. 47, 792
- [3] Aubé M, Roby J (2014). J. Quant. Spectrosc. Radiat. Transfer 139, 52
- [4] Olsen RN, Gallaway T, Mitchell D (2014). J Environ. Plann. Man. 57, 883
- [5] Kolláth Z, Kránicz B (2014). J. Quant. Spectrosc. Radiat. Transfer 139, 27
- [6] Rabaza O, Aznar-Dols F, Mercado-Vargas MJ, Espín-Estrella A (2014). Lighting Res. Technol. 46, 5
- [7] Kerola, DX (2006). Mon. Not. R. Astron. Soc. 365, 1295
- [8] Kocifaj M (2010). Mon. Not. R. Astron. Soc. 403, 2105
- [9] Mishchenko MI, Travis LD, Lacis AA (2002). Scattering, Absorption, and Emission of Light by Small Particles, Cambridge University Press, Cambridge.
- [10] Kocifaj M (2018). J. Quant. Spectrosc. Radiat. Transfer 206, 260

Author: Dr. Miroslav Kocifaj, PhD., Institute of Construction and Architecture, Slovak Academy of Sciences, Dúbravská cesta 9, Bratislava, Slovakia, e-mail: kocifaj@savba.sk

Investigation of Lighting Quality and Energy Performance in Home Lighting

Abstract. Investigation presented in the paper aims to map the current situation in home lighting in order to acquire preferences and solutions applied by end users taking into account the heritage of existing systems as well as habits of mind. This paper also aims to present proposal of a new method for assessment of energy performance of home lighting, based upon findings and conclusions from the research. Results are intended to be used for the standardization of home lighting requirements and the preparation of guidelines based on good lighting practice.

Keywords: home lighting, interior lighting, atmospheric lighting, residential buildings, lighting standardisation

1. Introduction

For home lighting, neither CIE recommendation nor dedicated international standard is available. Designing and installation of a lighting system is left to the user as a part of refurbishment. To help the public become familiar with current technologies and to help them how to choose the right luminaires and arrange them in the space or outdoors, numerous guidelines are provided e.g. by national lighting societies or electrical utility companies. However, impact is too low and inhabitants make the lighting on their own. The guidelines, though usually prepared by professionals, lack for discussed and agreed light levels and lighting solutions. In consequence:

- Designer of electrical installation has no tool how to place lighting outlets, what wattage to consider and what other technical measures are needed (i.e. to have built-in boxes for transformers or LED drivers). Customer has no imagination about these technical questions, he is unable to estimate what light level will be sufficient and how to satisfy it.
- There are no benchmarks and no methods how to estimate the annual energy consumption of lighting system in homes.
- Users lack for advice on selection of proper lamps and luminaires and shopping assistants are lost in questioning, particularly about LEDs. Users are often disappointed by the result of lighting as luminous flux distribution is different than from conventional bulbs. LEDs as intensive point sources of light can easily glare and light colour of the cheap products is simply unpleasant.

Aim of standardization is not to give prescriptions or restrictions but to provide requirements for proper lighting of homes. Solution itself, can incorporate the artistic vision and the same time to create a certain level of illumination. As the starting point, older national standards can be reviewed and possibly updated or reworked. Such a standard on home lighting is available in Slovakia - STN 36 0452 „Artificial Lighting of Residential Buildings“ [1].

Importance of normative status in this field increased since private houses and residential buildings are subjected to the energy performance of buildings according to the European directive. The new European standard on energy performance of lighting in buildings EN 15193-1 [2] now also deals with home lighting. Technical report CEN/TR 15193-2 [3] brings some additional guidelines for homelighting. It means that normative requirements are included in Part 1 while guidelines are dealt in Part 2.

2. Background

The standard STN 36 0452 is applicable for illumination of residential buildings of all types. It specifies requirements

for lighting with respect to the creation of healthy environment and amongst others it also specifies values of illuminance in various rooms, what is essential. Although the standard is outdated, some of the values are acceptable while the others would need revision.

According to the standard, lighting systems can be constructed or re-constructed only in accordance with the approved project documentation except of lighting which is not part of the building design. Home lighting project shall consider the functional utilization of rooms and designed disposition of interior furniture.

NB: Requirement for preparation of lighting design documentation is essential and sets the home lighting to the level of e.g. workplace lighting. In the current practice, such documentation is normally not provided by any professional, except of rare sophisticated installations.

The standard EN 15193-1 does not establish any requirements, recommendation or benchmarks of the maintained illuminance. It specifies standard power values for various types of rooms of three size categories (small, medium and large), distinguishing between standard lighting solution (assumed overall efficacy 15 lm/W) and optimized lighting solution (assumed overall luminous efficacy 60 lm/W). The approach presented in the standard does not reflect neither the current situation in home lighting nor the real needs of the users.

According to EN 15193-1, energy performance of lighting in buildings is assessed through the LENI indicator:

$$(1) \quad LENI = W / A$$

where: LENI – Lighting Energy Numerical Indicator (kWh/m²), W – annual lighting energy consumption (kWh), A – total useful floor area of the building (m²)

Annual lighting energy consumption consist of the energy used to fulfil the lighting function W_L (kWh) and the parasitic energy W_P (kWh) used for lighting controls and to charge the batteries of emergency luminaires.

$$(2) \quad W_L = \sum_{rooms} [P_i F_o F_c (t_N + t_D F_D)]$$

where: P_i – total installed power of all luminaires in a room to fulfil the lighting function (kW), F_o – occupancy factor depending on the room type, F_c – constant illuminance factor, F_D – daylight utilization factor, t_D – standard operation time with available daylight (h), t_N – standard operation time without daylight (h)

However, the standard EN 15193-1 does not apply this general method to residential buildings and introduces a very simplified method for this building category.

Lighting operation daylight time (t_D) is assumed to be 1 820 h and the non-daylight time (t_N) is assumed as 1 680 h. Annual operation time t_O is then 3 800 h in total. The constant illuminance factor F_C is not regarded (equals to 1,00). The occupancy factor F_O is calculated from the absence factor F_A (which is specified for different rooms in the standard). Using the quick method, absence factor for the building as a whole is taken as $F_A = 0$.

3. Goals and methods of investigation

Investigation aims to map the current situation in home lighting in order to acquire preferences and solutions applied by end users – inhabitants by means of available technologies and taking into account the inheritance of existing systems as well as habits of mind. Besides qualitative findings, quantitative assessment of lighting performance and estimation of energy performance is in the focus of investigation as well.

Assumption of the investigation relies on the fact that what is installed in homes for lighting, selected, arranged and installed by the user, is felt by the user as illumination satisfying his needs in all aspects (aesthetic function, lighting control etc.).

Questionnaire is selected as the method of investigation. To achieve the needed level of reliability of data and because measurements of the illuminance are needed, the questionnaire (data form) is to be completed by a professional investigator. Target number of homes for investigation was stated to be at least 150. Homes are distributed evenly throughout the country (Slovakia).

Privat houses and flats in residential buildings are distinguished by different types of questionnaire due to significant difference in situation and size. In the questionnaire, emphasize on accuracy of specific information is given while some other information is neglected and/or simplified for the sake of time and effort savings, to enable the completion of questionnaire feasible.

Data from individual questionnaires, numbered and identified by an unique ID, are automatically read up by an application to excel sheet where data are evaluated first type by type, then in correlations.

Photo documentation may help to imagine the situation and lighting solution, therefore investigators are requested to take pictures. However, due to obvious privacy reasons this is not mandatory.

Example of questionnaire (truncated excerpt) for flats in residential buildings is shown in Figure 1. Points of the measurement of illuminance for general lighting and local lighting are exactly specified for each of the rooms.

Results of the investigation are intended to be used as an input for future standardization works in order to establish new normative requirements to home lighting and also to elaborate requirements for assessment of energy performance of home lighting within EN 15193-1 or national prescriptions.

4. Results of investigation and discussion

Up to now, information from more than 50 households is gathered. This allows to constitute more accurate methods than those which are currently incorporated in the normative documents.

Age of the investigated lighting systems is depicted in Figure 2. In average, age of the lighting systems is between 5 to 10 years what is less than age of flats under investigation. It means that lighting is time to time being renovated.

Structure of light sources in the investigated lighting systems is in Figure 3. It is surprising that still there is big portion of incandescent bulbs (including halogen lamps),

with total share of almost 50 %. After phase-out of these lamps from the market, their share will decrease and the lamps will be substituted by e.g. suitable retrofits. Compact fluorescent lamps are the other major light sources with share of almost 30 %. It is obvious that these retrofit lamps have been becoming popular in the last decade. Usage of LED lamps will raise, they are more and more popular in households; today's share of 10 % is an evidence of that. Linear fluorescent lamps are generally not preferred in home lighting and the share over 10 % in the lamp structure was not expected, hence needs some verification.

ID	5	City:	Bratislava	Object:	Obchodna 15, Flat 2																										
Number of rooms:	8	Date:	12.2.2012	Flats in the house:	52																										
Inhabited rooms:	3	Time:	15:43	Floors in the house:	12																										
Total flat area (m ²):	105,4	Temp (°C):	22,3	Clear height (m):	3,2																										
		Floor:	3	Recorded by:	Gasparovsky																										
LUMINAIRES and WINDOWS																															
RN	Room	LS Type			P (W)	CR	SG	Age LS	Age CL	Age PS	Incandescent lamps			Halogen lamps			CFLs														
		D	G	L							n ₁	n ₂	n ₃	n ₁	n ₂	n ₃	n ₁	n ₂	n ₃												
1	Living room	Z	x	x	190	R1	3	10	0,5	2			1	4	50	35															
2	Bedroom	N	x		132	R1	2	10	0,5	2								2	4	23											
3	Kids room	N		x	145	R1	2	10	0,5	2																					
4	Room																														
RN	Room	Fluorescent lamps						LED						Other						Window 1						Window 2					
		n ₁	n ₂	n ₃	n ₁	n ₂	n ₃	n ₁	n ₂	n ₃	n ₁	n ₂	n ₃	n ₁	n ₂	n ₃	n ₁	n ₂	n ₃	n ₁	n ₂	n ₃	n ₁	n ₂	n ₃	n ₁	n ₂	n ₃			
1	Living room																2	1,2	2,1	5,04	1	1,0	3,0	3,00							
2	Bedroom	2	2	58			2	2	10								2	1,2	2,1	5,04	1	1,0	3,0	3,00							
3	Kids room	1	1	58																											
4	Room																2	1,2	2,1	5,04											
ILLUMINANCE VALUES																															
RN	Room	Dimensions (m)						Illuminance (lx)												Reflectance											
		W ₁	W ₂	L ₁	L ₂	H ₁	H ₂	C1	C2	C3	C4	C5	M1	M2	M3	CEIL	WAL	FLO													
1	Living room	3,5	4,2	14,70	0,50	0,35	1	254	875	328	125	221	328	125	221	0,60	0,50	0,30													
2	Bedroom	3,3	3,0	9,90	0,50	0,35	221	230								0,60	0,50	0,30													
3	Kids room	2,5	3,0	7,50	0,50	0,35	124	332					330			0,60	0,50	0,30													
4	Room																														
children up to 64: <input checked="" type="checkbox"/> children 6 - 14: <input checked="" type="checkbox"/> children 14 - 18: <input type="checkbox"/> physically disabled: <input type="checkbox"/> visually impaired: <input checked="" type="checkbox"/>																															
seniors over 65: <input checked="" type="checkbox"/> seniors over 75: <input type="checkbox"/> lighting dedicated circuits: <input checked="" type="checkbox"/> night-time lighting: <input checked="" type="checkbox"/>																															
1. <input type="text"/>																															
2. <input type="text"/>																															

Fig.1. Questionnaire for mapping the home lighting in flats of residential buildings

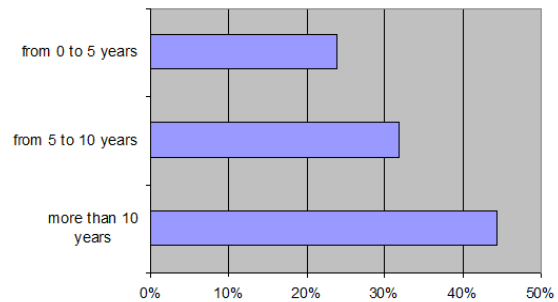


Fig.2. Age of the investigated lighting systems

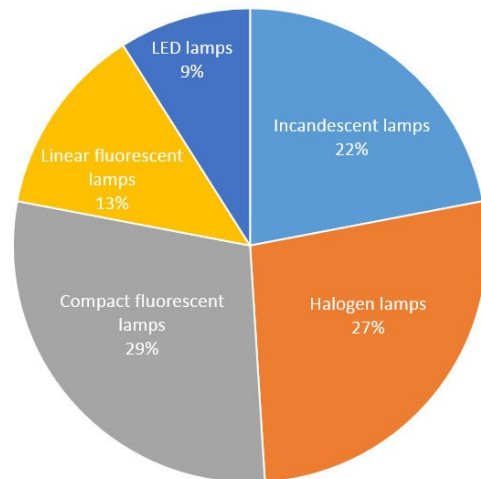


Fig.3. Structure of light sources in the investigated lighting systems

Table 1 illustrates the results of illuminance measurement for general lighting in the middle of the unobstructed part and at the indicated particular places. Local lighting was the subject of measurement as well. The measured data have not been modified by the maintenance factor as it is expected that lighting systems in operation are not new, rather closer to their maintenance cycle period. Table 1 shows the most common room types.

Table 1. Measured illuminance levels in different kinds of rooms

Room	Place of measurement	E_{min} (lx)	E_{max} (lx)	E_{av} (lx)	σ
Living room	middle of the unobstructed part	63	198	123,6	39,71
	edges of sofa (average)	45	200	107,1	44,72
	middle of sofa	40	205	111,1	45,51
	armchair	50	238	95,9	49,62
	middle of coffee table	72	212	122,7	39,47
Bedroom	middle of the unobstructed part	35	165	91,0	46,92
	middle of bed	28	210	104,7	54,66
	header of bed 1/2 (average)	30	215	80,5	51,93
	bedside table 1/2 (average)	20	190	58,7	49,55
	middle of table/commode	13	85	41,6	25,97
Inhabited room	middle of the unobstructed part	38	280	133,4	66,57
	middle of bed	27	184	93,3	49,54
	header of bed	35	160	84,7	35,29
	middle of bedside table	30	207	107,7	60,29
Kitchen	middle of the unobstructed part	65	200	119,4	44,5
	work desk edges (average)	32	225	127,8	62,42
	middle of work desk	47	298	162,7	83,95
	cooker	25	122	70,0	28,41
	dining table	60	205	121,3	43,59
Bathroom	middle of the unobstructed part	52	190	114,4	42,47
	washbowl	55	210	106,9	32,64
	middle of bath/shower-tub	20	126	72,5	23,70
	middle of cosmetic table	18	170	87,7	52,82
Corridor	middle of the unobstructed part	22	200	97,7	47,56
	middle of table	36	94	65,4	15,93
WC	middle of WC	50	157	86,3	28,66

In each case, three highest and three lowest values have been deleted to avoid extreme peaks. The rest of data have been used to calculate the average value E_{av} (lx) and the standard statistical deviation σ . Minimum and maximum illuminance values are indicated as well. It is hard to assess the measured data against normative requirements in STN 36 0452 due to incoherence in the place of measurement. Approach of the investigation is more complex in this aspect.

It can be summarized that in inhabited rooms incl. living room and even bedroom the illuminance in the middle of unobstructed area is about 100 lx. However, variation expressed by the standard deviation is relatively high and low illuminance of about only 40 lx can be found in many rooms of that kind. It is interesting that similar average values are measured for other room types as well, like

kitchen, bathroom and corridor. At some local places the measured illuminance is different, e.g. in the middle of the work desk in kitchen it is more than 150 lx.

Tables 2 & 3 show results of the investigation of installed power. The presented results are not yet related to the technology involved, further analyses are needed in this aspect. Nevertheless the data give imagination on the average installed power and specific installed power (related to the useful area) P_{av}/A . Average installed power is 900 W. This figure can be used to estimate the share of lighting on total energy consumption of residential buildings. Specific installed power is around 8 – 10 W/m² for most rooms. Smaller is the value for stairs and more power demanding rooms comprise bathrooms, toilets and cellars where still incandescents can be obviously found. It can be concluded that there is generally good correlation between benchmark values in the standard EN 15193-1 and the research results. Supporting by further analyses and data from more questionnaires the benchmark values can be slightly adjusted.

Table 2. Installed power P (W) in investigated residential buildings

Room	P_{min} (W)	P_{max} (W)	P_{av} (W)	σ
Living room	20	320	167,4	84,90
Bedroom	50	157	101,3	35,61
Kid's room	67	137	106,3	45,38
Inhabited room	20	180	87,3	46,02
Kitchen	40	150	87,5	40,07
Dining room	108	120	114,0	53,96
Bathroom	40	140	74,5	35,62
WC	35	75	49,8	16,44
Corridor	40	180	89,2	43,30
Chamber	43	60	54,3	24,53
Cellar	60	75	65,0	28,80
Stairs	40	60	43,3	16,66
Entrance	36	60	48,5	21,60

Table 3. Specific installed power P/A (W/m²) in investigated residential buildings

Room	P_{min}/A (W/m ²)	P_{max}/A (W/m ²)	P_{av}/A (W/m ²)	σ
Living room	1,22	16,16	7,94	3,58
Bedroom	1,43	13,33	6,54	3,17
Kid's room	3,38	12,12	7,68	2,94
Inhabited room	1,79	19,05	6,51	4,25
Kitchen	3,51	23,21	9,21	4,68
Dining room	3,86	12,50	8,18	4,32
Bathroom	5,60	155,56	27,59	33,22
WC	13,33	77,92	40,74	20,30
Corridor	2,25	40,00	14,73	9,02
Chamber	5,97	14,81	10,39	4,42
Cellar	6,25	50,00	23,46	19,04
Stairs	2,35	7,50	4,69	1,84
Entrance	9,00	20,00	13,78	4,60

5. Proposal of photometric requirements and more accurate method for assessment of energy performance

Proposal of basic photometric requirements for various rooms in residential buildings is shown in Table 4. The table is structured similarly as EN 12464-1 for workplaces [4]. This proposal is based on analysis of visual tasks in different rooms and values for similar rooms, premises or activities in workplaces taking into account specific conditions in households (including reduced time of usage) and user preferences acquired by the investigation of home

lighting. Aim of the proposal is to establish criteria on light levels as target values for the design, erection and assessment of lighting systems in residential buildings.

Table 4. Proposal of photometric requirements in residential buildings

Ref	Room, premise, visual task, activity	E_m (lx)	U_o (-)
1	Courtyard, atrium	10	0,10
2	Entrance from outdoors	20	0,20
3	Entrance from indoors	30	0,20
4	Interior parking lot, garage	50	0,30
5	Storage room for strollers	30	0,20
6	Cellar	30	0,20
7	Lounging room, waiting room	100	0,40
8	Lift entrance	75	0,40
9	Corridor, domestic communications	75	0,30
10	Stairs	100	0,40
11	Laundry	150	0,40
12	Drying room	75	0,40
13	Storage room	75	0,40
14	Living room - part of a sofa, armchair	200 300	0,50 0,60
15	Inhabited room of a family member - bed header	100 300	0,40 0,60
16	Kid's room, senior's room - bed header	200 300	0,50 0,60
17	Kitchen - kitchen desk	200 500	0,40 0,70
18	Larder	75	0,40
19	Dining room - dining table	150 200	0,40 0,60
20	Bathroom - front of the mirror	150 300	0,40 -
21	WC, toilet	50	0,40
22	Closet	100	0,40
23	Home workshop	300	0,60
24	Workroom, atelier - writing desk	300 500	0,40 0,60
25	Common handworks (stitching, cleaning, minor reparations etc.)	300	0,60
26	Ironing	200	0,50
27	Sewing	500	0,70
28	Fine handworks, technical drawing, modelling	750	0,70

Aim of the proposal on lighting energy performance assessment in residential buildings is to draft a more comprehensive method which takes into account specific situations and conditions in households, availability of data and which is feasible in practical energy certification. Annual energy used to fulfil the lighting function can be calculated using the modified formula (2) as follows:

$$(3) \quad W_L = \sum_{rooms} [P_i k_L k_C F_O (t_N + t_D F_D)]$$

where: P_i – total installed power of all luminaires in a room to fulfil the lighting function (kW), k_L – correction factor for the prevailing lamp type, k_C – correction factor for the prevailing lighting control type, F_O – occupancy factor depending on the room type, F_D – daylight utilization factor, t_D – standard building operation time with available daylight, t_N – standard building operation time without daylight

Total power of luminaires P_i is calculated as the considered specific installed power of the lighting system P_{si} (see Table 5) multiplied by the area of a room or zone.

Installed power of nocturnal luminaires should be considered separately.

Building operation is assumed between 6:00 and 8:00 in the morning and between 16:00 and 22:00 afternoon and in the evening, i. e. divided into two time intervals each day. During weekends, the building usage is considered between 8:00 and 16:00 with the factor of 0,7 (walking, leisure or works outside). Thus, annual operation time of residential buildings is 3 500 hours.

Correction factor k_L for prevailing lamp type can be taken from Table 6 and correction factor k_C for prevailing lighting control can be taken from Table 7. If in a room or zone more than one lighting control type is installed, the correction factor k_C shall be calculated as product of the partial correction factors for each lighting control type considered. Occupancy factor is presented in Table 5.

Table 5. Proposal of specific installed power P_{si} (W/m²) and occupancy factor F_O values in residential buildings

Room type	P_{si} (W/m ²)	F_O
Inside parts of domestic entrances	0,50	0,10
Interior parking lot, garage	1,00	0,05
Storage room for strollers	0,50	0,05
Cellar	0,50	0,05
Entrance hall, waiting room	1,80	0,20
Corridor, domestic communications	1,40	0,50
Stairs	1,80	0,30
Laundry	2,70	0,15
Drying room	1,40	0,10
Storage room	1,40	0,10
Living room	3,60	0,70
Bedroom, inhabited room of a family member	1,80	0,50
Kid's room and senior's room	3,60	0,70
Kitchen	3,60	0,40
Larder	1,40	0,05
Dining room	2,70	0,30
Bathroom	2,70	0,20
WC, toilet	0,40	0,10
Closet	3,60	0,10
Home workshop	5,50	0,20
Workroom, atelier	5,50	0,50
Common handworks	5,50	0,40

Table 6. Proposed values of the correction factor k_L for the prevailing lamp type

Prevailing lamp type	k_L
Incandescent lamp	4,60
Halogen lamp	3,70
Retrofit compact fluorescent lamp	1,00
Compact fluorescent lamp	0,90
Metal halide lamp	0,60
High-pressure sodium lamp	0,60
Retrofit LED lamp	0,50
Linear fluorescent lamp T8 (Ø 26 mm)	0,60
Linear fluorescent lamp T5 (Ø 16 mm)	0,60
LED lamp	0,45

Specific energy scale for lighting based on LENI is established in the Slovak national methodology for energy performance of buildings but it is uncommon in other countries. Experience with energy certification of buildings and lighting systems as part of the buildings' infrastructure showed that the scale is well defined. Now, the scale is proposed to be supplemented by two categories of the

residential buildings as presented in Table 8. It is necessary to point up that because the energy scales have to be developed from two node values according to EN 15217 [5] – minimum required value (bottom of the class B) and average of the buildings in a country (bottom of the class D), the proposed scale is country specific. Nevertheless it is applicable in countries with similar habits of home lighting (most of European countries) or until there are more country specific data available elsewhere. In addition, energy performance of lighting in individual flats can be evaluated by yet simplified approach as proposed in Table 9.

Table 7. Proposed values of the correction factor k_c for the prevailing lighting control type

Prevailing lighting control type	k_c
Manual switching ON/OFF	1,00
Manual dimming	0,90
Manual ON/OFF with timer	0,90
Manual ON/OFF with motion detector	0,80
Motion detector AUTO switching	0,85
Photocell AUTO switching	0,90
Photocell AUTO dimming	0,80
Central ON/OFF	0,95

Table 8. Proposed LENI based energy scales for lighting

Building category	A	B	C	D	E	F	G
Family houses	≤ 2	3-5	6-7	8-10	11-12	13-15	> 15
Multi-flat buildings	≤ 3	4-6	7-9	10-12	13-15	16-18	> 18

Table 9. Assessment of lighting energy performance in single flats

Lighting system	Energy inefficient	Energy efficient	Low-energy
	1	2	3
Type of lighting	Only general	Mostly general	General and local balanced
Lamp types	Prevailing incandescents	Prevailing CFLs	No incandescents
Lighting control	Only manual switching	Mostly manual switching	Sensor controlled
Points	2 – 3	4 – 5	6 – 7
Rating			

Lighting system	Ultra low-energy	Almost zero consumption
	4	5
Type of lighting	Mostly local	Mostly local
Lamp types	Prevailing LEDs	Only LEDs
Lighting control	Automatic functions	Smart systems
Points	8 – 9	10
Rating		

5. Conclusions and outlook

Results of investigation showed that lighting in residential buildings is underestimated although time spent at home is long enough and usually falls to non-daylight hours. Low sensitivity of users to task-dependant light levels and further outcomes of the investigation proved that there is lack of guidance on proper home lighting and a suitable application standard. Method for assessment of energy performance of home lighting is inaccurate and can be easily improved. Thus, this field of lighting should be further developed, capturing the interest of more scientist and

researchers. In result it may help to improve not only the visual health but also well-being of future generations.

The questionnaire-based investigation provided vast of useful information on home lighting – this paper deals only with small part of these results. To achieve even more reliable data it is necessary to collect yet more data forms what is time consuming and mostly a volunteer work. The plan of future works is as follows:

- 2019 – 2020: update of the investigation, progress towards LED lamps (expected increase of their share in the lamp structure) and degress in the share of incandescents
- From 2020: extension of the investigation to other countries to study differences in national and cultural habits

Having sufficient results of investigation, first a new TC on home lighting can be proposed, then a new standardization work item can be suggested.

Acknowledgments



REFERENCES

- [1] STN 36 0452:1986 Artificial Lighting of Residential Buildings
- [2] EN 15193-1:2017 Energy performance of buildings. Energy requirements for lighting. Part 1: Specifications, Module M9
- [3] CEN/TR 15193-2:2017 Energy performance of buildings - Energy requirements for lighting - Part 2: Explanation and justification of EN 15193-1, Module M9
- [4] EN 12461-1:2011 "Light and Lighting – Lighting of Workplaces. Part 1: Indoor Workplaces"
- [5] EN 15217:2007 "Energy performance of buildings. Methods for expressing energy performance and for energy certification of buildings"
- [6] VanBommel, W. and VanDyk, J.: Security lighting for domestic exteriors. Proceedings of the IESNA Annual Conference, St. Louis (1984)
- [7] Banwell, P., Brons, J., Freyssonier-Nova, J.P., Rizzo, P., Figueiro, M.: A demonstration of energy-efficient lighting in residential new construction, Lighting Res. Technol. 36,2 (2004) pp. 147-164
- [8] Van Tichelen, P.: Preparatory Studies for Eco-design Requirements of EuPs - Final report - Lot 19: Domestic lighting, 2009, 657 p., <http://www.eup4light.net/>
- [9] Bodart, M., Roisin, B., Deneyer, A., D'Herdt, P.: Establishment of innovation guidelines for the residential lighting from a relighting project. Lux Europa 2009, 8-10 september 2009, Istanbul, Turkey, 8 p.
- [10] Deneyer, A., D'Herdt, P.; Roisin, B., Bodart, M.: The use of energy efficiency in dwellings – Challenges and potential. Lux Europa 2009, 8-10 september 2009, Istanbul, Turkey, 8 p.
- [11] Gasparovsky, D., Raditschova, J.: Home Lighting. Svetlo 2013, Podbanske, Slovensko, 23-25 October 2013, pp 195-205
- [12] D. Gasparovsky, R. Dubnicka, J. Raditschova, L. Lipnický, "Focused on home lighting: What to standardize and what to guide?" In Proc. 28th CIE Session, 28. 6. - 4. 7. 2015, Manchester, United Kingdom, CIE 2015, pp. 1877-1886, ISBN 978-3-902842-55-8

Authors:

doc. Ing. Dionyz Gašparovský, PhD., FEI STU v Bratislave, Slovakia, e-mail: dionyz.gasparovsky@stuba.sk
Ing. Jana Raditschová, PhD., FEI STU v Bratislave, Slovakia, e-mail: raditschova@stuba.sk

Parametry světelného pole a jejich měření

Abstrakt. Příspěvek je zaměřen na problematiku parametrů pro popis světelného pole, které se používají k hodnocení prostorových vlastností osvětlení. Mezi tyto parametry řadíme světelný vektor, střední hodnoty osvětlenosti (kulovou, válcovou, krychlovou), činitel podání tvaru a další odvozené veličiny. Jejich využití je zejména pro hodnocení kvality osvětlovacích soustav z hlediska subjektivního vjemu o dostatečnosti prosvětlení prostoru, ale také z pohledu vizuálního vjemu trojrozměrných předmětů. Na základě teoretického rozboru byl navržen prototyp senzoru pro měření střední válcové osvětlenosti, který by umožnil měření a hodnocení vektorových vlastností světelného pole a z nich odvozených skalárních veličin. Článek navazuje na dlouhodobý výzkum v oblasti měření integrálních charakteristik na katedře elektroenergetiky ČVUT FEL.

Klíčová slova: Integrální charakteristiky světelného pole, střední válcová osvětlenost, světelné pole, světelný vektor

Úvod

Metody pro popis parametrů světelného pole i jejich měření jsou v odborné literatuře poměrně podrobně popsány, přesto se v posledních letech objevují články, které se této problematice věnují a hledají nové možnosti užití. Sledovanými parametry jsou například světelný vektor, skalární veličiny světelného pole jako střední válcová, krychlová nebo kulová osvětlenost a z nich odvozené veličiny určující například činitel podání tvaru nebo vektorové a symetrické složky fotometrické plochy osvětlenosti. Konvenční měření střední kulové a střední válcové osvětlenosti se realizuje pomocí složitých nástavců na fotočláncích luxmetrů, měření střední krychlové osvětlenosti pomocí šestice fotočlánců umístěných na stěnách krychle nebo jedním fotočláncem, který je do těchto šesti směrů natáčí.

Stále dostupnější polovodičové senzory osvětlenosti otevírají prostor k návrhu přístroje, který by byl schopen danou skalární integrální charakteristiku měřit vektorově a následně určit její skalární hodnotu. Zároveň by umožňoval stanovit vektorovou, difuzní a symetrickou složku fotometrické plochy osvětlenosti a další odvozené veličiny.

První část příspěvku je věnována teoretickému popisu světelného pole a popisu integrálních charakteristik v poli světelných zdrojů. V druhé části je popsán výběr a ověření vlastností polovodičových senzorů osvětlenosti a následný návrh senzoru střední válcové osvětlenosti.

Integrální charakteristiky prostorových vlastností osvětlení

Prostorové vlastnosti osvětlení mají využití zejména při hodnocení kvality osvětlovacích soustav z pohledu subjektivního dojmu o dostatečnosti prosvětlení prostoru (nasycení prostoru světlem), ale také z pohledu vizuálního vjemu trojrozměrných předmětů. Sledované vlastnosti jako prostorová osvětlenost, směrovost osvětlení a stínivost osvětlení (schopnost osvětlení tvořit stíny) jsou v daném bodě popsány souhrnně jednou hodnotou, a proto se nazývají integrální charakteristiky světelného pole.

Světelné pole a světelný vektor

Ve světelné technice je světelné pole definováno jako část prostoru, ve kterém probíhá přenos světelné energie, jejíž toky jsou sledovány v konečných časových intervalech. Podle charakteru děje mluvíme o skalárním nebo vektorovém poli. Světelné pole je všude, kde lze výpočtem nebo měřením prokázat existenci světla za pomoci světelné technické veličiny. V podmínkách světelného pole se pro vektorový popis probíhajícího děje využívá vektor plošné hustoty světelného toku, který je označován jako světelný vektor a je značen \vec{e} . Vychází z analogie Poyntingova vektoru v elektromagnetickém poli a jeho velikost odpovídá rozdílu normálových osvětleností obou stran elementární

plošky kolmé ke směru šíření záření ($E_A - E_B$). V poli jediného bodového zdroje Z odpovídá velikost světelného vektoru \vec{e}_l v bodě P normálové osvětlenosti diskretní plošky dA_N kolmé ke směru paprsku l .

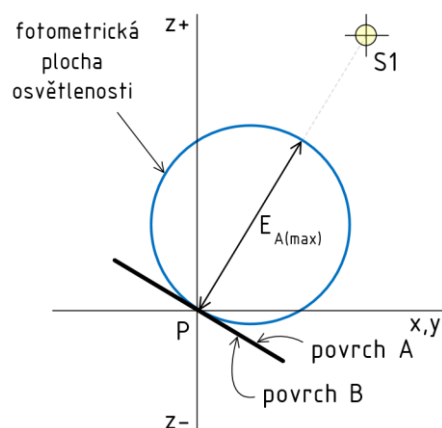
V poli elementárního zdroje jsou dopadající paprsky do bodu P vymezené prostorovým úhlem $d\vec{\Omega}_{\theta\zeta}$ charakterizovány jasy $L_{\theta\zeta}$ dle vzorce 1.

$$d\vec{e} = L_{\theta\zeta} \cdot d\vec{\Omega}_{\theta\zeta} \quad (-; \text{cd} \cdot \text{m}^{-2}, \text{sr}) \quad (1)$$

V poli několika světelných zdrojů je světelný vektor v každém bodě definován vektorovým součtem dílčích světelných vektorů [2].

Fotometrická plocha osvětlenosti

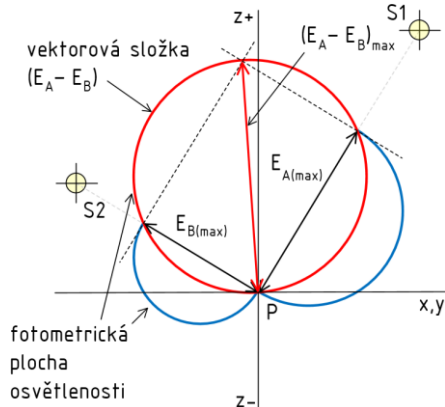
Při využití konceptu „toku světla“ v prostoru [3], se v kontrolních bodech prostoru vyhodnocuje fotometrická plocha osvětlenosti. Na obr. 1 je modelový případ jednoho světelného zdroje $S1$ a kontrolního bodu P , umístěného na elementární plošce A . Velikost osvětlenosti E_A je přímo úměrná světelnému toku dopadajícímu na plochu povrchu A v okolí kontrolního bodu P . V případě, že směr normály k povrchu A v bodě P je totožný se spojnicí $P - S1$ nabývá E_A maximální hodnoty a udává tak i velikost světelného vektoru a tím i maximální hodnoty fotometrické plochy osvětlenosti.



Obr. 1: Řez fotometrickou plochou osvětlenosti pro kontrolní bod P v poli jednoho světelného zdroje $S1$ [3]

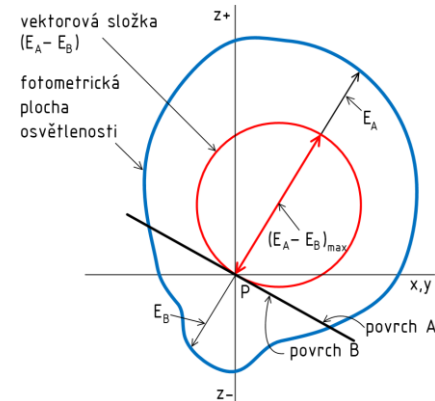
V poli dvou zdrojů je situace znázorněna na obr. 2. V kontrolním bodě P jsou vyneseny dvě fotometrické plochy osvětlenosti pro každý světelný zdroj (modře). Jejich součtem v prostoru vzniká výsledná fotometrická plocha osvětlenosti v bodě P . Vektorovým součtem ($E_A - E_B$) pak vzniká vektorová složka, která je na obrázku vyznačena červeně. Tvar vektorové složky fotometrické plochy je identický, jako v poli jednoho zdroje, její velikost a směr je ale

určen světelným tokem a polohou zdrojů $S1$ a $S2$. Analogicky lze tuto situaci vyjádřit pro n světelných zdrojů [1][3].



Obr. 2: Řez fotometrickou plochou osvětlenosti v poli dvou světelných zdrojů $S1$, $S2$ v bodě P [3]

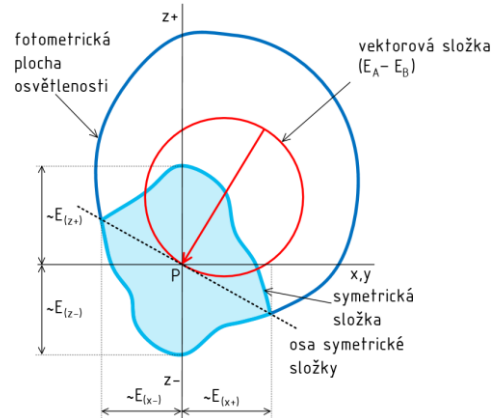
V reálném prostředí může řez fotometrickou plochou osvětlenosti v bodě P odpovídat tvaru na obr. 3. V tomto případě je fotometrická plocha osvětlenosti vytvářena nejen světelným tokem dopadajícím do kontrolního bodu P shora, ale také světelným tokem odraženým od okolních povrchů.



Obr. 3: Řez fotometrickou plochou osvětlenosti v reálném prostředí [3]

Fotometrická plocha osvětlenosti je vždy hladká, protože je tvořena součtem kulových fotometrických ploch od jednotlivých světelných zdrojů (primárních i sekundárních) v bodě P . Na elementární plochu dA v okolí kontrolního bodu P dopadá světelný tok z celého prostoru. Směr světelného vektoru odpovídá směru maxima rozdílu osvětlenosti E_A a E_B , značeného $(E_A - E_B)_{max}$. Maximální hodnota rozdílu dvou protilehlých vektorů $(E_A - E_B)_{max}$ je rovna hodnotě světelnému vektoru E a také maximální velikostí vektorové složky fotometrické plochy osvětlenosti (červeně). Tato složka má v prostoru X, Y, Z kulový tvar a jeho průměr určuje velikost světelného vektoru E . Pokud od celkové fotometrické plochy osvětlenosti odečteme vektorovou složku osvětlenosti, vznikne tzv. symetrická složka fotometrické plochy osvětlenosti, viz obr. 4 (světle modrá výplň).

Kolmice na směr světelného vektoru v bodě P se nazývá osou symetrické složky fotometrické plochy osvětlenosti. U symetrické složky platí, že rozdíl osvětlenosti E_A a E_B protilehlých směrů je nulový. Symetrickou složku tvoří ještě dvě další složky difúzní a souměrná. Difúzní složka má ve všech směrech stejnou hodnotu osvětlenosti, což znamená, že její velikost je dána minimální hodnotou symetrické složky E_{min} . Pokud od symetrické složky odečteme difúzní složku, získáme souměrnou složku fotometrické plochy osvětlenosti.



Obr. 4: Prostorová charakteristika v poli reálného prostředí [3]

V modelové situaci jednoho světelného zdroje (bez uvažování odrazu od okolních povrchů) tvoří fotometrickou plochu osvětlenosti pouze vektorová složka a souměrná a difúzní složka budou nulové. V případě prostředí kulového integrátoru tvoří fotometrickou plochu osvětlenosti pouze symetrická složka (resp. difúzní složka) a světelný vektor je nulový. Hodnocení prostorových vlastností zmíněnou metodou umožňuje kromě hustoty a převládajícího směru osvětlení vyjádřené světelným vektorem definovat také skalární hodnotu, tzv. souměrná a difúzní složky [3][4][5].

Integrální charakteristiky světelného pole

Pro účely subjektivního posuzování úrovně prosycení prostoru světlem jsou využívány střední hodnoty osvětlenosti povrchů ploch diskretních rozměrů. Podle tvaru modelového přijímače jsou střední hodnoty osvětlenosti děleny na kulovou, polokulovou, válcovou, poloválcovou a krychlovou, které jsou popsány níže. Plochy přijímače nahrazují předměty, které se v daném prostoru vyskytují. Obecná skalární charakteristika C vyjadřuje střední hodnotu osvětlenosti povrchů modelového přijímače elementárních rozměrů dle vzorce 2, kde f_p je funkce popisující přijímací charakteristiku modelového přijímače a normálové osvětlenosti $L_{\vartheta\zeta} \cdot d\Omega_{\vartheta\zeta}$.

$$C = \int_0^{4\pi} f_p \cdot L_{\vartheta\zeta} \cdot d\Omega_{\vartheta\zeta} = \int_0^{4\pi} f_p \cdot E_n \quad (-; \text{cd} \cdot \text{m}^{-2}, \text{sr}) \quad (2)$$

Přijímací funkce f_p pro jednotlivé integrální charakteristiky, tj. střední kulové, polokulové, válcové a poloválcové osvětlenosti jsou uvedeny v tabulce 1.

Tabulka 1: Přehled integrálních charakteristik [6]

hodnota přijímací funkce f_p	název integrální charakteristiky	označení
1/4	Střední kulová osvětlenost	$E_{4\pi}$
$1/4 \cdot (1 + \cos \vartheta)$	Střední polokulová osvětlenost	E_{hs}
$1/\pi \cdot \sin \vartheta$	Střední válcová osvětlenost	E_z
$1/\pi \cdot \sin \vartheta (1 + \cos \varphi)$	Střední poloválcová osvětlenost	E_{sz}
$\cos \beta$	Osvětlenost rovinné plochy	E

Měření integrálních charakteristik se provádí luxmetrem s odpovídajícím nástavcem, který svým tvarem i přijímací charakteristikou odpovídá modelovému přijímači.

Hodnota střední válcové osvětlenosti je součástí hodnocení jakosti osvětlení v interiérech, doporučení jsou shrnuta v ČSN EN 12464-1 „Světlo a osvětlování – Osvětlení pracovních prostorů – část 1: Vnitřní pracovní prostory“ [8].

Střední válcová osvětlenost se využívá zejména v oblastech, kde má pro hodnocení vjemu pozorovatele rozhodující vliv výše a rozložení jasů nebo pro hodnocení osvětlení na svislých plochách. Střední poloválcová osvětlenost je využívána při hodnocení střední hodnoty osvětlenosti na městských pěších zónách a ve společenských prostorech [2][6].

Kvalitativní ukazatele prostorových vlastností

Při hodnocení kvalitativních ukazatelů světelného prostředí je hodnocena zejména směrovost a stínivost. Směrovost je vlastnost osvětlení, která charakterizuje převažující směr světla v libovolném bodě v prostoru a je určena světelným vektorem, který je popsán výše. Orientovaný směr vektoru je určen směrem přenosu světelné energie v daném bodě.

Pro hodnocení stínivosti, tedy schopnosti světelného prostředí vytvářet plastický vjem je využíváno integrálních charakteristik světelného pole. Směr a velikost vektoru popisuje světelný vektor $\vec{\varepsilon}$ a objemovou hustotu vyjadřuje střední kulová osvětlenost $E_{4\pi}$, střední válcová osvětlenost E_z nebo střední krychlová osvětlenost E_{06} .

Z poměru světelného vektoru $\vec{\varepsilon}$ a střední hodnoty osvětlenosti, např. kulové, je určen činitel podání tvaru pro směr \vec{P} , který je určen dle vzorce 3. Orientovaný směr činitele podání tvaru \vec{P} je závislý na orientovaném směru světelného vektoru $\vec{\varepsilon}$. V literatuře je tento koeficient často uváděn jako poměr vektorové a skalární složky VSR.

$$\vec{P} = \frac{\vec{\varepsilon}}{E_{4\pi}} \quad (-; lx, lx) \quad (3)$$

Činitel podání tvaru P může nabývat hodnot v rozsahu 0 až 4 a jeho hodnoty jsou popsány v Tabulce 2. V teoretické situaci zcela rozptýleného osvětlení měřeného prostředí, např. kulového integrátoru odpovídá velikost světelného vektoru $\varepsilon = 0$ a proto je činitel podání tvaru $P = 0$.

V takovém prostředí nelze na pozorovaném jednobarevném předmětu rozeznat tvary a objekt v prostředí nevytváří žádný stín. Opačný případ nastává v poli jednoho světelného zdroje, kde je osvětlenost rovna světelnému vektoru $E = \varepsilon$ a v takovém prostředí nabývá činitel podání tvaru své maximální hodnoty $P = 4$.

Tabulka 2: Charakteristika vizuálního vjemu vzhledem k činiteli podání tvaru

Činitel podání tvaru	Hodnocení vjemu	Vlastnosti vjemu
4 (max.)		
3,5	Dramatické	
3	Velmi silné	Silné kontrasty, nerozpoznatelné detaily ve stínu
2,5	Silné	Vhodný pro zobrazení, příliš tvrdý pro lidské rysy
2	Středně silné	Příjemný vzhled lidských rysů pro formální i vzdálené sdělení
1,5	Středně slabé	Příjemný vzhled lidských rysů pro neformální nebo blízké sdělení
1	Slabé	Měkký efekt pro tlumené kontrasty
0,5	Velmi slabé	Velmi slabé osvětlení bez stínu, směrový efekt nerozpoznatelný
0 (min.)		

Měření integrálních charakteristik

Oproti měření standardní osvětlenosti luxmetrem je pro měření skalárních integrálních charakteristik zpravidla zapotřebí speciálního nástavce, který odpovídá tvaru modelového přijímače. V případě nástavce pro měření střední kulové osvětlenosti je přijímač tvořen difuzním kulovým přijímačem, jehož vnitřní optické vlastnosti umožňují dopad paprsku na detektor s odpovídající charakteristikou. Kulový přijímač je zpravidla postaven na podstavě, jejíž plochou není světlo přijímáno. V případě měření střední válcové osvětlenosti je pro měření válcový nástavec vybaven cylindrickou difuzní plochou, která dovoluje přijímání paprsku na detektor pláštěm válce vyjma obou podstav. Pokud by byla přijímací charakteristika z popisové funkce vynesena graficky, jednalo by se o toroidní těleso, jehož vnitřní stěny by se ve středu dotýkali. Výstupem měření je jedna integrální skalární hodnota osvětlenosti. Měřicí přístroje doplněné o modelové nástavce viz obr. 5, jsou vzhledem ke složitě konstrukci i poměrně drahé.



Obr. 5: Obrázek 9: PRC Krochmann Radiolux 211 s nástavci střední kulové (vpravo), válcové, poloválcové a planární osvětlenosti

Měření střední krychlové osvětlenosti je realizováno měřeními šestice rovinných osvětleností do protilehlých směrů v kartézském souřadnicovém systému bez nutnosti použití drahých nástavců. Technicky je měření provedeno za pomoci šestice detektorů do všech směrů povrchu krychlového přijímače anebo pomocí jednoho detektoru, jehož pohyb umožňuje snímání ve všech směrech.

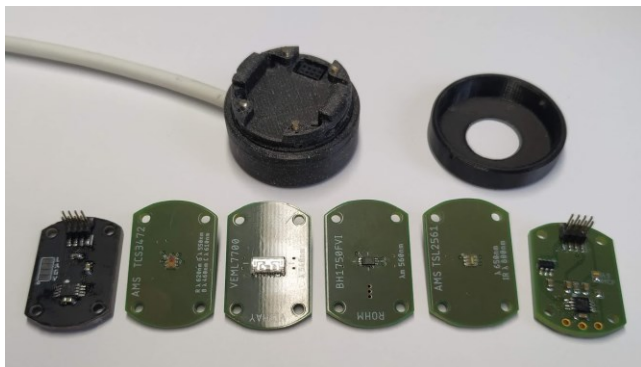
V minulosti se v odborné literatuře i v rámci výzkumu na ČVUT FEL autoři zabývali myšlenkou nahrazení libovolné střední osvětlenosti různou kombinací střední krychlové osvětlenosti, respektive kombinací určitých stěn přijímače. Z provedených experimentů bylo dokázáno, že střední krychlová osvětlenost E_{06} může být za určitých podmínek nahradit střední kulovou osvětlenost $E_{4\pi}$ [8][9]. Z provedeného experimentu v poli 25 kontrolních bodů v místnosti plyne, že se střední hodnota střední kulové osvětlenosti $E_{4\pi}$ a střední krychlové osvětlenosti E_{06} liší pouze o 1 % [8]. Postup náhrady lze analogicky aplikovat i na další charakteristiku, odejmutím spodní a horní stěny krychle vznikne střední osvětlenost čtyř stěn krychle E_{04} a je možné aproximovat střední válcovou osvětlenost E_z .

Možnosti aproximace střední kulové osvětlenosti $E_{4\pi}$ nebo válcové osvětlenosti E_z střední krychlovou osvětleností E_{06} resp. E_{04} nás vedly k myšlence rozšíření tohoto konceptu snímání parametrů světelného pole vektorově. Výsledkem měření střední krychlové osvětlenosti je mimo jiné světelný vektor, který ale není pro separaci parametrů a složek ve světelném poli dostatečně detailní. Rozšíření konceptu o měření ve více než čtyřech směrech by mělo umožnit měřit, vizualizovat a odvozovat hodnoty z fotometrické plochy osvětlenosti, které je zobrazeno výše na obr. 3.

Testování polovodičových senzorů osvětlenosti

Pro účely testování principů vícebodového snímání vektorových vlastností světelného pole byl sestaven testovací přípravek a bylo vybráno několik typů senzorů osvětlenosti. Cílem testu bylo ověřit vhodnost použití levných polovodičových senzorů pro účely měření osvětlenosti zejména ve více senzorových konfiguracích.

Základní modul na obr. 6 disponuje mikro počítačem a komunikačním rozhraním USB. Do základního modulu jsou pak jednotlivě vkládány separátní tištěné spoje, které jsou z vrchní strany osazeny jedním typem polovodičového senzoru a ze strany spodní převodníkem teploty.



Obr. 6: Přípravek pro měření několika vzorků senzorů osvětlenosti

Komunikace mezi vzorkem se senzorem a základním modulem je zajištěna pomocí osmi pinového konektoru, který disponuje nejen rozhraním digitální sběrnice I2C, ale přímým vstupem do analogového převodníku mikro počítače. Kryt přípravku disponuje bajonetovým systémem, který umožňuje upnutí na fotometrickou lavici v laboratoři světelné techniky. Firmware přípravku je nastaven tak, aby bylo možné načítat hodnoty z jednotlivých senzorů dle zadání.

Na základě průzkumu byly vybrány digitální i analogové senzory osvětlenosti, přičemž při výběru hrála největší roli zejména shoda s citlivostí lidského oka standardního fotometrického pozorovatele $V(\lambda)$, dynamický rozsah senzoru a směrová přijímací charakteristika.

Tabulka 3: Měřené vzorky polovodičových senzorů osvětlenosti

Model	Výrobce	Typ	Rozsah [lx]	výstup
BH1750FVI	ROHM	digitální	65535	I2C
TSL2561	AMS	digitální	40000	I2C
TCS3472	AMS	digitální	65535	I2C
VEML7700	Vishay	digitální	120000	I2C
SFH 3711	Osram	analog	18bitový převodník	Proudový Lineární
SFH 5711	Osram	analog	18bitový převodník	Proudový Logaritmický

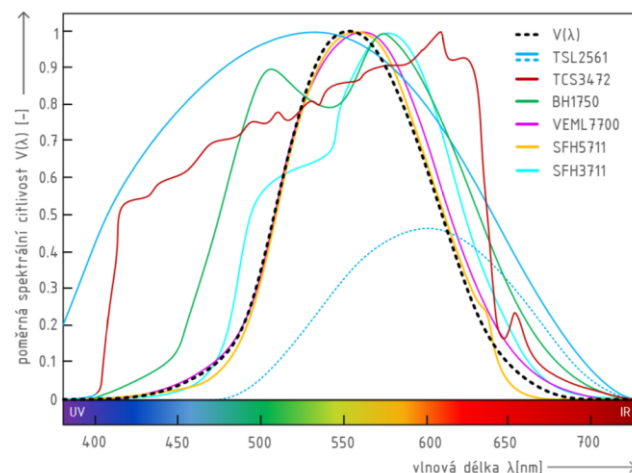
Digitálním senzorem se rozumí integrovaný obvod, který obsahuje nejen fotocitlivý element (fotodiodu) ale také zesilovač, analogově digitální převodník a komunikační rozhraní po digitální sběrnici. Analogové senzory jsou zejména fotodiody nebo fototranzistory, jejichž hodnoty svorkového napětí jsou po zesílení operačním zesilovačem načítány přes externí nebo interní analogově digitální převodník.

V rámci ověření vhodného polovodičového senzoru bylo ověřeno celkem 6 vzorků měření na fotometrické lavici. Ověření proběhlo jak pro směrovou odezvu, tak i pro linearitu senzoru. Spektrální charakteristiky v relativních jednotkách byly naopak převzaty z datových listů.

Porovnání polovodičových senzorů osvětlenosti

Prvním vizuálním výstupem je porovnání relativních spektrálních citlivostí všech senzorů. Na obr. 8 je jako

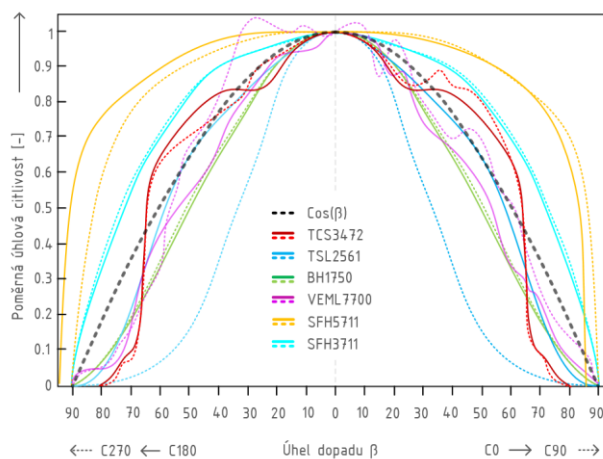
referenční křivka uvedena spektrální citlivost lidského oka standardního fotometrického pozorovatele $V(\lambda)$. Křivky pro senzor TSL2561 jsou v grafu světle modrou barvou dvakrát, protože senzor využívá pro aproximaci osvětlenosti dvě fotocitlivé matrice, kdy každá leží v odlišném pásmu spektrální citlivosti. Senzor TCS3472 využívá k aproximaci osvětlenosti RGB masku a v grafu je uvedena integrální citlivost pro všechny snímané barvy, dostupná také ze separátního kanálu C (výrobce označovaná jako Clear). Stejně jako v případě TSL2561 je i v případě TCS3472 odchylka od referenční křivky značná a z toho důvodu jsou pro zamýšlené účely nevhodné. Přesnější shoda je pro senzory BH1750 a SFH3711, téměř úplná shoda s referenční křivkou je u senzorů SFH5711 a VEML7700 a se jeví se tak jako vhodné.



Obr. 7: Porovnání spektrálních charakteristik senzorů, zdroj: datové listy senzorů

Se zvyšující se odchylkou od referenční křivky roste nutnost užití korekčního činitele, který je pro snížení nejistoty nutné znát pro každý typ měřeného světelného zdroje. Lze ale očekávat, že zdroje světla a mnohonásobné odrazy v světelném poli mají odlišné spektrální složení, a proto je kompenzace odchylky korekčním činitelem ve vícebodovém snímání téměř nemožná.

V rámci měření na fotometrické lavici byla ověřena úhlová citlivost senzorů vůči světelnému normálu 407 cd, 3000 K připojenému ke stabilizátoru napětí ve vzdálenosti 1 m. Na obr. 8 je dle definice zobrazen referenční průběh $\cos \beta$ (černě).



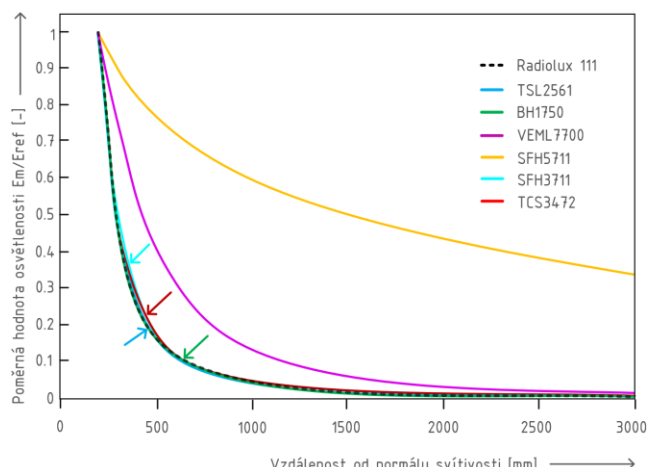
Obr. 8: Ověření úhlové citlivosti senzorů

Měření bylo pro všechny vzorky realizováno v příčné i podélné rovině s krokem 5° analogicky podle systému fotometrických rovin C – γ, kdy příčná rovina je vynesena plnou čarou (C0-C180) a podélná rovina čárkovanou čarou (C90-C270). V případě podélné roviny je orientace ve směru delšího rozměru pouzdra anebo ve směru vodivých kontaktů pouzdra integrovaného obvodu. Všechny hodnoty jsou pak vyneseny v relativních jednotkách, aby bylo možné jejich bližší porovnání.

Pro senzory SFH5711, SFH3711 a TSL2561 je odchylka symetrická a lze jí kompenzovat kosinovým nástavcem. Toto platí i pro BH1750 kde je rozdíl od referenční křivky tak nízký, že by mohl být možné senzor používat bez směrové korekce. Naopak v případě TCS3472 a VEML7700 je v grafu vidět kolísání a asymetrie, které jsou pravděpodobně důsledkem nahodilého přepínání rozsahu senzoru, nestability anebo odrazy v epoxidových pouzdech.

V rámci testu linearit je u senzoru ověřena hodnota čtení v normálovém směru vůči světelnému normálu. I v tomto případě byl použit normál svítivosti 407 cd, 3000 K a měření proběhlo na fotometrické lavici v rozsahu vzdálenosti 200 – 3000 mm s krokem 100 mm. Porovnání proběhlo vůči referenčnímu luxmetru PRC Krochmann Radiolux 111 (černá čárkovaná křivka) a výsledky měření byly opět vyneseny v relativních jednotkách pro porovnání. Z obr. 9 je evidentní, že senzory SFH3711, TSL2561, BH1750 a TCS3472 jsou s referenční křivkou téměř shodné.

U senzoru VEML 7700 vznikla odchylka přepínáním rozsahů v závislosti na vzdálenosti (v grafu vyhlazeno). Pro senzor SFH5711 byla vysoká odchylka očekávána, protože je jeho výstup logaritmický.



Obr 9: Ověření linearit senzorů na fotometrické lavici

Na základě naměřených hodnot pak byly stanoveny koeficienty přepočtu mezi referenčním luxmetrem a měřeným vzorkem. Vztahy jsou v tabulce 4 a jsou pro první čtyři vzorky vyjádřeny lineární funkcí, oproti tomu SFH 5711 exponenciální rovnicí a VEML 7700 polynomem.

Tabulka 4: Vztah mezi měřenou hodnotou a hodnotou referenčního luxmetru

Vzorek	Přepočtení vzorec pro linearizaci výstupu
BH 1750	$y = 0,862x - 4,313$
SFH 3711	$y = 0,6406x - 1,475$
TCS 3472	$y = 1,175x - 7,243$
TSL 2561	$y = 1,275x - 16,575$
SFH 5711	$y = 2,9389e^{(x/3994,78)}$
VEML 7700	$y = 0,0016x^2 + 0,4301x + 179,24$

Cílem porovnání bylo ověřit, zdali je možné použít levné polovodičové analogové a digitální senzory pro snímání osvětlenosti. Vybrané vzorky splňují požadavky pro zapojení

ve více senzorových konfiguracích v topologiích, které využívají multiplexory sběrnice nebo multiplexory analogových výstupů v případě analogových senzorů. Jako vhodné se ukazují oba modely Osram SFH 5711 a 3711 zejména pro svojí spektrální, prostorovou a známou lineární charakteristiku (po přepočtu), v případě 5711 je výhodou logaritmický výstup dovolující použít menší rozlišení převodníku pro větší efektivní rozsah. Ze skupiny digitálních senzorů je ukazuje jako vhodný kandidát ROHM BH1750, naopak nevhodný VEML7700 zejména pro nelinearitu výstupu. Ta je způsobena autonomním přepínáním rozsahů v oblasti měřené na fotometrické lavici. Senzory TSL2561 se ukazují jako nevhodné kvůli neodpovídající spektrální odezvě, TCS3472 nejen kvůli nestabilní směrové odezvě ale i často se přepínajícími rozsahy a tím způsobeným nepřesnostem.

Prototyp senzoru střední válcové osvětlenosti

Cílem výběru senzoru bylo zamýšlené užití ve více senzorovém přípravku pro měření parametrů světelného prostředí vektorově. Z uvedeného testu je patrné, že je možné přípravek konstruovat jak ze senzorů analogových, tak i digitálních. V obou případech by bylo nutné sběrnici nebo analogový signál přepínat multiplexory. Při návrhu se vychází z předpokladu, že senzor má lineární odezvu vůči množství dopadajícího světla, jeho spektrální citlivost se blíží křivce $V(\lambda)$, teplotní kompenzace je realizována přímo v senzoru automaticky nebo je závislost známá a je možné jí realizovat softwarově. Případné odchylky mezi vyšším množstvím jsou kompenzovatelné jedním kalibračním koeficientem a řešeny taktéž softwarově.

Senzor pro měření střední válcové osvětlenosti vychází z analogického užití střední hodnoty čtyř stěn krychle, které je ale rozšířeno o měření ve více směrech a dá se tedy mluvit o střední hodnotě více stěny. Toho by bylo dosaženo při rovnoměrném rozprostření několika senzorů na povrch válce. U válcového snímače bude možné vyhodnocovat osvětlenosti z více směrů na rozdíl od válcového nástavce, který, lze změřit pouze výslednou hodnotu. Jedním přijímačem lze tedy vyhodnocovat válcovou i poloválcovou osvětlenost (případně i čtvrtválcovou osvětlenost).

Závěr

Na základě teoretického rozboru v oblasti parametrů světelného pole byl proveden výběr levných polovodičových senzorů osvětlenosti, které by umožnili více senzorové aplikace pro měření parametrů světelného pole. Mohlo by tak být ověřeno, zdali je možné nahradit konvenční postupy pro měření integrálních charakteristik skalárně drahými nástavci luxmetrů a umožnit kromě měření jedné hodnoty hodnotit hned několik parametrů najednou při vektorovém měření.

Na základě výsledků testů byly vybrány vhodné analogové senzory Osram SFH 5711 i SFH 3711 anebo digitální Rohm BH1750. Pro zmíněné senzory byla ověřena linearita rozsahu na fotometrické lavici ale i úhlová odchylka. Pro všechny měřené vzorky byla navíc stanovena rovnice pro linearizaci výstupu vůči referenčnímu luxmetru. Návrh fyzického zařízení a ověření jeho vlastností bude předmětem budoucí práce.

Zdroje

- [1] GERSHUN A.A.: SVETOVOE POLE. GOSTECHIZDAT, MOSKVA 1936
- [2] HABEL, Jiří. *Světlo a osvětlování*. Praha: FCC Public, 2013. ISBN 978-80-86534-21-3.
- [3] CUTTLE, Christopher. *Lighting design: a perception-based approach*. London: Routledge, [2015]. ISBN 978-0-415-73196-6.

- [4] CUTTLE, Christopher. *Lighting by design*. 2nd ed. Boston, MA: Elsevier/Architectural Press, 2008. ISBN 978-0750687683.
- [5] CUTTLE, C. Cubic illumination. *Lighting Research Center*. 1997, 14.
- [6] STRAKA, Tomáš. Hodnocení jakosti osvětlovacích soustav: doktorská disertační práce. Praha, 2001. Disertace (PhD.). České vysoké učení technické, Elektrotechnická fakulta, Katedra elektroenergetiky, Praha. Vedoucí práce Jiří Habel.
- [7] *Světlo a osvětlení – Osvětlení pracovních prostorů – Část 1: Vnitřní pracovní prostory*. 1. CEN, 2012.
- [8] Habel J., Kyncl „J., Straka T.: Rozbor poměrů střední kulové osvětlenosti. „Technika osvětlování XVIII“ Ostrava 1999. str.8-16.
- [9] MANGKUTO, RA. A comparison of three approaches for determining scalar illuminance from cubic illuminance data. *Lighting Res. Technology*. 2019, (51), 17.

Autoři: Ing. Michal Kozlok, e-mail: kozlomi1@fel.cvut.cz, Ing. Petr Žák, Ph.D., e-mail: zakpetr@fel.cvut.cz, Ing. Marek Bálský, Ph.D., e-mail: balskmar@fel.cvut.cz; České vysoké učení technické v Praze, Fakulta elektrotechnická, Technická 2, Praha 6, ČR

Exposure to sunlight requirements in the design of building envelope structures

Abstract. Envelopes of buildings fulfil several functions during their operation. They protect users from unfavourable outside environment effects like the excessive weather changes or noise. Building envelopes are essential structural elements regulating the quality of the indoor environment as well as gains and losses of energy during building operation. Their integrated system can be typologically divided into functions in the zones defined by the perimeter of the envelope and into functions influencing characteristics of the indoor environment. An important component of indoor environment is visual comfort significantly predetermined by control of the skylight and direct sunlight. The global climate changes can be observed in the last period. The effective utilization of solar energy is considerable important in terms of both hygiene and energy aspects.

The insolation is required in indoor spaces of residential buildings and nurseries and of their relevant exteriors. Criteria for design of insolation are based on the assessment of the insolation at the reference point which is located on the inner window glazing surface. The case study of the nursery will present analysis of the impact of the aperture dimensions in the envelope to the interior insolation and discuss criteria for seasonal interior insolation.

Keywords: sunlight to exposure, criteria for evaluation of sunlight to exposure, nurseries, building envelopes.

Introduction

The sun radiation was and it is basic condition for existence of flora, fauna and humanity and is still an important component of the environment not only in the urban environment but also in the building interiors. The sun radiation positively affects human health and it is necessary for the healthy growth of children. It has antirachitic effects, supports the production of vitamin D in the human body [1 - 5] (Halahyja et al. 1970, Kittler 1977a, Rybár et al. 2002, Kittler et al. 2012, Kaňka 2014) and also bactericidal effects in interiors. It is no coincidence, when apartments and pre-schools are designed, the requirements for exposure to sunlight in [6] (Decree of the Ministry of Health No. 259/2008) have to be met.

From a historical point of view, can be noticed that regulations and standards in the United Kingdom with more detailed requirements for insolation of rooms in residential buildings were applied already in 1945 [7] (BSCP CP3, 1945). In accordance with this document, the exposure to sunlight at least 1 hour at a certain time of the day was required in living rooms, kitchens and bedrooms for a period of not less than 10 months of the year, from February to November. Bedrooms and kitchens were recommended to insolate in the morning up to noon and living rooms in the afternoon. Sunlight rays with deviation less than 22.5° from window plane and less than 5° above the horizon were not included in the calculation of insolation.

The first standard requirements for insolation of apartments in Czechoslovakia were adopted in [8] ČSN 73 0020:1955. It was required such orientation of apartment rooms in residential buildings that they could be faced in azimuth 60° - 300° from North and insolation should be at least 40 minutes in the period between March 1 to October 15. The influence of the window dimensions and its reveal had to be taken into account.

Dunajev analysed in [9] the sun ray penetration through the daylight opening into the living rooms, unless the window reveal does not create an obstacle at locations of north latitudes 40° - 70°. He did not work with a reference point but with a sun beam whose width decreases with the angle of incidence, i.e. with an angle measured from the window normal.

The standard [10] ČSN 73 0511:1955 was replaced by the standard [11] ČSN 36 0035:1967 published in 1968 and standard [12] ČSN 73 4301:1968. Requirements only for evaluation of daylighting are determined in the [11] ČSN 36

0035:1967 while requirements for evaluation of insolation are stated in the [12] ČSN 73 4301:1968. The orientation of living rooms to the south-east and south-west within 45° from south was recommended in [12] ČSN 73 4301:1968. The insolation at least 1 hour and 30 minutes a day in the period between March 1 and October 15 was required.

The thickness of the window reveal was taken into account by deviation 30° of sun rays from the window opening and deviation 22°30' for windows with a reveal less than 0.2 m. The reference point was placed on the building facade. The standard already prescribed using the uniform northern latitude $\varphi = 50^\circ$ for calculation of the sun exposure duration.

Kittler (1977b) in [13] informed on the revision of standards ČSN 73 4301 and ČSN 73 4305 [14] (STU 1976) which brought a new requirement for 3 hours insolation between 09:00 - 17:00 h on the half of the playground areas and outdoor recreational areas in housing estates.

Next revision of the standard [15] ČSN 73 4301:1987 was in the 1980s was valid since January 1, 1989. These standard specified rules for location of the reference point which was placed on the inner plane of the glazing, 0.3 m above the sill and at least 1.2 m above the floor. The thickness of the window reveal was not taken into account for investigation of incident rays but the minimum deviation of 25° from the façade was used. The minimum acceptable time 1 hour and 30 minutes of the insolation per day between March 1 and October 14 was required. The standard prescribed for sun exposure calculation to use geographical latitude $\varphi = 50^\circ$ for the whole territory of the Czechoslovak Socialist Republic. The Amendment a - 9/1991 of [16] ČSN 73 4301:1987 was published in 1991 which subject is Annex 3 containing the graphical determination of the meridian convergence. The standard [17] STN 73 4301:1998 replaced the standard [15] ČSN 73 4301:1987 in its entirety. The position of the reference point was determined same as in [15] ČSN 73 4301:1987. This document solved also the effective angle of incident solar rays at the reference point at the glazing of the slope opening. In this case, the effective angle was determined by deviation from normal of the glazing max. 70°. It was required at least 1.5 hours of exposure to sunlight between March 1 and October 13 when sun altitude γ_s is more than 5° above the horizon. Except the uniform geographical latitude $\varphi = 49^\circ$ for the whole Slovakia using the local geographical latitude was permitted.

Current requirements for insolation of nurseries

Currently, the standard [18] STN 73 4301:2005 is applied for evaluation of exposure to sunlight in apartments of residential buildings. This standard contains the same rules for the reference point location as was given in [17] STN 73 4301:1998. It is in [18] STN 73 4301:2005 at least 1.5 hours duration of the exposure to sunlight between March 1 to October 13 when sun height is more than 5° above the horizon is required similar to [17] STN 73 4301:1998. It is allowed to apply the requirement at least 1 hour of the exposure to sunlight in historical parts of cities while it is recommended to define these historical parts by the responsible institution. Only the uniform geographical latitude $\varphi = 49^\circ$ for whole Slovakia without possibility to use the local geographical latitude is allowed.

Any technical standards for evaluation of the access to sunlight in nurseries are not valid and were not adopted up to now. The regulation [6] Decree of the Ministry of Health of the Slovak Republic No. 259/2008 was published in 2008 in which rules for evaluation of exposure to sunlight in play rooms of nurseries is required while its determination is prescribed by the same manner as for the dwelling rooms. Minimum 1.5 hours of insolation is required during the operation time of nurseries from 10:00 h to 15:00 h in a day between March 1 and October 13. Shading by new surrounding buildings shall not reduce the insulated outdoor area intended for children activities to less than 50 % of its total area. In the case, when outdoor insulated area is less than 50% of its total area, this shall not be reduced by shading of further constructions. Exposure to sunlight in rooms is assessed at the reference point located on the inner surface of the glazing in the centre of the window at least 1.2 m above the floor. Sun beams reaching the reference point with a horizontal deviation from the glazing less than 25° are not included in the calculation of the insolation time. According to [18] STN 73 4301:2005 exposure to sunlight in Slovakia is determined in the True Solar Time and for uniform geographical latitude $\varphi = 49^\circ$.

Nursery – case study

There can be occurred a many solutions of shapes and layouts of nurseries, with different room orientations and different window dimensions as well as different surrounding building location. The criteria for evaluation of the exposure to sunlight assume situations when sun rays reach or not reach the reference point and an insolation is detect due to testing these situations. In certain cases, the exposure to sunlight can be difficult to evaluate especially for wide and strip windows. There are cases when the reference point is screened by own or surrounding

obstructions and only a part of the window transmits sun rays into the interior. One such case, as an example of nursery insolation, is the subject of the presented case study.

The investigated nursery is a ground floor building with sloping roof which ridge is at +5.14 m above ± 0.00 , Figure 1 and Figure 2. The entrance of the nursery is in the vestibule 108 with orientation to the southwest, Figure 3. Close the vestibule is located the playroom 107 with the 3 m x 2.945 m floor plan (area 8.84 m²) and 2 m x 1.5 m window with the 0.85 m height sill, Figure 3.

The ridge of the vestibule slope roof is 3.515 m above ± 0.00 . The orientation of the play room 107 is to the southwest, with the 13° deviation of window from the north to the west, i.e. the window normal is 77° from the south.

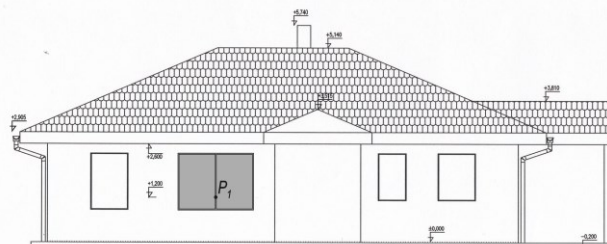


Fig. 2. View on the façade with 2 m x 1.5 m window in the playroom 107

The access to sunlight was firstly studied in the room 107 with 2 m window width on selected days between March 1 and October 13 and on February 1 as is recommended by the new standard [19] EN 17037. The program Astra - Sunlis 5.0.100 [20] was used to calculate access to sunlight. The uniform latitude $\varphi = 49^\circ$ was taken into account. Because the Astra - Sunlis program requires input geographical longitude, the value $\lambda = 17.2^\circ$ of a certain location in Slovakia was used. Shading of sunlight by external obstructions was not considered in this case study.

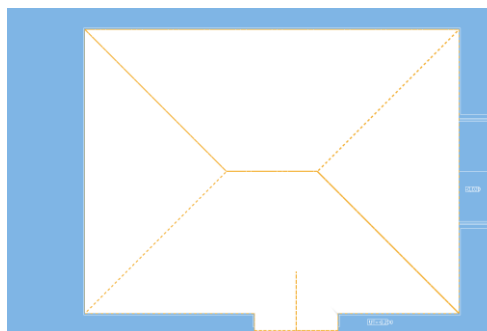


Fig. 2. View of the building roof with the roof over the vestibule, output from the program Astra - Sunlis

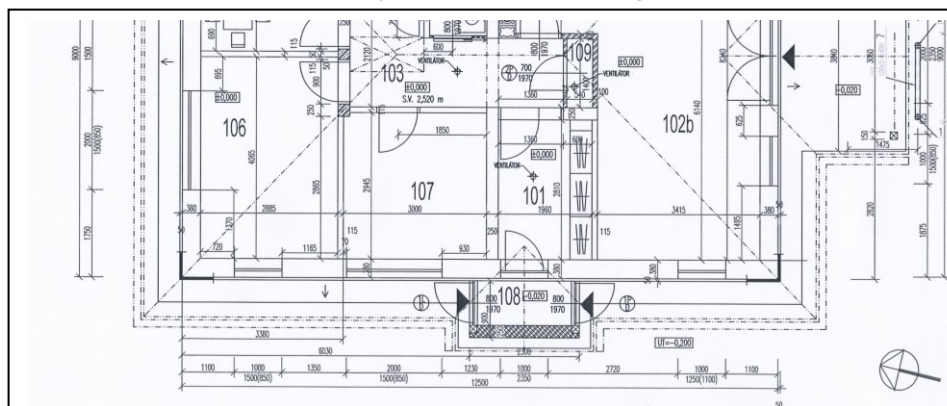


Fig. 3. Ground floor plan of the play room 107 and vestibule 108

The findings of the year-round investigation of insolation show that play room 107 will not be sufficiently insulated several days from 10:00 a.m. to 3:00 p.m. in the period between March 1 and October 13, Table 1. Shading of the vestibule roof reduces duration of insolation for several days, it was on 1.3., 8.4. - 16.4., 26.8. - 4.9., 12.10. and 13.10. Authorized civil engineers respecting requirements of the [6] Decree of the Ministry of Health of the

Slovak Republic No. 259/2008 will evaluate room 107 as interior without access to sunlight.

According to the [18] STN 73 4301:2005, the minimum window width for insolation is 0.9 m and the minimum its area can be 10% of the total area of the room. In the presented study, the minimum window area for access to sunlight in play room 107 is 0.1 m x 8.84 m = 0.884 m². As the window height 1.5 m is given by the project, then respecting the requirement of 10 % of the room area, the minimum window width will be 0.884 m² / 1.5 m = 0.58 m, which is less than required by [18] STN 73 4301:2005. Therefore, the 0.9 m window width was used in next calculations.

Table 1. The exposure to sunlight in the play room 107 with 2 m x 1.5 m window

Day	Calculated time of access to sunlight, [h:min]			Access to sunlight during performance time 10:00 - 15:00 [h:min]	Evaluation
	Daily sum	From	To		
1.2.*	2:26	13:33	15:59	1:27	Non-complying
1.3.	3:24	13:30	16:55	1:30	Complying on 1.3.
2.3.	3:24	13:32	16:57	1:28	Non-complying
21.3.*	3:42	13:49	17:32	1:11	
5.4.	4:16	13:41	17:57	1:19	Complying on 8.4. – 16.4.
8.4.	4:35	13:28	18:03	1:32	
15.4.	4:47	13:28	18:14	1:32	
16.4.	4:46	13:30	18:16	1:30	
17.4.	4:47	13:31	18:18	1:29	Non-complying
15.5.	5:00	14:00	18:58	1:00	
21.6.	5:06	14:17	19:20	0:43	
15.7.	5:03	14:08	19:10	0:52	
15.8.	4:52	13:43	18:34	1:17	
25.8.	4:48	13:31	18:19	1:29	Complying on 26.8. – 4.9.
26.8.	4:47	13:30	18:17	1:30	
4.9.	4:35	13:28	18:03	1:32	Non-complying
5.9.	4:29	13:32	18:01	1:28	
15.9.	3:46	13:57	17:43	1:07	
11.10.	3:23	13:31	16:54	1:29	Complying on 12.10. and 13.10.
12.10.	3:23	13:29	16:52	1:31	
13.10.	3:23	13:27	16:50	1:33	
Note	Period recommended by the EN 17037				
	*	Boundary date recommended by the EN 17037			

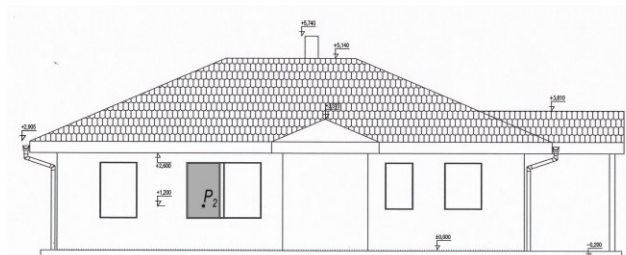


Fig. 4. View on the façade with 0.9 m x 1.5 m window in the playroom 107

Secondly, as the window in the room 107 is relatively wide it can be assumed that portion of glazing can transmit sun rays into the room also during days when the reference point P₁ is not insolated. The same building model as in Figure 1, but with different opening dimensions was modelled to find answer whether such situation can occur. The window with minimum permitted width 0.9 m was placed to the right reveal of the opening, as far as possible from the vestibule, see Figure 4 and Figure 5. The exposure to sunlight was evaluated at the new reference point P₂ located at the 1.2 m height above the floor in the centre of this virtual window, Figure 4.

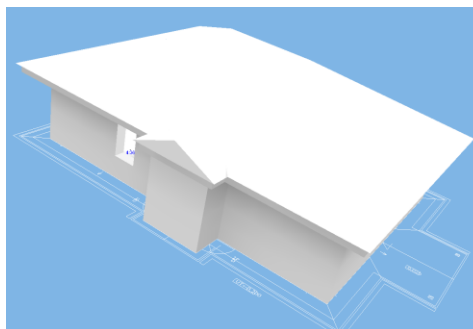


Fig. 5. 3D-model of the building with 0.9 m width window, output from the program Astra – Sunlis

Table 2. The exposure to sunlight in the play room 107 with 0.9 m x 1.5 m window

Day	Calculated time of access to sunlight, [h:min]			Access to sunlight during performance time 10:00 - 15:00 [h:min]	Evaluation
	Daily sum	From	To		
1.2.*	3:04	12:59	15:59	2:01	Complying on 1.2. – 14.4
1.3.	3:32	13:23	16:55	1:37	
2.3.	3:34	13:23	16:57	1:37	
21.3.*	4:31	13:01	17:32	1:59	
5.4.	4:38	13:19	17:57	1:41	Non-complying
14.4.	4:42	13:30	18:12	1:30	
15.4.	4:47	13:31	18:14	1:29	
15.5.	4:56	14:02	18:58	0:58	
21.6.	5:01	14:19	19:20	0:41	
15.7.	4:59	14:11	19:10	0:49	
15.8.	4:49	13:45	18:34	1:15	
27.8.	4:44	13:31	18:15	1:29	
28.8.	4:43	13:30	18:13	1:30	
15.9.	4:34	13:09	17:43	1:51	
13.10.	3:28	13:24	16:50	1:36	Complying on 28.8. – 13.10.
Note	Period recommended by the EN 17037				
*	Boundary dates recommended by the EN 17037				

The exposure to sunlight was calculated using program [20] ASTRA Sunlis 5.0.100 applying the same procedure as in the first case when the play room with the 2 m wide window was investigated. As is documented in Table 2, the room will not be insolated for whole required period also in this second case. It is interesting, that sun rays will penetrate into the room in winter, spring (February 1. – April

14) and in autumn (August 28 – October 13) while exist days when the reference point P_1 in the 2.0 m width window will not receive sun rays during documented days. Sun rays will also penetrate into the room in the summer from 41 min up to 1.5 hours which less than required by [6] Decree of the Ministry of Health of the Slovak Republic No. 259/2008.

Discussion

Several standard procedures for evaluation of exposure to sunlight were adopted in Czechoslovak and Slovak standards and regulations as it was mentioned in the introduction. While up to 1987 the insolation was evaluated on the exterior surface of the façade only for apartments in residential buildings, since 1987 evaluation of insolation is proceeded in the reference point with more precise determined position. The influence of the reveal was neglected in the past, later replaced by the dead angle of constant value. In [19] EN 17037 the dead angle is determined by the window width and its reveal thickness. Maixner in [21] warned the risks of the strict respect for the fixed dead angle.

Assessing exposure to sunlight at the reference point has many advantages but also disadvantages. The main advantages include the ability to assess and control insolation in a simple way while the penetration of sunlight into the interior is sufficiently ensured in most cases. The disadvantages is in the absence of evaluation of the transmission sun rays through the certain part of lighting opening, which can be real situation. As already mentioned, there can occur cases when the sun rays do not reach the reference point but penetrate into the interior by another part/surface of the window glazing. In such cases can become that the room will be assessed as not insulated and decision of experts will not exactly correspond utilisation of the room.

It is necessary to sensitively design window dimensions and determine location of the reference point. In the case of strip and wide windows, the methodology for calculation of the exposure to sunlight should not work with a one reference point but with reference points placed in the segments of the lighting aperture. This would respect more real insolation conditions occurred during investigated period.

In the first case, the room with 2 m window width will be insulated during 22 days in the period between March 1 and October 13. Evaluation of exposure to sunlight using the 0.9 m window width segment extended the insolation period to 92 days, which is 70 days more than in the first case.

It is also worth considering whether insolation should be required in summer months when building occupants use shading devices in the lighting openings to avoid glare at the workplace and to prevent room overheating. This problem is partially solved by [19] EN 17037. After this standard the exposure to sunlight is evaluated on the reference day chosen from the period between February 1 to March 21, so summer season is excluded from the evaluation. In this study analysed the play room 107 would comply requirements of [19] EN 17037 and can be utilised as a play room.

Conclusions

The transition from simple building design and evaluation procedures to computer-based procedures is observed also in lighting engineering area. This progress is thanks due to new knowledge, better computerisation and higher qualification of lighting engineers and technicians.

In elaborations of standards, it can be observed a trend of more precise placement of the reference point and better determination of the period in which insolation will be

desired. Current evaluation methods generally simulate exposure to sunlight similar to real. Standard requirements and criteria do not always cover all possible building layout solutions and influences of surrounding obstructions, so consideration of many realistic insolation conditions can be problematic.

It would be helpful to have methodology for investigation of exposure to sunlight in rooms with wide and strip windows based on window sectors with dimensions higher than minimal prescribed by the standard.

A lot of discussions about climate changes and increase number of sunny days with higher temperatures had been provided in recent years. Longer periods with the use of air conditioning are frequent during building operation. Requirements for insolation of indoors in summer can result higher demands on energy consumption. The problem of interior insolation in summer must be solved sensitively, because there are groups of people, e.g. immobile, who have to occupy buildings also in the summer and also must have access to sunlight.

The standard [19] EN 17037 allows to consider insolation in the transitional periods when it is generally welcomed in building interiors and allows to disregard it in summer when penetrating sunlight can cause overheating and interiors are normally shaded during sunny days. Access to sunlight is required in living rooms of apartments, playrooms in nurseries and bed rooms in hospital pavilions according to [19] EN 17037. Apparently, there is another group of buildings where people should have access to sunlight, e.g. sanatoriums, facilities for seniors etc.

Next discussion could be orientated to determination of the reference day or period for the standard evaluation of exposure to sunlight. Requirements for interior insolation during spring season are specified in regulations of several countries. Obviously, summer insolation of rooms should be clearly determined in national regulations, because it will be more undesirable than necessary mainly in the southern European countries.

Acknowledgments: Authors are grateful for support of the Slovak research agency VEGA in the project VEGA 2/0042/17, international cooperation IEA SHC Task 61 and SRDA agency in the project APVV--0118-12.

REFERENCES

- [1] Halahya, M., Fehér, J., Hykš, P. Stavebná tepelná technika, osvetlenie a akustika (Building thermal technology, daylighting and acoustics and), Bratislava: ALFA, 1970
- [2] Kittler R. Jednoduché zásady a posudzovacie metódy pre schval'ovanie insolácie a denného osvetlenia projektovaných sídlisk a budov (Simple principles and evaluation methods for approving insulations and daylighting of projected housing estates and buildings). Acta hygienica, epidemiologica et microbiologica, (1977), No. 4, 26-30
- [3] Rybár, P., Šesták, F., Juklová, M., Hraška, J., Vaverka, J. Denní osvětlení a oslunění budov (Daylighting and insolation in buildings). Brno: Era group, 2002, ISBN 80-86517-33-0.
- [4] Kittler, R., Kocifaj, M., Darula, S. Daylight science and daylighting technology, New York: Springer, 2012, 978-1-4419-8815-7
- [5] Kaňka J. Proslunění budov a urbanismus (Insolation of buildings and urbanism). Světlo, 17 (2014), No. 1, 33–35
- [6] Vyhláška MZ SR č.259/2008 o podrobnostiach o požiadavkách na vnútorné prostredie budov a o minimálnych požiadavkách na byty nižšieho štandardu a na ubytovacie zariadenia (Regulation No. 259/2008 of the Slovak Ministry of Health and Care on details on requirements for indoor in buildings and minimal

requirements for lower standard flats and accommodation facilities)

- [7] BSCP CP3, British Standard Code of Practice CP:3. – Chapter 1(B), Sunlight (Houses, flats and schools only). Code of Practice Committee, 1945
- [8] ČSN 73 0020:1955, Předpisy pro projektování investiční výstavby – Obytné budovy (Rules for design of investment constructions – Residential buildings), valid from 1. 2. 1955
- [9] Dunajev, B.A., Insolacija žilych zdanij (Insolation of residential buildings), Moskva: Gosudarstvennoje izdatel'stvo literatury po strojitel'stvu, architekture i strojitel'nyh materialam, 1962
- [10] ČSN 73 0511:1955, Denní osvětlení průmyslových budov. (Daylighting of industrial buildings), valid from 1. 2. 1956
- [11] ČSN 36 0035:1967, Denní osvětlení budov (Daylighting in buildings), valid from 1. 1. 1968, it replaced the standard ČSN 73 0511:1955
- [12] ČSN 73 4301:1968, Obytné budovy (Dwelling buildings), valid from 1. 1. 1969, it replaced the standard ČSN 73 0020:1955
- [13] Kittler, R., Urbanistické zabezpečovanie insolácie sídlisk a metódy jej predurčovania (Urban provision of insulations of housing estates and methods of its predetermination). Urbanita, 19 (1977), No. 4, 91-95
- [14] STÚ (1976), I. znění revidovaného návrhu norem ČSN 73 4301 a ČSN 73 4305, část proslunění, čl. 24 – 29 (Revised draft of standards ČSN 73 4301 and ČSN 73 4305, part insolation, par. 24 – 29), Praha: Studijní a typizační ústav, August 1976
- [15] ČSN 73 4301:1987, Obytné budovy (Dwelling buildings), valid from 1. 1. 1989, it replaced the standard ČSN 73 4301 from 21.3.1968
- [16] ČSN 73 4301:1987, Obytné budovy, Zmena a – 9/1991 (Dwelling buildings, Amendment a – 9/1991), valid from 1. 11. 1991
- [17] STN 73 4301:1998, Budovy na bývanie (Dwelling buildings), it replaced the standard ČSN 73 4301 from 19. 8. 1987 in its entirety, valid from June 1998
- [18] STN 73 4301:2005, Budovy na bývanie (Dwelling buildings), valid from June 2005, it replaced the standard STN 73 4301 from June 1998 in its entirety
- [19] EN 17037, Daylight in Buildings, Brussels: CEN-CENELEC, December 2018
- [20] Astra Sunlis 5.0.100, <http://www.astrasw.cz/cs/sunlis-5>
- [21] Maixner T., Oslunění, proslunění a úhel 25° (Insolation, sunshine and angle 25°). Světlo, 21 (2018), No. 4, 24 - 25

Authors:

Associate Professor Stanislav Darula, PhD., SCCE, Institute of Construction and Architecture Slovak Academy of Sciences Bratislava, 9 Dubravska Road, SK-845 03 Bratislava, Slovakia, usarsdar@savba.sk

Dipl. Ing. Marta Malíková, Institute of Construction and Architecture Slovak Academy of Sciences Bratislava, 9 Dubravska Road, SK-845 03 Bratislava, Slovakia, malikova.marta@savba.sk

Prostorové spektrální vlastnosti svítidel

Abstrakt: Díky neustávajícímu vývoji se světelné zdroje LED postupně stávají dominantním světelným zdrojem na trhu a až na výjimky v určitých specifických aplikacích dnes LED technologie tvoří většinu portfolia a tržeb výrobců osvětlení. Nové technologie s sebou ale přináší nové technické problémy a výzvy, kterými je třeba se zabývat. Jedním ze specifík LED technologie oproti technologiím konvenčním je jiné konstrukční řešení a s tím spojené odlišné šíření světla ve svítidle. Tento článek má proto za cíl analyzovat, zda a jak konstrukce LED svítidel ovlivňuje prostorové rozložení spektra vyzařovaného světla. Cílem článku je též ověřit teoretické hypotézy změřením prostorových spektrálních charakteristik LED svítidel.

Klíčová slova: LED, svítidlo, prostorové rozložení svítivosti, spektrální charakteristiky.

Úvod

Prostorové spektrální charakteristiky jsou kombinací integrálních prostorových charakteristik (prostorového rozložení svítivosti) a charakteristik spektrálních [1]. Zobrazují závislosti spektra světla vyzařovaného svítidlem na úhlu vyzařování vzhledem k optické ose svítidla. Vlastnosti světla vyzařovaného svítidlem jsou v různých směrech ovlivňovány řadou světelně činných součástí svítidla. Některé z jevů, ke kterým dochází při odrazu či prostupu světla optickými materiály, jsou závislé na vlnové délce světla [2].

Lze tedy předpokládat, že světlo různých vlnových délek bude vyzařováno do různých směrů s různými spektrálními vlastnostmi a spektrum svítidla se tedy bude lišit v závislosti na pozorovacím úhlu. To má za následek situaci, kdy parametry svítidla udávané výrobcem (např. teplota chromatičnosti) mohou charakterizovat svítidlo jen ve směru, ve kterém byly výrobcem stanoveny, zatímco v jiných úhlech pozorování se deklarované parametry mohou rozcházet se skutečností.

Směrová spektrální závislost světla svítidel nemusí způsobovat nežádoucí jevy v interiérech s celkovou (hlavní) osvětlovací soustavou, kde vlivem mnohonásobných odrazů světla s rozdílnými spektrálními vlastnostmi dopadá na srovnávací rovinu již spektrálně homogenní světlo. Stejně tak mohou být směrové spektrální rozdíly světla svítidel eliminovány mnohonásobnými odrazy světla v konvenčních (např. zářivkových) svítidlech, kde světlo vycházející ze svítidla je směsí světla mnohonásobně odraženého reflektorem uvnitř svítidla a primárního světla světelného zdroje.

Směrová spektrální závislost světla svítidel se naopak může projevat v osvětlovacích soustavách s reflektorovými či směrovými LED svítidly např. viditelnými změnami barev v okrajích ploch osvětlených těmito svítidly. Směrové spektrální rozdíly mohou být pozorovány též ve venkovních osvětlovacích soustavách s moderními LED svítidly, kdy při krajních úhlech pozorování může světlo vykazovat spektrální vlastnosti odlišné od vlastností deklarovaných v optické ose svítidel.

Příčiny směrové spektrální závislosti světla svítidel

Hypotéza vysvětlující příčinu směrové spektrální závislosti světla LED svítidel je postavena na interakci záření LED čipu a luminoforu. Většina LED diod používaných v osvětlování je typu PC (z angl. „phosphor covered“), dioda je tedy opatřena luminoforem, který absorbuje část záření modré diody. Míra absorpce je lineárně závislá na vzdálenosti, kterou musí světlo v materiálu urazit (tedy na tloušťce luminoforu v daném úhlu vyzařování). Světlo vyzářené ve směru optické osy diody prochází nejkratší cestou luminoforem, je tedy nejméně absorbováno. Naproti

tomu při zvyšujícím se úhlu vyzařování světla z diody vůči její optické ose se dráha světla prostupujícího luminoforem zvyšuje a roste tedy i míra absorpce. V okrajových částech LED čipů navíc může být prostup světla luminoforem deformován okrajovým zakřivením luminoforu, viz obr. 1.



Obr. 1: LED COB (Chip On Board) s okrajovým zakřivením luminoforu [4].

Výše zmíněné hypotézy předvídají menší podíl krátkých vlnových délek (modré složky světla) při velkých úhlech vyzařování a s tím související změny kvalitativních parametrů světla, např. teploty chromatičnosti. Proto byla provedena analýza vzorku LED svítidla, jejíž výsledky jsou popsány níže.

Prostorové spektrální charakteristiky svítidel

Prostorovou spektrální charakteristiku lze chápat buď jako změnu spektra v závislosti na poloze v prostoru vůči svítidlu (resp. na úhlu vyzařování), nebo jako změnu prostorové charakteristiky v závislosti na vlnové délce světla.

Z toho vyplývá i možnost, jak lze prostorové spektrální charakteristiky graficky zobrazit. Buď lze do jednoho polárního diagramu vynést prostorové charakteristiky sestavené pro různé vlnové délky, nebo pro různé úhly vyzařování sestavit poměrné spektrální charakteristiky a následně je vynést do společného grafu. Druhý popsáný způsob je názornější a lze s jeho využitím zobrazit i malé změny spektra. Další způsoby zobrazení spektrálních prostorových charakteristik již nejsou tak názorné ani praktické, nicméně v principu jsou stále použitelné. Jedná se např. o charakteristiku vynesenu v 3D grafu, tedy závislost 3 veličin (poměrná spektrální hustota intenzity vyzařování, úhel vyzařování a vlnová délka) [3].

Abychom mohli sestavit prostorovou spektrální charakteristiku svítidla, je tedy třeba změřit spektrum svítidla v různých úhlech vyzařování. Pro měření těchto charakteristik slouží goniospektrometr, kombinující principy goniometru (viz [2]) a spektrometru.

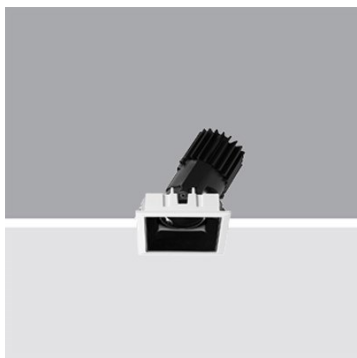
Měření spektrálních prostorových charakteristik vybraného svítidla bylo provedeno na fotometrické lavici v laboratoři světelné techniky ČVUT v Praze, FEL, s využitím spektrometru Gossen Mavospec Base [5]. Spektrometr byl umístěn na fotometrickou lavici v konstantní vzdálenosti od vertikálně upevněného svítidla a nastavení úhlu pozorování svítidla bylo zajištěno pomocí goniometru fotometrické lavice rotací svítidla kolem jeho osy. Nevýhodou tohoto způsobu je, že svítidlo není upevněno v provozní poloze.

Pro měření prostorových charakteristik svítidla by bylo třeba provádět měření v různých fotometrických rovinách C-γ [2]. Prostorové rozložení svítivosti svítidla je ale středově symetrické, proto bylo měření provedeno pouze v jedné z rovin (C = 0 °), jelikož výsledky měření v ostatních rovinách by byly identické (což potvrzují fotometrická data výrobců svítidel, viz např. [6]).

Při otáčení svítidla na goniometru klesá spektremetrem měřená osvětlenost (resp. ozářenost) podle prostorové charakteristiky svítidla. Abychom mohli mezi sebou porovnávat spektra s různými ozářenostmi, jsou všechny naměřené hodnoty spektrální hustoty ozářenosti podělené integrální hodnotou ozářenosti pro daný úhel měření. Hodnoty spektrální hustoty ozářenosti jsou tedy přepočítané na společnou úroveň ozářenosti 1 W/m². Výsledné hodnoty vynášené do grafů jsou tedy v poměrných jednotkách nm⁻¹.

Vybraný vzorek LED svítidla

Měřeným vzorkem bylo svítidlo iGuzzini P725 (viz obr. 2) [6]. Svítidlo iGuzzini P725 je reflektorové svítidlo určené k instalaci do podhledu. Sestává z jednoho velkého PC LED čipu a rotačně symetrického zrcadlového reflektoru s fazetami. Tuto část lze natáčet až do úhlu cca 30 ° od vertikálního směru. Na zrcadlový reflektor navazuje lesklý černý čtvercový reflektor, který již ale nijak neovlivňuje další šíření světla. Svítidlo není opatřeno difuzorem [3].



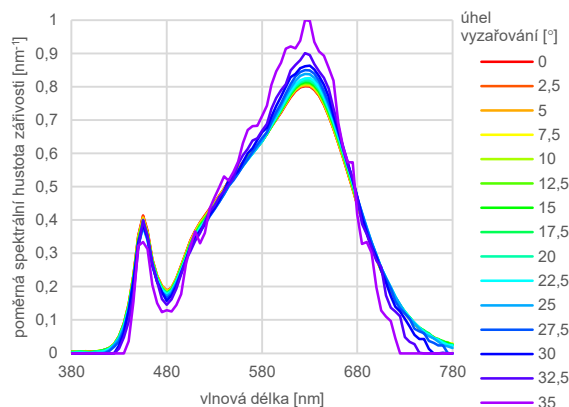
Obr. 2: LED svítidlo iGuzzini P725 [6].

Měření spektra svítidla iGuzzini P725 probíhalo s krokem vlnové délky 5 nm a krok úhlu vyzařování byl zvolen 2,5 °. Poměrně malý krok úhlu vyzařování byl zvolen proto, že svítidlo iGuzzini P725 má úzkou prostorovou charakteristiku svítivosti. Měření bylo provedeno v souladu s [1] jako měření orientační.

Prostorové spektrální charakteristiky vybraného svítidla

V grafu na obr. 3 jsou vyneseny hodnoty poměrné spektrální hustoty zářivosti naměřené a přepočtené dle postupu uvedeného výše. Pro úplnost graf zahrnuje i krajní úhly vyzařování až do 35 °, ačkoliv samotný LED čip je přímo viditelný pouze do úhlu cca 30 °. V krajních úhlech je tedy naměřeno již jen světlo rozptýlené od reflektoru svítidla. Ozářenost čidla spektrometru pro tyto úhly je navíc již velmi

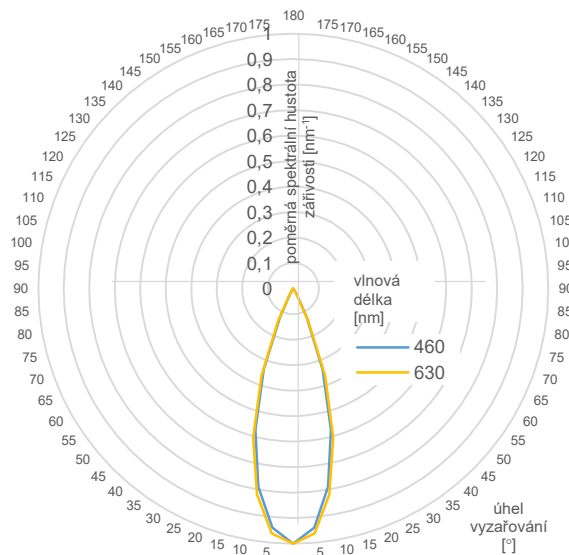
nízká a spektrální průběh pro vyzařovací úhly nad 30 ° je tedy zatížen velkou nejistotou měření [3].



Obr. 3: Prostorová spektrální charakteristika svítidla iGuzzini P725 [6].

V grafu na obr. 3 lze sledovat pokles zářivosti v okrajových částech spektra při vyšších úhlech vyzařování, což je ovlivněno nižší citivostí měřicího přístroje při velmi nízkých spektrálních zářivostech pro dané vlnové délky. V momentě, kdy absolutní hodnota spektrální hustoty zářivosti klesne pod určitou úroveň, spektrometr není schopen tuto hodnotu naměřit, a proto v oblasti nejdelších vlnových délek padají naměřené hodnoty při vyšších úhlech vyzařování k nule.

Jak bylo uvedeno výše, lze prostorovou spektrální charakteristiku chápat i jako prostorovou charakteristiku zářivosti v závislosti na vlnové délce. Graf na obr. 4 zobrazuje takto vytvořenou prostorovou spektrální charakteristiku v polárním diagramu [3].



Obr. 4: Prostorová spektrální charakteristika svítidla iGuzzini P725 v polárním diagramu zářivosti [6].

Tento typ grafického zobrazení ale není příliš vhodný, jednotlivé křivky v grafu totiž téměř splývají a rozdíly mezi nimi jsou obtížně pozorovatelné. V grafu jsou proto kvůli přehlednosti vyneseny jen dvě zvolené vlnové délky odpovídající lokálním maximům spektra (modré a oranžové barvě). Aby byly křivky vzájemně porovnatelné, jsou hodnoty přepočítané na společnou hodnotu spektrální hustoty zářivosti. Změny prostorových spektrálních charakteristik

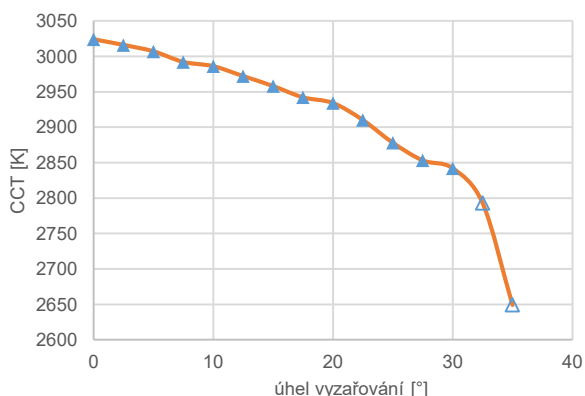
zobrazené v grafu na obr. 4 jsou patrné, nicméně graf na obr. 3 je zobrazuje podstatně lépe [3].

Náhradní teplota chromatičnosti LED svítidel

Dosud uvedené prostorové spektrální charakteristiky zobrazují rozdíly ve spektrálním složení světla měřeného svítidla. Ne vždy je ale zcela jasné, jak se jednotlivě změny spektra projeví v barevném (vizuálním) vjemu pozorovatele. To lze značně zjednodušit využitím kvalitativních parametrů světla, např. náhradní teploty chromatičnosti (CCT) [3].

Nejvhodnější metodou pro měření náhradní teploty chromatičnosti v závislosti na úhlu vyzařování svítidla je metoda spektrofotometrická (angl. Spectrophotometric Colorimetry). Určení náhradní teploty chromatičnosti světelných zdrojů vychází ze znalosti vyzařovaného spektra. Tato metoda předpokládá změření celého viditelného spektra od 380 nm do 780 nm s krokem alespoň 5 nm pomocí spektrometru. Pak lze náhradní teplotu chromatičnosti určit výpočtem spektrofotometrickou metodou, jejíž algoritmus je přímo zabudován ve firmwaru spektrometru Mavospec Base [5]. Měření teploty chromatičnosti tedy probíhalo ve stejném uspořádání, stejným přístrojem a ve stejné době jako měření výše uvedených prostorových spektrálních charakteristik [3].

Na obr. 3 a 4 bylo ukázáno, že vyzařované spektrum svítidla se mění v závislosti na úhlu vyzařování. Jelikož náhradní teplota chromatičnosti světla úzce souvisí s jeho spektrálním složením, lze předpokládat, že i náhradní teplota chromatičnosti se bude měnit v závislosti na úhlu vyzařování svítidla. Graf na obr. 5 zobrazuje závislost náhradní teploty chromatičnosti na úhlu vyzařování svítidla iGuzzini P725. Náhradní teplota chromatičnosti postupně s rostoucím úhlem vyzařování klesá [3].



Obr. 5: Závislost CCT na úhlu vyzařování svítidla iGuzzini P725 [6].

Pro úhly vyzařování větší než 30° je pokles náhradní teploty chromatičnosti náhle výrazně prudší. Jak ale bylo zmíněno výše, pro tyto úhly se jedná pouze o spektrum světla odraženého reflektorem naměřené s velkou nejistotou v důsledku velmi malé ozářenosti čidla spektrometru. Z dat pro vyzařovací úhly nad 30° je tedy vypočítaná náhradní teplota chromatičnosti jen orientační. Tyto hodnoty jsou v grafu pro úplnost barevně odlišeny [3].

Pokles náhradní teploty chromatičnosti přesně odpovídá naměřené prostorové spektrální charakteristice (viz obr. 3), v níž s rostoucím úhlem dochází k poklesu intenzity modré složky světla vůči intenzitě oranžové barvy. Při větších úhlech je více dominantní oranžová část spektra, což odpovídá nižší náhradní teplotě chromatičnosti [3].

Využití prostorových charakteristik v praxi

Náhradní teplota chromatičnosti a spektrální složení světla jsou základními parametry každého svítidla. Tyto hodnoty jsou deklarovány výrobcem a uváděny v dokumentaci svítidla. Proto je třeba stanovit metodiku měření náhradní teploty chromatičnosti svítidel tak, aby její výsledky byly opakovaně ověřitelné a nemohlo docházet k tomu, že vlivem odlišných spektrálních vlastností svítidla v různých směrech vyzařování bude při ověřování změřena náhradní teplota chromatičnosti v jiném směru. Ověřování těchto parametrů je nutné obzvláště pro speciální aplikace, kde je třeba dodržet přesné spektrální složení světla (resp. náhradní teplotu chromatičnosti či indexu podání barev) na základě legislativy či smluvního vztahu [3].

Například dokument [7] vydaný Úřadem pro publikace Evropské unie shrnuje aktuální stav požadavků kladených na uliční osvětlení a navrhuje nová opatření a ustanovení pro následující období. Dle tohoto dokumentu se některé požadavky kladené na osvětlení liší podle náhradní teploty chromatičnosti svítidel, pro jejíž stanovení tak bude třeba navrhnout metodiku tak, aby stanovené hodnoty byly ověřitelné a v souladu s výše popsanými skutečnostmi [3].

V kap. 6.1.3. dokumentu [7] jsou navrhovány požadavky na minimální hodnoty měrného výkonu svítidel. Tyto požadavky se ale nevztahují na svítidla s náhradní teplotou chromatičnosti $CCT \leq 2700$ K [3].

Dalším příkladem je v dokumentu [7] zmiňovaný standard LIL (Low Impact Lighting), který stanovuje limity za účelem omezení rušivého světla a omezení modré barvy ve spektru uličního osvětlení (kvůli vlivu na cirkadiánní rytmus člověka [8]). Jsou zde stanoveny následující požadavky:

- CCT < 2200 K a zároveň v oblasti vlnových délek kratších než 500 nm musí být vyzářeno méně než 6 % celkového světelného toku (s výjimkou osvětleností do 5 lx, při nichž je povolena CCT až 2700 K a 10 % vyzářeného toku v části spektra do 500 nm),
- měrný výkon svítidel musí být větší než 50 lm/W pro CCT < 1900 K, 95 lm/W pro CCT v rozmezí 1900 – 2200 K a 100 lm/W pro CCT v rozmezí 1900 – 2200 K [3].

Zmíněné dokumenty [7] a další technické normy (ČSN, EN, CIE) nejsou závazné (pokud tak není stanoveno v zákoně), nicméně slouží jako doporučení pro stanovení požadavků např. pro veřejné zakázky a ve většině případů se dodržují.

Uvedené příklady ilustrují, že metodika určování náhradní teploty chromatičnosti svítidla je velmi důležitá, neboť na základě tohoto parametru jsou často kladeny další požadavky [3].

Závěr

Z grafu na obr. 3 je zřejmé, že spektrum LED svítidla iGuzzini P725 se dle uvedených hypotéz mění v závislosti na úhlu vyzařování. Ve spektru lze zřetelně pozorovat úzkou špičku okolo vlnové délky cca 460 nm, která přísluší modré barvě primárního světla LED diody. Díky luminoforu ale svítidlo dominantně vyzařuje v oblasti žluté, oranžové a červené barvy s maximem kolem 630 nm [3].

Na základě výsledků měření zobrazených na obr. 3 a 4 je možné konstatovat, že s rostoucím úhlem vyzařování měřeného LED svítidla podíl modré složky klesá, zatímco podíl složky s vyššími vlnovými délkami se zvyšuje. To má vliv i na související změny náhradní teploty chromatičnosti svítidla v závislosti na úhlu vyzařování. Rozdíl mezi náhradní teplotou chromatičnosti světla vyzářeného přímo pod úhlem vyzařování 0° a pod hraničním úhlem 30° činí přibližně 150 K.

Prostorová závislost spektrálního složení vyzařovaného světla se u konvenčních zdrojů vzhledem k jiné konstrukci a principu funkce neprojevovala, proto tato problematika dříve

nebyla řešena technickými normami. Až s velkým rozmachem LED zdrojů a svítidel na trhu v posledních letech se tato problematika ukazuje jako důležitá a dosud opomíjená téma [3].

SEZNAM ODBORNÉ LITERATURY

- [1] ČSN EN 13032. Světlo a osvětlení - Měření a uvádění fotometrických údajů světelných zdrojů a svítidel. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2005.
- [2] J. Habel a kol., Světlo a osvětlování, Praha: FCC Public, 2013. ISBN: 978-80-86534-21-3.
- [3] T. Kodytek, Spektrální prostorové vlastnosti moderních LED svítidel, Praha: ČVUT FEL, diplomová práce, 2019.
- [4] Wikipedia: Chip On Board. Dostupné z: https://en.wikipedia.org/wiki/Chip_on_board
- [5] Mavospec Base [online]. GOSSEN Foto- und Lichtmesstechnik, 2019. Dostupné z: <https://gossen-photo.de/en/mavospec-base/>
- [6] iGuzzini P725 [online], 2019. Dostupné z: <https://www.iguzzini.com/p725/>
- [7] Donatello S., et al., Revision of the EU Green Public Procurement Criteria for Road Lighting and traffic signals, EUR 29631 EN, Publications Office of the European Union, Luxembourg, 2019, ISBN 978-92-79-99077-9, doi:10.2760/372897, JRC115406. Dostupné z: http://ec.europa.eu/environment/gpp/pdf/tbr/190125_JRC115406_eu_gpp_road_lighting_technical_report.pdf
- [8] P. Žák, J. Zálešák, The influence of spectral properties of light in street lighting on visual perception Proceedings of 2016 IEEE Lighting Conference of the Visegrad Countries, Lumen V4 2016

Autoři: Ing. Marek Bálský, Ph.D., e-mail: balskmar@fel.cvut.cz; Ing. Rudolf Bayer, Ph.D., email: bayrrud@fel.cvut.cz; Ing. Michal Kozlók, e-mail: kozlomi1@fel.cvut.cz, České vysoké učení technické v Praze, Fakulta elektrotechnická, Technická 2, Praha 6, ČR

An Express Analysis of Nocturnal Ground Irradiance in Densely Populated Areas

Abstract. A simple method for determination of diffuse irradiances in populated regions at night is proposed. It allows the rapid predictions for different emission functions and light technologies under clear sky as well as overcast sky conditions. Thus it could be useful when the extensive set of computations for different light sources is desired to analyse their impact on diffuse illuminance/irradiance level in urban environment or the spectral composition of scattered light. In this sense a set of numerical simulations was performed considering various configurations.

Keywords: artificial light; diffuse irradiance; Eddington's approximation

Introduction

The light emitted from densely populated areas interacts with the ambient atmosphere and causes illumination of places that can be quite distant from original light sources. This diffuse light is observed as an artificial night sky brightness.

However, modelling the diffuse radiance field originating from discrete light sources is an extremely difficult issue. For the sake of brevity, such discrete system of sources has to be averaged and approximated by a quasi-homogeneously light-emitting surface. If this emitting surface can be extended to infinity – an idealization corresponding to large densely populated areas -, and assuming the model of plane-parallel atmosphere, the problem can be described by a simple 1D radiative transfer equation (RTE). Moreover, its solution is related to the solution of RTE for a homogeneous flux entering the atmosphere, which is known from solar radiation transfer problems. So the familiar computational techniques are at disposal. We use here the Eddington's approximation which suppose the two-term approximation of the intensity, although also the so called two-stream method could be used (see e.g. [1, 2]). For their simplicity and good accuracy, these schemes are still utilized for calculations in many circulation and climate models [3, 4].

The method proposed allows rapid numerical simulations with the aim to obtain the downward diffuse irradiances. The results are expressed as the ratio of the diffuse irradiance to the emitted spectral flux density. This makes the results independent of a particular amount of emitted radiation and moreover the ground spectral irradiance can be simply rescaled in order to simulate an arbitrary lamp spectra. The numerical experiments have been performed for clear and overcast sky conditions with different turbidity, as well as for various lighting parameters.

RTE for uniformly radiated surface and solution concept

As it has been already mentioned, we approximate a dense system of light sources spread over a large area by the uniformly radiating infinite plane. Let each element of the surface emits radiation of various wavelengths λ proportionally to the spectral radiance $B_\lambda(\vec{\Omega}_0)$ in the direction $\vec{\Omega}_0 = (\vartheta_0, \varphi_0)$, where ϑ_0 is a zenith angle and φ_0 is an azimuth angle. Considering the plane-parallel model of the atmosphere with an optical depth τ_λ increasing with the altitude from the ground, we can write the following radiative transfer equation for the spectral radiance $I_\lambda(\tau_\lambda, \vec{\Omega})$ of the diffuse light proceeding in the direction $\vec{\Omega} = (\vartheta, \varphi)$:

$$(1) \quad \cos \vartheta \frac{d}{d\tau_\lambda} I_\lambda(\tau_\lambda, \vec{\Omega})$$

$$= -I_\lambda(\tau_\lambda, \vec{\Omega}) + \frac{\varpi_\lambda}{4\pi} \oint I_\lambda(\tau_\lambda, \vec{\Omega}') p_\lambda(\vec{\Omega}, \vec{\Omega}') d\Omega' + \frac{\varpi_\lambda}{4\pi} \int B_\lambda(\vec{\Omega}_0) \exp\left(-\frac{\tau_\lambda}{\cos \vartheta_0}\right) p_\lambda(\vec{\Omega}, \vec{\Omega}_0) d\Omega_0$$

where the single scattering albedo ϖ_λ and the scattering phase function $p_\lambda(\vec{\Omega}, \vec{\Omega}')$ have to be averaged over all atmospheric constituents.

As the first boundary condition, we postulate that there is no diffuse radiation entering the atmosphere from above. In general, the downward diffuse radiation reflects from the ground and the second boundary condition at the lower interface could be in principle postulated in this manner. However, for the sake of simplicity we will assume that there is no diffuse radiation entering the atmosphere from bellow. The ground-reflected radiation originating from artificial sources is treated separately as the initial radiation entering the atmosphere.

Let us express the surface emission radiance $B_\lambda(\vec{\Omega}_0)$ as a product of the scalar quantity $F_{0,\lambda}$, which has the dimension of spectral flux density and serve as a scaling parameter for given wavelength, and the function $\psi(\vec{\Omega}_0)$, which characterizes an angular behaviour of upward emissions and has the dimension sr^{-1} . It can be simply proven, that in such case the solution of Eq. (1) may be expressed in the form

$$(2) \quad I_\lambda(\tau_\lambda, \vec{\Omega}) = \int \psi(\vec{\Omega}_0) I_{0,\lambda}(\tau_\lambda, \vec{\Omega}, \vec{\Omega}_0) d\Omega_0$$

where $I_{0,\lambda}(\tau_\lambda, \vec{\Omega}, \vec{\Omega}_0)$ satisfies the equation

$$(3) \quad \cos \vartheta \frac{d}{d\tau_\lambda} I_{0,\lambda}(\tau_\lambda, \vec{\Omega}, \vec{\Omega}_0) = -I_{0,\lambda}(\tau_\lambda, \vec{\Omega}, \vec{\Omega}_0) + \frac{\varpi_\lambda}{4\pi} \oint I_{0,\lambda}(\tau_\lambda, \vec{\Omega}', \vec{\Omega}_0) p_\lambda(\vec{\Omega}, \vec{\Omega}') d\Omega' + \frac{\varpi_\lambda}{4\pi} F_{0,\lambda} \exp\left(-\frac{\tau_\lambda}{\cos \vartheta_0}\right) p_\lambda(\vec{\Omega}, \vec{\Omega}_0)$$

with the analogous boundary conditions.

Similarly, we can write for upward (the sign plus) and downward (the sign minus) horizontal flux densities:

$$(4) \quad S_\lambda^\pm(\tau_\lambda) = \int \psi(\vec{\Omega}_0) S_{0,\lambda}^\pm(\tau_\lambda, \vec{\Omega}_0) d\Omega_0$$

where

$$(5) \quad S_{0,\lambda}^\pm(\tau_\lambda, \vec{\Omega}_0) = \pm \int I_{0,\lambda}(\tau_\lambda, \vec{\Omega}, \vec{\Omega}_0) \cos \vartheta d\Omega$$

The integration in the above formula runs over the upper hemisphere for the upward flux and over the lower hemisphere for the downward flux.

Eq. (3) describes the radiative transfer in the atmosphere in case when collimated beams of the spectral flux density

$F_{0,\lambda}$ are incident on its interface under the angle ϑ_0 . Such equation is notoriously known from the problems of radiative transfer in planetary atmospheres so we can use some familiar methods developed for its solution. Already mentioned Eddington's or two-stream approximation present itself as the simple and satisfactory accurate computational approaches when we are interested just in the horizontal fluxes. We may use them to calculate the flux densities $S_{0,\lambda}^{\pm}(\tau_{\lambda}, \vec{\Omega}_0)$ and then to calculate $S_{\lambda}^{\pm}(\tau_{\lambda})$ according to Eq. (4).

Our main interest concerns the downward diffuse spectral irradiance on the ground level. It is natural to assume the azimuthal symmetry of upward emissions from the surface. Then we can write

$$(6) \quad S_{\lambda}^{-}(0) = 2\pi \int_0^{\pi/2} \psi(\vartheta_0) S_{0,\lambda}^{-}(0, \vartheta_0) \sin \vartheta_0 d\vartheta_0$$

However, it is more convenient for modelling purposes as well as for comparative analysis to relate the downward irradiance to the spectral flux density $S_{e,\lambda}$ of the radiation emitted from the surface plane. Thus, we define a dimensionless ratio

$$(7) \quad R_{\lambda}(0) = \frac{S_{\lambda}^{-}(0)}{S_{e,\lambda}}$$

where

$$(8) \quad S_{e,\lambda} = 2\pi F_{0,\lambda} \int_0^{\pi/2} \psi(\vartheta_0) \cos \vartheta_0 \sin \vartheta_0 d\vartheta_0$$

Seeing that $S_{0,\lambda}^{-}(0, \vartheta_0)$ is proportional to $F_{0,\lambda}$, as it results from Eq. (3), the ratio $R_{\lambda}(0)$ is independent of this parameter and so it is independent of spectral characteristics of light emissions. It depends just on angular distribution of upward emissions.

To obtain a broadband diffuse irradiance measurable by an appropriate detector, we need to take into account its spectral sensitivity $C(\lambda)$ over the corresponding wavelength interval (λ_1, λ_2) . Then, using Eqs. (6)-(8), we can calculate the broadband irradiance as follows:

$$(9) \quad S^{-}(0) = 2\pi \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} R_{\lambda}(0) F_{0,\lambda} C(\lambda) d\lambda \times \int_0^{\pi/2} \psi(\vartheta_0) \cos \vartheta_0 \sin \vartheta_0 d\vartheta_0$$

If $C(\lambda)$ represents the luminosity function of the human eye, Eq. (9) gives the diffuse illuminance of the ground.

Outgoing from Eddington's approximation, after some algebra we get also an estimation of a zenith radiance (luminance) $I_z = 5S^{-}(0)/(4\pi)$, which could serve also as an indicator of night sky brightness.

Computational scheme

The plane-parallel atmosphere is stratified into a set of parallel layers, each of which is characterized by optical properties and concentration of its gaseous and aerosol constituents. In the latter case, also a size distribution of aerosols has to be taken into account. A cloud deck may be simulated by a large amount of water droplets with convenient size distribution added to a corresponding layer.

Eq. (3) is then solved numerically on such atmospheric model for various ϑ_0 and arbitrary $F_{0,\lambda}$ using Eddington's approximation to obtain a set of the flux densities $S_{0,\lambda}^{-}(0, \vartheta_0)$. Assuming a specific angular distribution $\psi(\vartheta_0)$ of surface emissions we calculate the dimensionless factor $R_{\lambda}(0)$. As it has been mentioned, this does not depend on a spectral distribution of light emissions, so an arbitrary lamp spectrum with particular $F_{0,\lambda}$ can be investigated. Finally, the

broadband diffuse irradiance (illuminance) may be calculated according to Eq. (9).

Numerical experiments

Numerical simulations were performed for clear sky as well as for overcast sky conditions. In the second case a cloud deck with the base altitude equal to 1 and 4 km was considered to simulate stratus and altostratus clouds. Moreover, two extreme state of atmospheric turbidity expressed by an aerosol optical depth (AOD) were taken into account: a slightly polluted atmosphere with AOD = 0.1 and highly turbid atmosphere with AOD = 0.5. The both values are related to the nominal wavelength 500 nm and we consider that AOD is inversely proportional to the wavelength [5]. The aerosol single scattering albedo was set equal to 0.85 [6].

The emission radiance of the surface was simulated by the Garstang's model [7]. That is, we consider

$$(10) \quad \psi(\vartheta_0) \propto 2G(1 - F) + 0.554F\vartheta_0^4 / \cos \vartheta_0$$

where F is a fraction of light radiated directly into the upper hemisphere and G is a fraction of the rest light which is diffusely reflected from the ground. Although the Garstang's model is oversimplified, for our purposes to illustrate differences between diffuse irradiances due to well shielded and poorly shielded sources it appears to be satisfactory. We present here results for three combinations of (F, G) : (0.15, 0.15) corresponding to the original Garstang's model; (0.1, 0.07) more suitable for US cities [8]; (0.0, 0.07) as the ideal case with no direct upward emissions.

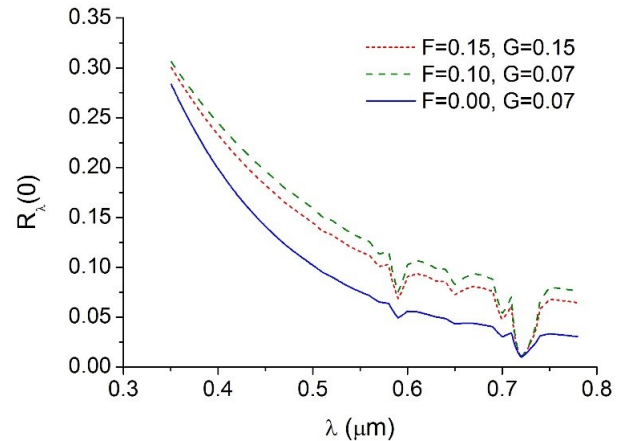


Fig.1. Spectral dependence of $R_{\lambda}(0)$ for clear sky – low turbidity

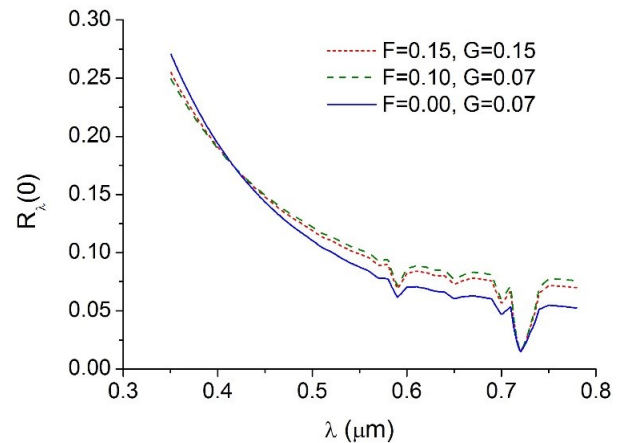


Fig.2. Spectral dependence of $R_{\lambda}(0)$ for clear sky – high turbidity

The dimensionless factors $R_\lambda(0)$ computed over the visible spectrum under clear sky conditions are depicted in Figs. 1 and 2. Fig. 1 illustrates the case of the slightly polluted atmosphere (AOD = 0.1) and Fig.2 shows the case of the highly turbid atmosphere (AOD = 0.5). The factor $R_\lambda(0)$ generally decreases with the wavelength roughly as $\lambda^{-2.5}$ (at the low turbidity). So the blue light of LED lamps should make the sky even more bluish. In the red end we see the depressions due to absorption by water vapour. The higher atmospheric turbidity causes only moderate decrease of $R_\lambda(0)$ at short wavelengths, the domain of longer wavelengths is not influenced by it too much.

Comparing the curves corresponding to $F = 0.1$ and $F = 0$ in Fig. 1, one can see that $R_\lambda(0)$ is clearly smaller for the ideal source surface with zero direct uplight. The same holds also for the diffuse spectral irradiances, forasmuch as $S_{e,\lambda}$ is smaller in the second case. The main contributions to the downward diffuse radiation does not originate from zenith emissions, but rather from emissions to higher zenith angles. As indicates Fig. 2, the higher turbidity slightly represses the difference between the irradiances.

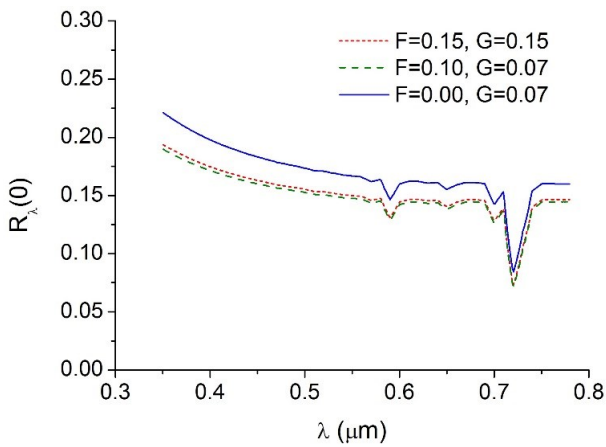


Fig.3. Spectral dependence of $R_\lambda(0)$ for overcast sky with cloud base at 1 km - low turbidity

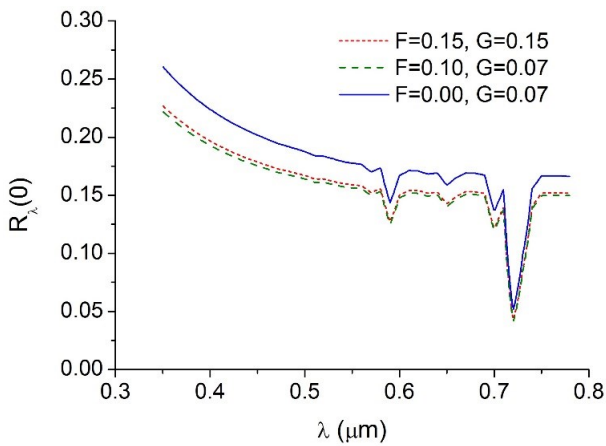


Fig.4. Spectral dependence of $R_\lambda(0)$ for overcast sky with cloud base at 4 km - low turbidity

The analogous spectral dependences of $R_\lambda(0)$ calculated under overcast conditions and low turbidity are shown in Figs. 3 and 4. It is evident that the cloud layers suppress the bluish effect appearing at clear sky conditions. The decrease of $R_\lambda(0)$ with the wavelength is now more moderate: it is a function of $\lambda^{-1/2}$ or $\lambda^{-1/3}$. The higher turbidity just slightly shifts $R_\lambda(0)$ to lower values.

The curve $F = 0$ is now situated above the curve $F = 0.1$. Although the corresponding diffuse irradiance is still greater in the latter case. It suggests, that clouds make the contributions to the downward radiation originating from zenith emissions more important than those from emissions to lower elevation angles. We could also formulate it in such a manner, that in case of cloudy sky, closer light sources contribute to the sky brightness more than the distant ones. It is the opposite effect as we have observed in case of the clear sky. However, it is quite natural, because we can imagine a cloud layer as the reflector of light.

The tabulated values of the factor $R_\lambda(0)$ calculated over the visible spectrum taking into account the introduced atmospheric conditions and some typical values of the parameters F and G can be found in publications [9-10].

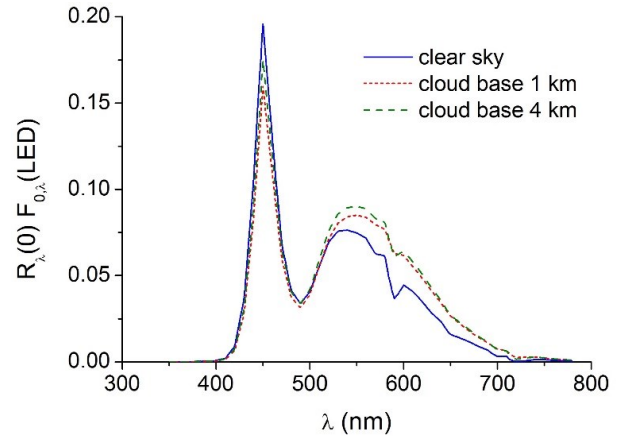


Fig.5. Product $R_\lambda(0)F_{0,\lambda}$ for LED spectrum of light sources with $F = 0.1$ and $G = 0.07$ under the low turbidity conditions

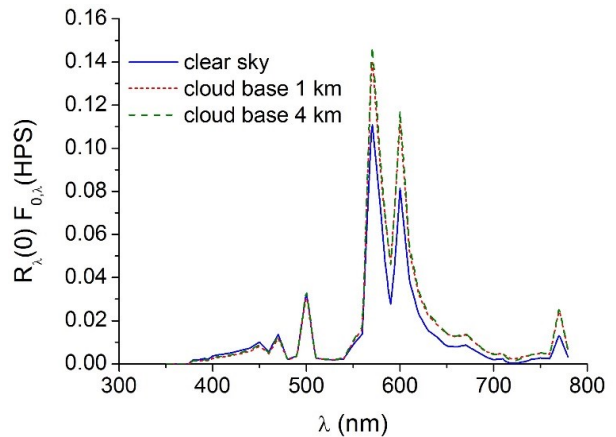


Fig.6. Product $R_\lambda(0)F_{0,\lambda}$ for HPS spectrum of light sources with $F = 0.1$ and $G = 0.07$ under the low turbidity conditions

As Eq. (9) indicates, it is necessary to multiply $R_\lambda(0)$ by the spectral distribution $F_{0,\lambda}$ of emitted radiation to obtain the horizontal diffuse irradiance on the ground level. This product calculated for $F_{0,\lambda}$ (normalized to the maximum values) corresponding to obvious LED and HPS spectra are depicted in Fig. 5 and Fig. 6. $R_\lambda(0)$ used there is computed for light sources with $F = 0.1$ and $G = 0.07$ under clear sky and overcast sky conditions with AOD = 0.1. The higher turbidity does not change the results qualitatively. In case of the LED spectrum, the scattering amplifies the emission peak in the blue part on the expense of the green-yellow part. This phenomenon is the most efficient under the clear sky. In case of the HPS spectrum, the yellow-orange emission peaks are suppressed in the diffuse radiation. The most efficiently again

under the clear sky. Of course, the spectral sensitivity function of a detector has to be yet superimposed to obtain the broadband diffuse irradiance or illuminance.

Conclusions

A computational method for rapid estimation of downward diffuse irradiances in densely populated areas is presented together with a few numerical examples. The exact modelling of ground-reaching diffuse radiation is extremely difficult, however, in case of a large radiating area we may make an idealization substituting a number of heterogeneous light sources by a plane surface characterized by an average directional emission function. This leads to the trivial radiative transfer equation solvable by the familiar approximate techniques.

The output of the introduced method is the dimensionless ratio of the spectral diffuse irradiance to the spectral flux density of upward emissions. This factor can be consequently combined with arbitrary spectral fluxes of light sources to investigate how they contribute to the ground-reaching diffuse radiation. On the other side, different directional emission functions can be analysed independently of a spectral distribution of emitted light.

We hope that this method could be useful for lighting engineers or environmentalists interested in the effects of the artificial light in a nocturnal urban environment.

This work was supported by the Slovak Research and Development Agency under the contract No. APVV-18-0014.

REFERENCES

[1] Liou, K.N.: An Introduction to Atmospheric Radiation, Second Edition, Academic Press, 2002

- [2] Thomas, G.E., Stamnes, K.: Radiative Transfer in the Atmosphere and Ocean, Cambridge Univ. Press, 2006
- [3] Stephens, G.L., Gabriel, P.M., Partain, P.T.: Parametrization of Atmospheric Radiative Transfer. Part I: Validity, *J. Atmos. Sci.*, 58 (2001), 3391-3409
- [4] Lu, P., Zhang, H., Li, J.: A comparison of two-stream DISORT and Eddington radiative transfer schemes in a real atmospheric profile, *J. Quant. Spectrosc. Radiat. Trans.*, 110 (2009), 129-138
- [5] Pesava, P., Horvath, H., Kasahara, M.: A local optical closure experiment in Vienna, *J. Aerosol Sci.*, 32 (2001), 1249-1267
- [6] Horvath, H., Arboledas, L.A., Olmo, F.J., et al.: Optical characteristics of the aerosol in Spain and Austria and its effect on radiative forcing, *J. Geophys. Res.*, 107 (2002), No. D19, 4386
- [7] Garstang, R.H.: Model of artificial night-sky illumination, *Publ. Astron. Soc. Pac.*, 98 (1986), 364-375
- [8] Luginbuhl, C.B., Lockwood, G.W., Davis, D.R., Pick, K., Selders, J.: From the ground up I: light pollution sources in Flagstaff, Arizona, *Publ. Astron. Soc. Pac.*, 121 (2009), 185-203
- [9] Kocifaj, M., Petržala, J.: Rapid approach to the quantitative determination of nocturnal ground irradiance in populated territories: a clear sky case, *Mon. Not. R. Astron. Soc.*, 462 (2016), 2739-2746
- [10] Petržala, J., Kocifaj, M.: Research on spectral factors towards determining nocturnal ground irradiance under overcast sky conditions in densely populated regions, *J. Quant. Spectrosc. Radiat. Trans.*, 189 (2017), 126-132

Authors: Mgr. Jaromír Petržala, PhD., Institute of Construction and Architecture, Slovak Academy of Sciences, Dúbravská cesta 9, 84503 Bratislava, Slovakia, e-mail: usarjape@savba.sk

Light-guide under homogenous and arbitrary skies: similarities and fundamental differences

Abstract. Clouds occupy 50% of the globe at any time, hence inhomogeneous sky situations can prevail in some regions. It is well recognized that the non-imaging concentrators mimic an instantaneous sky state, so the light delivery to the building interiors can be largely affected by the sky radiance/luminance irregularities. However, it is common practice in daylighting to consider homogeneous skies, while neglecting sudden radiance/luminance variations. The sky radiance distribution computed from two separate models (Perez all-weather and UMRP) was linked with Holigilm tool to compare optical effects we can expected under homogeneous and arbitrary skies.

Keywords: Perez all-weather model, Unified model of radiative patterns (UMRP), light tube efficiency, average cosine

Introduction

The novel technologies such as cylindrical light-guides transport the natural daylight into the building cores and thus reduce the electricity consumption otherwise used for artificial lighting during daytime. Evaluation of hollow light-guide effectiveness experimentally under controlled conditions is difficult due to fluctuations of exterior illumination. Numerical modelling is highly preferred in situations when mass calculations are required e.g. to test different light-guide technologies, to identify basic features of light field below a pipe and to find an optimum properties of light-pipe installations accepting prevailing sky types in a given territory. In this paper we link two unique solutions in order to predict light-pipe performance under realistic sky conditions, including broken cloud arrays. Unisky Simulator is used to model radiance patterns for arbitrary sky conditions, while the optical properties of light guide is determined using Holigilm solution. The light guide's optical efficiency, averaged cosine and working place illumination are analyzed and compared under partly cloudy skies described by homogenized (Perez all-weather) sky luminance model and unified model of radiative patterns (UMRP).

Theoretical background

Modelling the sky luminance/radiance distribution with broken clouds is a nontrivial problem because the clouds can differ in size, shape and spatial distribution. The problem is solved by the method of Successive Orders of Scattering (SOS) in which the total radiance of a sky element is formulated as an infinite series of higher-scattering radiances where radiance from clouds and cloudless atmosphere can be separated [1]. Due to fast convergence the model can be limited to the first two scattering modes, so the total sky radiance can be written as follows

$$L_{e,\lambda}^+ = \sum_{i=1}^{\infty} L_{e,i,\lambda}^+ \cong L_{e,1,\lambda}^{S+} + L_{e,2,\lambda}^{S+} + L_{e,1,\lambda}^{R+} + L_{e,2,\lambda}^{R+} + L_{e,1,\lambda}^{T+} \quad (1)$$

where the symbol (+) indicates the downward radiance, while the superscripts S, R, and T are for scattered, reflected and transmitted components of ground-reaching radiance. For more details, see [1]. Stochastic cloud fields are characterized through cloud masking algorithm that is aimed to predict the presence of clouds along the line of sight. The UniSky Simulator provides a general solution for random cloud distribution with arbitrary cloud base altitude, diameter and reflectivity. Zuev and Titov [2] have approximated the probability function for cloud visibility as follows

$$\delta_{0,z} = 1 - (1 - C_F) e^{C_F \beta (\sec z - 1)} \quad (2)$$

where C_F is so-called nadir-view cloud fraction [3], and β is the ratio of the horizontal to vertical cloud dimensions. The cloud field significantly influences the diffuse ground-reaching radiation, thus, the UniSky Simulator was developed to predict irradiance/illumination on arbitrarily oriented or sloped surfaces.

The tubular light-guides collect exterior skylight and sunlight and transport them into building interiors through high-reflecting tubes. The analytical model for light transmission through the straight light guide was originally published in [4]. According to this work, the luminous flux crossing the circular interface at the light-tube base can be written as

$$\Phi_D = \frac{1}{2} \int_{r=0}^R r dr \int_{\phi=0}^{2\pi} d\phi \int_{\theta=0}^{\pi/2} \sin(2\theta) d\theta \int_{\phi=0}^{2\pi} j(\theta, \phi, r) d\phi \quad (3)$$

where r is the radius of tube, ϕ and θ are local azimuth and local zenith angle of a beam at the light tube base.

For a diffuser-free light-guide the illuminance of any selected point of a working place with coordinates is determined as follows

$$E_w(X', Y', Z') = \frac{t_D}{2\pi} \int_{r=0}^R r dr \int_{\phi=0}^{2\pi} \frac{\cos^2 \Theta}{R^2(\Theta, \Phi, r, \phi)} d\phi \times \int_{\theta=0}^{\pi/2} \sin(2\theta) d\theta \int_{\phi=0}^{2\pi} j(\theta, \phi, r) d\phi \quad (4)$$

where R is the distance between a selected point on the light tube base and arbitrary point. The angles Θ, Φ characterize the direction of beam propagation below the light-pipe. For more details, see [4].

Contrary to the exact physical model, it is common practice in daylight technologies to consider the non-homogeneous skies with any irregularities as smoothed or substituted by homogeneous sky patterns. The most commonly used homogenous model for daylight applications is Perez all-weather model designed for input global and direct irradiance and dew point temperature (calculated from humidity and real temperature) to predict sky luminance angular distribution using also the luminous efficacy model. The insolation conditions are then determined by the solar zenith angle Z , the sky's clearness ε , and the sky's brightness Δ [5].

Radiance/luminance distribution of sky patterns was computed by two separate models (Perez all-weather and UMRP described above). For the UMRP (Unified Model of Radiative Patterns) the two-step minimization was required

to obtain sky radiance luminance distribution corresponding to measured data. In the first step, the optical thickness τ can be found by minimizing the difference between theoretically computed and experimentally determined direct normal solar radiance. The mean aerosol optical depth τ_a is then extracted while the molecular optical thickness is known. In the second step, the altitude of clouds and characteristic mean size of clouds, as the key parameters influencing diffuse radiation, were retrieved by minimizing the difference between theoretical and measured diffuse horizontal irradiance. The remaining aerosol data (single-scattering albedo ω and asymmetry parameter g') were acquired by fine adjusting in the second minimization run. Hereafter, the results of Unisky minimization procedure are accurate within the tolerance of 2 % for direct sunlight and acceptable for diffuse irradiance listed in the tables in the next section (standardly below 5%). Meteorological data including irradiances, temperature, humidity and cloud coverage were measured by Slovak Hydro-meteorological Institute in Bratislava, Slovakia. Calculated distribution of sky patterns computed by two models is linked with Holigilm simulation tool for modelling light guide optical signatures (tube efficiency, averaged cosine, working plane illuminance distribution). Technical properties of the tested light guide include length ($H = 1.5$ m), radius ($r = 0.26$ m) and internal specular reflectance ($\rho = 0.934$). Transparent diffuser is considered for better understanding the working plane illumination under various sky conditions as well as hemispherical top dome with the 0.92 transparency.

Numerical examples and comparison

It is disputable that homogenized models are reliable enough to be used for daylight studies under partly cloudy conditions with adequate accuracy. However, homogeneous models are normally accepted as a good fit for clear and overcast skies. Benchmarking Perez all-weather model against UMRP on clear and overcast days in terms of light guide optical efficiency and averaged cosine shows a good agreement in results not exceeding 2.8% in light tube efficiency and 0.67% in average cosine, respectively (see Table 8).

More interesting results correspond to partly cloudy conditions where the cloud fraction (CF) is a one of the dominant indicators of the sky state. As the examples, evaluation of light guide optical signatures was therefore examined in five days with hourly cloudiness variability and in different seasons of the year due to the wider range of solar positions. Results of the minimized best fit for UMRP ($hc, rc, \tau_a, g', \omega$) as well as sky clearness ε and sky brightness Δ for Perez all-weather model for five testing days are shown in Tables 1 – 5.

Table 1. Sky-state parameters acquired from Perez all-weather model and UMRP minimization on the partly cloudy day, 12th of February 2015. Cloud height hc and radius rc are in kilometres.

Time	hc	rc	τ_a (-)	g' (-)	ω (-)	Δ (-)	ε (-)
7:00	1.0	1.5	0.01	0.40	0.40	0.265	1.000
8:00	1.5	2.0	0.10	0.90	0.80	0.247	2.664
9:00	1.5	2.5	0.10	0.90	0.90	0.548	1.748
10:00	1.5	3.0	0.04	0.90	0.80	0.473	2.018
11:00	1.5	3.0	0.04	0.90	0.60	0.451	1.084
12:00	1.0	1.5	0.01	0.40	0.40	0.352	2.492
13:00	1.5	3.0	0.11	0.50	0.50	0.297	1.554
14:00	1.5	3.0	0.16	0.70	0.80	0.385	1.234
15:00	1.0	0.5	0.01	0.40	0.40	0.303	1.000

Table 2. Sky-state parameters acquired from Perez all-weather model and UMRP minimization on the partly cloudy day, 9th of April 2015. Cloud height hc and radius rc are in kilometres.

Time	hc	rc	τ_a (-)	g' (-)	ω (-)	Δ (-)	ε (-)
6:00	0.5	1.0	0.13	0.80	0.60	0.244	2.731
7:00	0.5	1.0	0.07	0.90	0.70	0.206	3.270
8:00	0.5	3.0	0.07	0.40	0.40	0.210	3.291
9:00	1.0	1.5	0.13	0.90	0.90	0.374	1.901
10:00	1.0	0.5	0.10	0.96	0.96	0.334	1.000
11:00	1.5	2.5	0.09	0.80	0.90	0.236	1.857
12:00	0.5	2.0	0.10	0.40	0.40	0.165	4.424
13:00	0.5	3.0	0.04	0.40	0.40	0.164	4.282
14:00	0.5	1.0	0.11	0.82	0.96	0.186	3.581
15:00	0.5	3.0	0.13	0.40	0.40	0.194	3.175
16:00	0.5	3.0	0.11	0.40	0.40	0.210	2.225

Table 3. Sky-state parameters acquired from Perez all-weather model and UMRP minimization on the partly cloudy day, 14th of June 2015. Cloud height hc and radius rc are in kilometres.

Time	hc	rc	τ_a (-)	g' (-)	ω (-)	Δ (-)	ε (-)
4:00	0.5	1.5	0.31	0.40	0.40	0.299	1.706
5:00	0.5	2.5	0.25	0.40	0.40	0.255	2.258
6:00	1.5	2.0	0.25	0.40	0.40	0.226	2.615
7:00	1.0	2.5	0.27	0.40	0.40	0.207	2.725
8:00	0.5	1.5	0.22	0.40	0.40	0.187	3.579
9:00	1.5	3.0	0.24	0.90	0.70	0.258	2.365
10:00	0.5	1.0	0.26	0.40	0.40	0.171	4.314
11:00	1.5	3.0	0.30	0.70	0.90	0.257	1.865
12:00	1.0	0.5	0.28	0.70	0.90	0.279	1.852
13:00	1.5	2.5	0.29	0.60	0.60	0.205	3.544
14:00	1.0	1.5	0.21	0.96	0.96	0.303	1.000
15:00	1.5	2.5	0.11	0.96	0.68	0.155	1.000
16:00	1.0	2.5	0.11	0.40	0.40	0.125	1.000
17:00	1.0	1.5	0.11	0.96	0.82	0.234	1.000

Table 4. Sky-state parameters acquired from Perez all-weather model and UMRP minimization on the partly cloudy day, 17th of September 2015. Cloud height hc and radius rc are in kilometres.

Time	hc	rc	τ_a (-)	g' (-)	ω (-)	Δ (-)	ε (-)
6:00	1.5	2.5	0.09	0.40	0.40	0.173	1.887
7:00	0.5	2.0	0.01	0.40	0.40	0.206	3.732
8:00	1.0	2.5	0.10	0.40	0.40	0.230	2.984
9:00	0.5	1.5	0.10	0.90	0.60	0.160	4.011
10:00	0.5	0.5	0.01	0.80	0.70	0.097	7.399
11:00	1.5	1.5	0.01	0.40	0.40	0.086	8.337
12:00	1.5	2.0	0.01	0.90	0.64	0.106	6.643
13:00	1.5	2.5	0.12	0.90	0.80	0.307	1.936
14:00	1.5	2.0	0.07	0.90	0.84	0.251	2.185
15:00	1.5	2.0	0.10	0.90	0.60	0.343	2.232
16:00	1.5	2.0	0.12	0.90	0.40	0.327	1.225

Table 5. Sky-state parameters acquired from Perez all-weather model and UMRP minimization on the partly cloudy day, 10th of December 2015. Cloud height hc and radius rc are in kilometres.

Time	hc	rc	τ_a (-)	g' (-)	ω (-)	Δ (-)	ε (-)
8:00	1.0	2.5	0.11	0.96	0.68	0.231	1.000
9:00	1.5	2.0	0.10	0.40	0.40	0.396	2.483
10:00	0.5	0.5	0.10	0.90	0.60	0.193	3.780
11:00	0.5	0.5	0.11	0.40	0.40	0.167	4.376
12:00	1.5	1.0	0.11	0.90	0.40	0.174	4.506
13:00	1.5	1.5	0.11	0.40	0.70	0.156	5.046
14:00	1.0	2.5	0.10	0.40	0.69	0.167	1.186

Minimizing the deviation between theoretical and experimental diffuse irradiance in the two-dimensional

space given by the altitude h_c and characteristic mean size of clouds r_c sometimes leads to a jumping of one or both values from hour to hour. Of course, it is usually not possible in the nature, but our aim is just to find the best fit to model actual sky state related to the measured irradiances, not to figure out an exact sky image in a given time.

Calculated the light tube efficiency in Table 6 and the averaged cosine $\langle \cos \rangle$ in Table 7 during the testing days allows us to analyse light guide behaviour under partly cloudy conditions in terms of homogenized and broken cloud array radiance/luminance distributions.

Table 6. Light tube efficiency (LTE) during five testing days calculated every hour. Rows correspond to time from 4 A.M. to 5 P.M. First column of each day corresponds to UMRP sky radiance distribution and the second column shows LTE for skies calculated by Perez all-weather model.

12 th Feb		9 th Apr		14 th Jun		17 th Sep		10 th Dec	
--	--	--	--	0.66	0.61	--	--	--	--
--	--	--	--	0.67	0.64	--	--	--	--
--	--	0.68	0.61	0.72	0.70	0.64	0.60	--	--
0.72	0.74	0.68	0.69	0.79	0.75	0.69	0.66	0.65	0.68
0.64	0.60	0.74	0.74	0.81	0.79	0.74	0.72	0.69	0.62
0.71	0.68	0.81	0.77	0.84	0.81	0.77	0.75	0.67	0.62
0.76	0.70	0.81	0.76	0.87	0.84	0.81	0.79	0.71	0.62
0.80	0.72	0.82	0.78	0.88	0.83	0.84	0.79	0.66	0.59
0.76	0.70	0.82	0.79	0.85	0.82	0.82	0.78	0.59	0.53
0.73	0.67	0.78	0.77	0.83	0.82	0.70	0.73	0.63	0.59
0.70	0.67	0.75	0.73	0.80	0.76	0.69	0.70	0.65	0.68
0.72	0.74	0.70	0.67	0.76	0.75	0.66	0.65	--	--
--	--	0.68	0.59	0.75	0.75	0.69	0.65	--	--
--	--	--	--	0.74	0.74	--	--	--	--

LTE for homogenized sky luminance distribution is usually undervalued in comparison with UMRP. Exceptions are only some cases with low solar altitude. The reason probably lies behind the smoothing of luminance levels on a sky vault instead of mapping the brighter and fainter sky patterns. But in general, difference of LTE under two sky luminance mappings does not exceed 10 % in most cases. The more homogenized the sky is (closer to overcast or clear), the more similar are the trends in LTE behaviour under two modelled luminance distributions. The reason is conspicuous but on the other hand, homogenized model is less sensitive to cloud fraction changes, even if the trend is similar to UMRP. However, the calculation of tube efficiency is quite accurate even if sky luminance distribution is considered as homogenous. On the other hand, analysis of averaged cosine comes with more eye-catching results.

Table 7. Average cosine $\langle \cos \rangle$ during five testing days calculated every hour. Rows correspond to time from 4 A.M. to 5 P.M. First column of each day corresponds to UMRP sky radiance distribution and the second column shows $\langle \cos \rangle$ for skies calculated by Perez all-weather model.

12 th Feb		9 th Apr		14 th Jun		17 th Sep		10 th Dec	
--	--	--	--	0.70	0.63	--	--	--	--
--	--	--	--	0.71	0.64	--	--	--	--
--	--	0.56	0.63	0.75	0.65	0.69	0.63	--	--
0.73	0.72	0.55	0.64	0.66	0.67	0.70	0.66	--	--
0.73	0.63	0.56	0.67	0.58	0.71	0.61	0.67	0.7	0.63
0.69	0.67	0.67	0.71	0.70	0.74	0.57	0.67	0.67	0.64
0.63	0.68	0.63	0.74	0.56	0.76	0.55	0.68	0.71	0.62
0.62	0.68	0.70	0.72	0.72	0.78	0.57	0.67	0.60	0.61
0.68	0.67	0.58	0.70	0.73	0.77	0.68	0.68	0.71	0.61
0.72	0.64	0.57	0.68	0.61	0.73	0.70	0.65	0.67	0.61
0.75	0.66	0.56	0.66	0.65	0.74	0.71	0.65	0.71	0.63
0.67	0.72	0.58	0.63	0.71	0.74	0.72	0.65	--	--
--	--	0.59	0.62	0.72	0.74	0.71	0.66	--	--
--	--	--	--	0.72	0.73	--	--	--	--

The averaged cosine presented in Table 7 indicates how the light beams under the transparent diffuser are spread into the working place. Unlike the LTE, significant

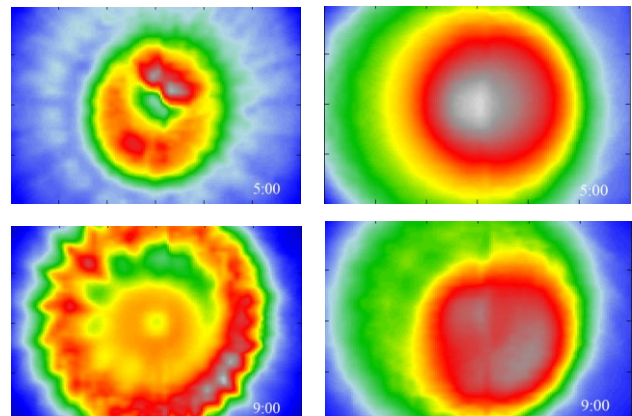
oscillations are evident if discrete clouds occur on a sky vault. Mutual position of the sun and the illuminated cloud array plays significant role in light beam spreading after the multiple reflection in the tube. However, random cloud distribution in each calculation makes the correlation between cloud fraction and $\langle \cos \rangle$ difficult to recognize.

Table 8. Calculated rRMSE for LTE and $\langle \cos \rangle$ for each testing day.

Date	LTE rRMSE (%)	$\langle \cos \rangle$ rRMSE (%)
24 th February	2.77	0.44
16 th February	2.40	0.67
12 th February	4.88	6.12
9 th April	4.25	8.48
14 th June	2.99	8.76
17 th September	3.09	7.33
10 th December	6.15	6.97

Table 8 presents calculated rRMSE for each testing day. Homogenous sky conditions during overcast (24th February) and clear day (16th February) lead to close similarity in results between sky luminance distributions in Perez all-weather model and UMRP, hence the statistical indicators for LTE and $\langle \cos \rangle$ of the light guide are marginal. Partly cloudy skies described by homogenized model differ more significantly from UMRP sky luminance distribution that indicates higher percentage deviation in both optical signatures. In fact, rRMSE (<10 %) is low enough to distinguish which model is more applicable.

The ideal light guide installation distributes natural daylight uniformly into the working plane with as little loss of light as possible. For this purpose, various types of diffusers were proposed mainly for homogenous sky conditions ignoring real atmospheric conditions with discrete clouds. However, reflection of sunlight on a broken cloud array has several consequences for the working plane illumination. As a testing day, 14th of June, was chosen for the highest rRMSE of the average cosine. The working plane is specified as a room with dimensions 6 m x 4 m with a light tube bottom interface installed in the center of the ceiling with the height of 3 m. Figures 1 show working plane illumination under UMRP sky luminance distribution in comparison with Perez all-weather sky luminosity field for selected hours. While the irregularities caused by the broken cloud arrays are clearly visible in the left side figures, only moderate illuminance asymmetry due to the sun position occurs in right side figures. Randomly distributed clouds eventually lead to decentralization of the light beams or shifting the maximum of the illuminance to one or more preferred directions. It causes more unevenly distributed light on the working plane and the necessity of using adaptive or pre-designed diffusers for the localities with variable cloudy conditions.



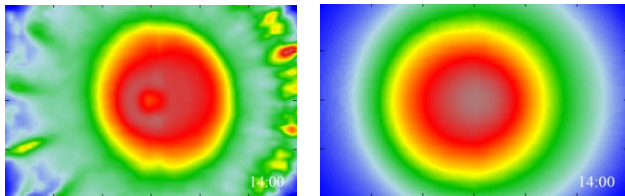


Fig.1. Comparison of working plane irradiance distribution below the light guide. Light guide was modelled under UMRP (left plots) and Perez all-weather (right plots) sky radiance distributions.

Conclusions

Inhomogeneous clouds are sources of large uncertainties in sky radiance/luminance modelling and have the great unknown influence on optical behaviour of hollow light-guides. The presence of clouds is one of key factors that make the accuracy of the numerical predictions of ground-reaching radiation noticeably worse when based on oversimplified empirical models. This study the first time links the theoretically founded radiative transfer tool with the analytical solution for tubular hollow light-pipe aiming to model light field at the bottom interface of the light pipe under arbitrary meteorological conditions including randomly distributed cloud fields.

The solution is based on Unisky Simulator that has been developed only recently and is publicly available for modeling the sky radiance/luminance under various cloud configurations and atmospheric aerosol parameters. Light transmission through the light tube was simulated with Holigilm software package that allows calculating the tube optical performance and room illumination, as well. We have developed a software module to bridge Unisky Simulator and Holigilm with aim to demonstrate the role of broken cloud array in forming the luminous field below tubular light-guide with transparent glazing.

Comparison of light guide optical signatures under homogenized and UMRP sky distributions shows close similarity of results, even if high variability of the sky states occur during the testing days. For both models, the rRMSE does not exceed 10 % for neither the light tube efficiency nor the averaged cosine. However, influence of the broken

cloud arrays on the working plane illuminance is indisputable and numerical modelling can help with pre-designing more effective diffusers for more realistic sky conditions. This way we can optimize light pipe systems taking into account the different prevailing cloudiness in a given territory. For more details, consult with recently published paper [6].

This work was supported by the Slovak National Grant Agency VEGA under the contract number 2/0016/16.

REFERENCES

- [1] Kocifaj, M.: Angular distribution of scattered radiation under broken cloud arrays: An approximation of successive orders of scattering, *Sol. Energy* 86 (2012), 3575-3586
- [2] Zuev, V. E., Titov G. A.: *Atmospheric Optics and Climate*. Spekt, Tomsk (1996).
- [3] Kassianov, E.: Stochastic radiative transfer in multilayer broken clouds. Part I: Markovian approach. *J. Quant. Spectrosc. Radiat. Transfer*, 77 (2003), 373–393.
- [4] Kocifaj, M., Darula, S., Kittler R.: HOLIGILM: Hollow light guide interior illumination method – An analytic calculation approach for cylindrical light-tubes. *Sol. Energy*, 82, Issue 3, (2008), 247-259.
- [5] Perez, R., Ineichen, P., Seals R.: Modeling daylight availability and irradiance components from direct and global irradiance. *Sol. Energy*, 44 (1990), 271-289.
- [6] Kómar, L., Kocifaj, M.: An Accurate Prediction of Daylight Pipe Harvesting of Interior Space. *Appl. Sci.*, 9 (2019), 3552-3572.

Authors: *Dr. Ladislav Kómar, PhD., Institute of Construction and Architecture, Slovak Academy of Sciences, Dúbravská cesta 9, Bratislava, Slovakia, e-mail: usarlako@savba.sk*
Dr. Miroslav Kocifaj, PhD. Institute of Construction and Architecture, Slovak Academy of Sciences, Dúbravská cesta 9, Bratislava, Slovakia, e-mail: Miroslav.kocifaj@savba.sk

Daylight and luminance of shading obstructions throughout the year

Abstract. Up until now the criterion of daylight factor D (%) has been used for assessments of daylighting in buildings. The criterion is based on the overcast sky model. The new European standard EN 17037 Daylight of buildings introduces daylight evaluation metrics on the working plane in rooms throughout the year for time intervals of one hour or less. The new assessment necessarily comprises other sky models than overcast sky including sunny sky models. The sunny sky radiation influences luminance of shading obstructions in dependence on their orientation to cardinal points. Luminance is key characteristic of shading obstructions which must be taken into consideration for daylight assessments. The paper introduces some fundamental tasks to the complex technical problem.

Keywords: daylight, luminance of shading obstruction, sunshine

Standard EN 17037 *Daylight of buildings* has brought new alternatives for evaluation of daylighting in buildings. One of them represents specific metric for assessment of luminance of external shading obstruction. In technical practice daylighting has been usually evaluated in a critical room of the lowest and mostly shaded floor of a building where luminance of shading obstructions plays key role. Whilst so far used daylight assessment method is based on the overcast sky model the new standard EN 17037 introduces an evaluation of daylighting by means of illuminance on a working plane in rooms throughout

the whole year. The new metric includes other sky models not only the overcast type and also considers clear sunny sky effects on building interiors. Day-to-day experience indicates that building facades exposed to direct solar radiation have considerably higher luminance than the same facades that are shaded. The consideration of luminance of obstructions illuminated by direct solar radiation in the building design could have a positive influence on more efficient utilisation of daylight in real buildings.

1. Difference between diffuse skylight and direct beam light

Visual comfort in buildings is noted as the main reason for determination of the new standard. But the direct sunlight is not included into the standard metric for daylighting evaluation. The direct daylight is there accepted only for roof skylight systems covered by diffusive translucent materials, like commonly used hollow sheet transparent polycarbonate panels. Translucent materials scatter the direct sun light to reduce glare in interiors. An example of an interior with side lit clear glass window that causes visual discomfort under direct daylight is shown in the left photograph of Figure 1. The photograph of an industrial hall interior illuminated through a big skylight with diffusive glazing (right part of Figure 1) shows that visual comfort is undisturbed in this case.

Difference between daylighting of a side lit interior and for indoor space illuminated through a roof diffusive skylight system is in standard EN 17037 [2] specified by two median

values of horizontal illuminance. For the Czech Republic the values are determined as:

- Median of external horizontal illuminance
 $E_{v,d,med} = 14\,900$ lx (excluding direct daylight),
- Median of external global horizontal illuminance
 $E_{v,g,med} = 17\,400$ lx (including direct daylight).

Consideration of increased luminance of insulated outdoor obstructions is in compliance with visual comfort of building occupants. It is because of the insulated facades represent planar sources of externally reflected daylight component of diffuse daylight space in rooms (in case of common diffusive surfaces like plaster or claddings) and in similar way diffusive glazings of roof-light systems. On the other hand polished surfaces like glass or mirror could cause glare effects and visual discomfort. However, such surfaces are not covered by our investigation.



Fig. 1: Influence of direct daylight on building interior: left – visual discomfort in the side lit interior; right – visual comfort in an industrial hall with the diffusive roof skylight

Table 1: Results of luminance measurements on building facades

Summer time:		12:00	12:30	13:00	13:30	14:00	14:30	15:00	16:30	17:00	17:30	18:00	
Solar altitude γ_s (°):	ČSN 73 0581	53.15	54.67	55.18	54.63	53.08	50.65	47.50	35.29	30.68	25.95	21.15	
	EN 17037	53.34	54.86	55.37	54.82	53.26	50.82	47.67	35.43	30.82	26.08	21.28	
	According to shades length	53.47	54.51	55.40	54.87	53.64	50.83	47.57	35.31	29.80	24.96	23.29	
White plaster ($\rho = 0,841$)	SE	$E_{insolated}$ (lx)	81 734	74 151	64 289	51 214	41 763	35 405	22 346				
		E_{shaded} (lx)					12 432	17 068	13 295	5 488	5 092	4 752	4 277
	SW	$E_{insolated}$ (lx)	29 481	42 062	49 197	55 884	66 343	80 277	80 165	83 377	80 165	72 320	51 401
		E_{shaded} (lx)	15 727	17 023	16 664	13 493	12 663	16 675	12 861	8 610	7 254	5 267	4 778
	NW	$E_{insolated}$ (lx)								38 738	46 358	53 194	57 116
		E_{shaded} (lx)	5 047	6 963	5 921	5 876	8 999	14 796	19 959	18 147	16 732	16 119	16 175
Light blue plaster ($\rho = 0,486$)	SE	$E_{insolated}$ (lx)	77 118	71 235	61 772	50 621	39 658	30 834	20 246				
		E_{shaded} (lx)					11 907	13 038	12 101	5 268	4 963	4 541	4 046
	SW	$E_{insolated}$ (lx)	26 904	40 240	50 350	55 773	64 176	75 243	78 992	81 319	76 407	69 490	64 403
		E_{shaded} (lx)	14 997	14 881	13 601	11 312	11 603			7 628	8 029	3 863	2 899
	NW	$E_{insolated}$ (lx)								34 461	40 614	47 473	51 384
		E_{shaded} (lx)	5 455	7 098	5 984	6 211	8 837	13 316	17 382	13 045	12 372	11 493	10 129
Solar azimuth A_0 (°) from south	ČSN 73 0581	24.38	12.36	0.22	12.78	24.78	35.83	45.79	69.93	76.58	82.80	88.71	
	EN 17037	24.45	12.38	0.00	12.86	24.90	35.98	45.95	70.09	76.74	82.96	88.86	

2. Measurement of facades luminance

Experiments were provided using measurement apparatuses of Faculty of Civil Engineering of Czech Technical University in Prague. Specifically luminance meter Konica Minolta LS-110 and illuminance meter Konica Minolta T-10AM were used. The measurements were carried out on insolated as well as shaded areas of various building facades in time interval between 12:00 and 20:00 during the summer season 2019. Table 1 summarises main results of the façade luminance measurements.

Data of the above mentioned measurements proved that the insolated facade areas had in average five times bigger luminance compared to the same facades illuminated by diffuse daylight (extreme results were excluded from the analysis).

3. Number of hours with direct sunlight throughout the year

The sky dome is clear without clouds for some periods of the year. So the direct solar radiation can influence to the obstruction luminance rise only for the limited time. This fact can be considered in the daylight evaluation model specifying a luminance coefficient. The coefficient is determined on the basis of climatic data of solar radiation time. Because the data from recent years were not available the authors used values from standard EN 17037 [2]. The mentioned coefficient k_1 (-) is calculated as a ratio of horizontal illuminance medians $E_{v,g,med}$ and $E_{v,d,med}$ as follows

$$(1) \quad k_1 = \frac{E_{v,g,med}}{E_{v,d,med}} = \frac{17400}{14900} = 1.168$$

It is clear that using the coefficient $k_1 = 1.168$ for the annual evaluation the luminance of shading obstructions is increased in consequence of direct insolation only about 17 % but not five time more as it was concluded from Table 1.

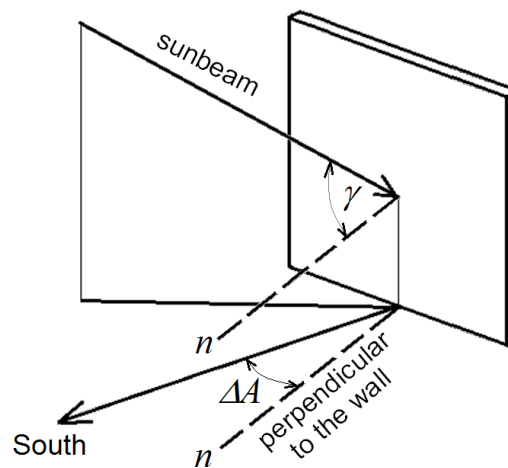


Fig. 2: To the angles γ and ΔA

4. Influence of orientation to cardinal point

Coefficient k_1 (-) defined by equation (1) is applicable only for evaluation of horizontal surfaces. It was determined as the ratio of horizontal illuminance. Shading obstructions are in many cases represented by buildings which have predominantly vertical surfaces. Another required coefficient k_2 (-) adjusts the luminance values. It is different from k_1 (-) and its value depends on the particular orientation of the vertical surface towards cardinal points. Building façades luminance is influenced by solar radiation affecting their surfaces (Figure 2). Angle γ (°) of the direction of solar ray measured from normal to the illuminated surface is an important input value. Simple model for determination of coefficient k_2 is assumed. Sun can be considered as a point daylight source in the model. Luminance

L (cd·m⁻²) of the surface, which reflects daylight of the point source depends on luminous intensity of the source I (cd) in accordance with equation (2) also on distance r (m) between the source and the illuminated surface and on its light reflectance ρ (-) as well as on cosine of angle of solar rays incidence from normal γ (°).

$$(2) \quad L = \frac{I \rho \cos \gamma}{\pi r^2} \text{ (cd·m}^{-2}\text{)}$$

Luminous intensity I (cd) and distance from the source r (m) can be considered as constants in the case of the point light source of this model. Also light reflectance ρ (-) is taken as a constant value for one particular surface. Only angle γ (°) is changeable throughout the year evaluation.

Table 2: Total time of insolation for different orientation of obstructions

ΔA (°)	T (hour)	k_T	T_γ (hour)	$k_{T,\gamma}$	ΔA (°)	T (hour)	k_T	T_γ (hour)	$k_{T,\gamma}$
Horizontal plane □	4401.01	1.000	1850.95	1.000	<i>continuation</i>				
0 (South)	3609.17	0.820	1906.60	1.030	90 (E or W)	2205.93	0.501	1348.48	0.729
5	3604.21	0.819	1905.93	1.030	95	2111.37	0.480	1272.02	0.687
10	3589.37	0.816	1903.83	1.029	100	2018.02	0.459	1192.24	0.644
15	3563.95	0.810	1899.92	1.026	105	1923.29	0.437	1109.72	0.600
20	3527.62	0.802	1893.85	1.023	110	1826.95	0.415	1025.30	0.554
25	3479.66	0.791	1885.33	1.019	115	1728.19	0.393	939.79	0.508
30	3418.18	0.777	1873.57	1.012	120	1626.52	0.370	854.11	0.461
35	3339.92	0.759	1858.17	1.004	125	1521.19	0.346	769.21	0.416
40	3231.09	0.734	1838.40	0.993	130	1411.36	0.321	696.14	0.376
45 (SE or SW)	3111.24	0.707	1813.97	0.980	135 (SE or SW)	1297.08	0.295	605.97	0.327
50	2996.97	0.681	1784.28	0.964	140	1177.27	0.267	529.79	0.286
55	2887.16	0.656	1749.12	0.945	145	1059.76	0.241	458.57	0.248
60	2781.85	0.632	1708.28	0.923	150	953.98	0.217	392.07	0.212
65	2680.13	0.609	1661.78	0.898	155	853.23	0.194	330.22	0.178
70	2581.42	0.587	1609.58	0.870	160	756.06	0.172	273.24	0.148
75	2485.02	0.565	1551.88	0.838	165	661.73	0.150	221.40	0.120
80	2390.29	0.543	1488.88	0.804	170	570.59	0.130	174.97	0.095
85	2296.95	0.522	1420.94	0.768	175	482.93	0.110	134.18	0.072
90 (E or W)	2205.93	0.501	1348.48	0.729	180 (North)	399.41	0.091	99.16	0.054

A special simulation tool was developed for determination of influence of direct solar radiation on luminance of shading obstructions oriented towards different cardinal points. The program calculates solar coordinates in a time step of one tenth of an hour (36 seconds). It means in total there are 365 x 24 x 100 = 876 000 solar coordinates for specification of a position of sun in the sky. For every sun position the program determines whether sun direct radiation illuminates the particular surface or not. Then it calculates cosine of angle incidence of solar rays from the normal to the examined surface. Throughout the year evaluation time T (hour) is calculated for which the surface is insolated and the time is corrected by cosine of angle γ (°) for T_γ (hour):

$$(3) \quad T = \sum_1^{876000} t_i$$

$$(4) \quad T_\gamma = \sum_1^{876000} (t_i \cdot \cos \gamma)$$

This calculation was carried out for horizontal unshaded surface for results of T_v (hour) and $T_{\gamma v}$ (hour) and for vertical surfaces of various orientation towards cardinal points for results of T (hour) and T_γ (hour). Calculated data are presented in Table 2 in dependence on angle ΔA (°)

of the surface normal from south direction. Important ratios are also determined:

$$(5) \quad k_T = \frac{T}{T_v}$$

$$(6) \quad k_{T,\gamma} = \frac{T_\gamma}{T_{\gamma,v}}$$

Coefficient k_2 (-) increases luminance of shading obstructions in consequence of their insolation by direct solar rays and it is determined in accordance with equation (7). Values of coefficient k_2 (-) are shown in Table 3.

$$(7) \quad k_2 = 1 + (k_1 - 1)k_{T,\gamma}$$

Table 3: Coefficient k_2 (-) which increases luminance for direct solar radiation

ΔA (°)	k_2 (-)	ΔA (°)	k_2 (-)	ΔA (°)	k_2 (-)
Horizontal surface	1.168	60	1.155	125	1.070
0 (South)	1.173	65	1.151	130	1.063
5	1.173	70	1.146	135 (NE or NW)	1.055
10	1.173	75	1.141	140	1.048
15	1.172	80	1.135	145	1.042
20	1.172	85	1.129	150	1.036
25	1.171	90 (E or W)	1.122	155	1.030
30	1.170	95	1.115	160	1.025
35	1.169	100	1.108	165	1.020
40	1.167	105	1.101	170	1.016
45 (SE or SW)	1.165	110	1.093	175	1.012
50	1.162	115	1.085	180 (North)	1.009
55	1.159	120	1.078		

5. Conclusion

Influence of direct solar radiation on luminance of shading obstructions was studied. The main interest was aimed at the design practice daylight evaluation procedure in relation to the new recommendations of European standard EN 17037 [2]. In daylight assessments according to this standard luminance of shading obstructions can be increased in consequence of direct solar radiation by 1 % to 17 % in dependence on orientation towards cardinal points. South oriented obstructions could in smaller scope but positively influence results of daylighting evaluations, compare to data from daylight measurements. The described methodology does not take account of mutual shading between buildings in a real urban locality. In summary the new daylight evaluation metrics represent a chance of annual evaluation of daylighting in buildings considering not only overcast sky but also other sky models [6]. Up-to-date daylight evaluation methods are based on climate-based daylight modelling [7].

REFERENCES

- [1] ČSN 730580-1 *Denní osvětlení budov – základní požadavky* (2007)
- [2] EN 17037 *Daylight of buildings* (2018)
- [3] Kaňka, J: *Co je stálé a co je proměnné v denním osvětlení*, Světlo 2/2018, str. 42
- [4] Kaňka, J., Mohelníková, J., Ullmannová, K., Vychytil, J.: *Influence of facade luminance on daylight factor simulations*. In Conference Central Europe towards Sustainable Building 2016 - CESB 16, Prague, 22. - 24. 6. 2016
- [5] Kaňka, J: *Medián ve stavební světelné technice*, In Kurz osvětlovací techniky XXXIV, Dlouhé Stráně 8. 10. - 10. 10. 2018
- [6] Fontoynt, M.: *New European Daylighting Standard Pr EN 17037 Process and Expected Impact*. Aalborg University Kobenhavn, report 2018 https://www.luceinveneto.com/wp-content/uploads/2018/06/1.FONTOYNONT_UNIV_AALBORG.pdf?x11697 (september 2019)
- [7] Tregenza, P.R., Mardaljevic, J.: *Daylighting buildings: Standards and the needs of the designer*. Lighting Research and Technology 50(1)/2018, p.63-79.

Authors:

doc. Ing. Jan Kaňka, Ph.D. ooakanka@centrum.cz
 prof. Ing. Jitka Mohelníková, Ph.D. mohelnikova.j@fce.vutbr.cz
 Ing. Bc. Jaroslav Vychytil, Ph.D. jaroslav.vychytil@fsv.cvut.cz

V šeru dávných věků, aneb o historii České společnosti pro osvětlování

Abstrakt: Nikoho celkem nepřekvapí, že se historici ptou o tom, kdy se co odehrálo. A zda vůbec. Překvapí to však, když o událostech celkem nedávných kolují různé verze. Jako poslední zakládající člen dosud setrvávající v oboru se pokusím vydolat z paměti historii naší společnosti. Dokud ještě má můj mozek alespoň občasné světlé chvílky. Než se úplně zapomene, jak to tehdy bylo.

Klíčová slova: historie, Česká společnost pro osvětlování.

Následující text sepsal na základě svých vzpomínek druhý z autorů tohoto příspěvku. Nic by však nenapsal nebyť velké pomoci autorky první, která prohledala všemožné dokumenty, abychom se dostali k informacím, jak to doopravdy bylo. Tímto jí velice děkuji a ujímám se slova:

Nebudu rozebírat historii založení ČSO předcházející. Jen okrajově ji připomenu. Nebyl jsem u jejích kořenů, přidal jsem se až později (něbudete věřit, jako nejmladší světelný technik v tehdejší Československu).

Tehdy, před Listopadem, existovaly Krajské odborné skupiny – osvětlování při Československé vědeckotechnické společnosti (zkracovalo se na KOS). Z krajských skupin bylo po dvou zástupcích v tzv. Národní odborné skupině. To je odpověď pro ty, kteří se v současné době snaží o centralizaci, vždy byly pracující (jak kde) krajské skupiny, které koordinoval výbor republikové společnosti.

Existovali ještě další spolky – Společnost pro techniku prostředí se sekci Osvětlování – ta existuje dodnes, snad i pod původním názvem. Zabývá se především denním osvětlením, na okraji sdruženým – umělé jako takové ignoruje.

Kromě KOS ještě existovalo sdružení kolem veřejného osvětlení. Z toho vznikla Společnost pro rozvoj veřejného osvětlení.

A konečně tehdy i nyní pracující Český (dříve Československý) národní komitét CIE.

Po Listopadu se příliš nevěřilo v další existenci ČSVTS (byť přežilo do dneška), takže začaly práce na založení nové společnosti. Původní snaha o založení jednoho spolku zastřešujícího všechny stávající ztroskotala v zárodku. Taktéž snaha udělat společnost společně se slovenskými kolegy se ukázala jako nereálná. Začalo se tedy pracovat na společnosti české, která měla navazovat na dosavadní KOS.

Iniciátorem byla skupina z Plzně. První přípravná schůzka se konala již 10. října 1990 v Plzni za účasti tříadvaceti členů západočeské KOSky z Plzně, Karlových Varů a Domažlic. Další schůzky se konaly 21. 11. 1990 a poté 4. 12. 1990 v Plzni.

Pražáci tehdy neprojevili nějaké snahy o její podporu. Zlí jazykové tvrdí, že se nemohli smířit s tím, že by novému spolku předsedal nepražák. Protože bylo zřejmé, že by to dopadlo jako vždy za takových situací – předsedá ten, kdo si to spískal. Protože to vypadalo, že se společnost nikdy nezaloží, tak jsme dostali spásný nápad, navrhnout na tento post někoho nezpochybnitelného. Tím byl neskutečně vzácný, vzdělaný a moudrý člověk – František Šesták z tehdejšího Centroprojektu Zlín. Tehdy jsem se za ním vypravil a požádal ho, aby předsednictví přijal.

Pak už nic nebránilo založení společnosti. Ještě dřív jsme podali žádost o registraci – 1. října 1991 byla podána. Zakládajícími osobami byl doc. Josef Linda, Karel Froněk,

Dana Vápeníková a já. Íčo 405 27 832 bylo přiděleno 21. října téhož roku se sídlem v Plzni. K tomuto dni tedy lze považovat společnost za založenou.

Je pozoruhodné, že v obchodním rejstříku je historicky uvedeno správně datum vzniku 21. 10. 1991, ale ostatní údaje jsou uváděny až od 1. ledna 2014, tedy od změny zákona. Kde jsou dokumenty staršího data nemám tušení, asi nejsou veřejné. V současné době je sídlo spolku v Ostravě. Důvody tohoto přesunu mi nejsou známy.

Po zaregistrování se činnost spolku začala rozvíjet. Zapojili se i Pražáci ☺.

Vzniklo programové prohlášení. Především odráželo snahu, dodnes nenaplněnou, zajistit uznání ostatní veřejností a institucemi. To jsme si mysleli na to, že by mohla být posvěcena profese světelného technika na vyšší úrovni – autorizace nebo dokonce komora. Stále zde ještě byla snaha o sjednocení jednotlivých skupin v oblasti osvětlování. Ani to se nezdařilo. Úspěšně se naplnily další body, jako je rozvinutí odborné činnosti, účast na normotvorné činnosti, spolupráce s médií. Na národním poli to byla spolupráce se Slovenskou světelně technickou společností (tehdy ještě ve společném státě). Na mezinárodním pak spolupracovat s CIE, tehdy ještě o Lumenu-V4 nebylo ponětí. Pozoruhodné je v programovém prohlášení i to, že se kladl důraz na regionální skupiny „Za základ rozvoje společnosti považovat především činnost regionálních skupin“.

Před ustavující valnou hromadou již pilně pracovali zástupci všech tehdy aktivních regionů, například se konalo setkání 11. března 1992 (neuveďeno kde) za přítomnosti zástupců z Prahy, Zlína, Ostravy a Plzně. Na něm se opět zdůraznil význam regionů a hlavně se dohodl fakt, že předsedou přípravného výboru bude František Šesták. Další schůzka přípravného výboru probíhala koncem dubna (29. 4. 1992).

Pak již následovala Ustavující valná hromada ČSO se konala 26. května 1992 od 15 hodin v posluchárně L308 v budově ZČU v Plzni, Husova třída 11. Za předsedu byl zvolen František Šesták, výbor tvořili pánové prof. Habel, doc. Pich, Karel Froněk a já. Na výbor dohlížela revizní komise složená s moravských pánů Dufky a Srového a hlubockého pana Kuncla. Výši členského příspěvku stanovila valná hromada na 100 Kč (ještě existovalo Československo), dnešních 150 Kč, které platí od roku 2002, je z dnešního pohledu směšně malá částka. Zřízeny byly současně i regionální skupiny v Plzni, Ostravě a Brně.

Činnost společnosti se začala rozvíjet. 7. 7. 1992 na zasedání Rady ČSO v Brně bylo rozhodnuto o zřízení hlavního bankovního účtu a účtů regionů a pořízení razítek. Na dalším zasedání 7. 9. 1992 v Ostravě se rozhodlo, že členům bude poskytována sleva na vložném odborných akcí pořádaných v rámci společnosti. Vznikla i redakční rada Informačního bulletinu. Dokonce i nějaké vyšly, pak se již spoléhalo na vznik časopisu Světlo.

V tomtéž roce (1992) bylo uděleno čestné členství Ing. Františku Běhalovi, doc. MUDr. Vladimíru Maňákovi CSc. a Ing. Stanislavu Miškaříkovi.

V té době jsem sledoval činnost spolku již trochu z povzdálí, takže již jen posloupnost předsedů. Bez dat a bez záruky (prosím další pamětníky o jejich doplnění). Bez záruky – František Šesták ve funkci setrval poměrně krátkou dobu. Jako penzista v předinternetové a předmobilní době měl problémy s administrativou. Nahradila ho Marie Juklová. Dalším předsedou se v roce 1994 stal doc. Pich (valná hromada 22. 6. 1994), který (nevím kdy) předal tuto funkci prof. Sokanskému. Poslední období předsedá spolku doc. Baxant.

Další historii již patrně lépe popíší pamětníci jednotlivých regionů.

Považuji tento text za úvodní. Bude dobré jej doplnit o další podrobnosti. Ty vesměs vyplynou ze vzpomínek členů z jednotlivých regionů.

Autor: Ing. Jana Lepší, Zdravotní ústav Ústí n.L., pracoviště Plzeň, 17. listopadu 1, 301 00 Plzeň, Česká republika, e-mail: jana.lepsi@zuusti.cz

Ing. Tomáš Maixner, živnostník, Nad Petruskou 2283/10, 120 00 Praha 2 - Vinohrady, Česká republika, e-mail: dql@dql.cz

Historie českých norem pro osvětlování škol

Abstract. Dokument popisuje změnu požadavků na osvětlování ve školách na základě dohledaných českých technických norem.

Keywords: ČSN, normy, osvětlování škol, historie norem

Úvod

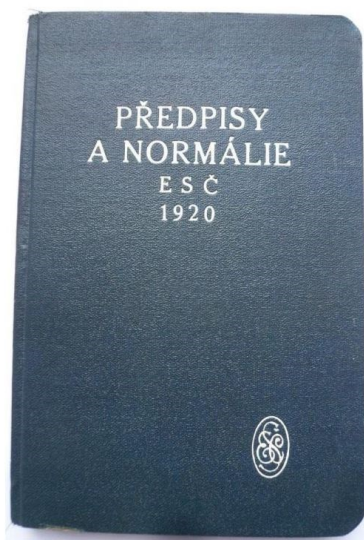
Předkládám vám příběh o hledání starých norem pro osvětlování škol, měnících se požadavcích v čase a částečně o historii normalizace obecně.

Historie normalizace

První počátky normalizace lze doložit již v prastarých kulturách Chaldeje, Asýrie, Babylonu, Egypta a Číny např. vytvoření jednotných stavebních kamenů pro pyramidy starého Egypta, hliněných tabulek s klínovým písmem v Babylonii a Asýrii, starodávné měrové soustavy a soustavy platidel. Za první technickou normu lze označit předpisy edilského úřadu v antickém Římě o rozměrech a připojovacích zařízeních k veřejnému vodovodu.

První historicky doložený technický předpis platný v Čechách (technická norma) vstoupil v účinnost před více než 700 lety. Důkaz podává Kronika Země České, vytištěná v roce 1698 švabachem. Zmíněná kronika, s graficky krásně vypracovaným titulem, obsahuje vlastní technický předpis vydaný králem Přemyslem Otakarem II., který se týká měř a vah. Tato technická norma stanovila druhy, velikost a názvy jednotek pro měření délek, ploch a objemů (měrných nádob na obilí a kapaliny), jednotek pro měření hmotnosti (závaží), stejně jako jednotek pro určování velikosti vojenských jednotek, svěřovala vyměřování polností jen úředníkům pod přísahou, předepisovala cejchovat duté míry na obilí, určovala trestní sankce za používání dutých měř, popř. závaží menších, než je předepsáno.

Roku 1919 byla založena první celostátní společnost Elektrotechnický svaz československý (ESČ), který v roce 1920 vydal první normy jako soubor předpisů a normálí ESČ.



obr. 1 – předpisy a normálie

První celostátní normalizační organizace byla založena 28. prosince 1922 pod názvem Československá společnost normalizační. O šest let později, v roce 1928, byla v Praze ustavena Mezinárodní asociace normalizačních organizací (ISA). Ve funkčním období 1932–1934 byl předsedou Čech – profesor Ing. Vladimír List, nadšený elektrotechnik, do jisté míry žák Františka Křížíka. Vrcholným mezinárodním uznáním československé normalizace bylo zvolení prof. Vladimíra Lista předsedou Mezinárodní asociace normalizačních organizací (ISA) pro tříleté období 1932 až 1934.

Elektrotechnické normy byly nejprve označeny jako normy ESČ. Teprve od roku 1923 přišlo na základě dohody mezi Elektrotechnickým svazem československým a nově ustanovenou Československou normalizační společností (ČNS) na řadu označení ČSN ESČ.

Československé elektrotechnické normy se zasloužily o rozvoj elektrotechnického průmyslu, firem a živností tím, že vytvořily všeobecně uznávanou technickou základnu, jak pro výrobu, tak pro dozorovou činnost.

Objevy světelných zdrojů

1786 – osvětlování plynem

První pokus o osvětlování plynem, získaného suchou destilací, byl učiněn r. 1786 ve Skotsku na statku lorda Dundonald, a sice osvětlovalo se tu více pro žert bez pomýšlení, že by se toho mohlo někdy použít k osvětlování ve velkém.

1844 – oblouková lampa

Jean Bernard Léon Foucault 1876, Pavel Nikolajevič Jabločkov (1847–1894) pozměnil vzájemnou polohu uhlíků revolučním způsobem. V roce 1881 dostal Křížík na Mezinárodní elektrotechnické výstavě v Paříži za obloukovou lampu zlatou medaili.

1853 – petrolejová lampa

Funkční petrolejovou lampu zkonstruoval po mnoha pokusech Jan Józef Ignacy Łukasiewicz. Téhož roku byl pozván do piaristické nemocnice ve Lvově, aby zajistil osvětlení pro operaci slepého střeva. Jasně a klidné světlo udělalo takový dojem, že nemocnice objednala větší počet petrolejek, které Łukasiewicz s klempířem vyráběli a prodávali. Nedali si však vynález patentovat a velmi brzy se lampy vyráběly i v jiných zemích. Roku 1853 zařídil první veřejné osvětlení v Gorlicích.

1879 – žárovka

Technologicky výrobu žárovky zdokonalil a patentoval Thomas Alva Edison - první žárovka byla rozsvícena 21. října 1879 a svítila 40 hodin.

Carcelova lampa

značka carcel – starší francouzská jednotka svítivosti, nahrazená v roce 1889 Violleovou svíčkou. Carcelovu lampu vyrobil v roce 1800 Francouz Carcel. Byla to lampa olejová. Název této jednotky pochází z roku 1842.

Parafínová svíčka

značka VK – platila v Německu od roku 1868 do roku 1896, kdy ji nahradila Hefnerova svíčka.

Violleova svíčka

značka violle – jednotka violle byla navržena roku 1881 Viollem a roku 1896 byla převzata jako mezinárodní svíčka (1 IC = 1/20,23 violle). Byla definována jako kolmá svítivost 1 čtverečného centimetru povrchu žhnoucí platiny při jejím bodu tuhnutí.

Decimální svíčka

značka BD – starší jednotka svítivosti ve Francii, nazývaná též pyr.

Porovnání jednotek

kandela	cd	1
Starší a cizí jednotky		
mezinárodní svíčka International Candle	IC	1,019
Hefnerova svíčka Hefner-Kerze	HK	0,903
Harcourtova lampa	harcourt	9,91
Carcelova lampa	carcel	9,704
parafínová svíčka Vereins-Paraffinkerze	VK	1,084
spermacetátová lampa	spermacet candle	1,16
pentanová svíčka	pentane candle	1,0023
Violleova svíčka	violle	20,23
decimální svíčka bougie décimale	BD	1,0114

tab. 1

Srovnání požadavků na osvětlení dle času:

	knihy	norma	norma	norma	norma	norma	norma	norma	norma	norma	
	Elektrické zdroje světelné	ESČ 420	ČSN - ESČ 92	ČSN – ESČ 92a	ČSN – ESČ 92	ČSN 36 0047	ČSN 36 0042	ČSN 36 0450	ČSN EN 12464-1	ČSN EN 12464-1	
		1917	1928	1930	1936	1949	1949	1964	1986	2003	2012
		lx*	lx	lx	lx	lx	lx	lx	lx	lx	lx
učebna	35-60	50/110	110	80/110	90/120	90/120	120	300	300	300	300
chodba	5-10	10/30	30	20/30	20/30	20/30	40	75	100	100	100

tab. 2, * luxy vycházející z Hefnerovy svíčky

Porovnání požadavků

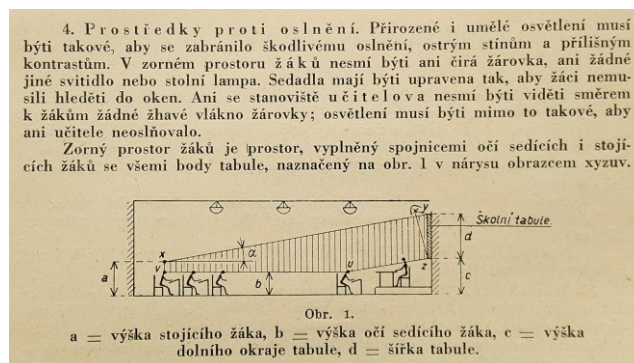
Z tabulky je vidět, že požadavek na minimální hodnotu osvětlení ve školní učebně vzrostl 6x (z 50 na 300 lx).

Závěr

Z uvedeného je vidět, že už naši předchůdci věděli, že k osvětlování ve školách je třeba věnovat značnou pozornost a důsledně dodržovat pravidla pro omezení oslnění. Bohužel často ekonomické hledisko zvítězí nad hlediskem kvalitativním.

Úryvek z normy ESČ 420 Vzorné osvětlování škol

Podívejme se do staré normy a připomeňme si, na co nás upozorňovala již v roce 1928. Hned v první tabulce nalezneme dva sloupce pro osvětlenost. V prvním sloupci jsou hodnoty pro nejmenší osvětlení, tedy hodnotu, pod kterou osvětlenost nesmí klesnout. A ve sloupci druhém hodnoty doporučené s dovětkem, že často jsou žádoucí i hodnoty vyšší. Pro standardní učebnu jsou to hodnoty 50 a 110 lx. Hned další odstavec normy upozorňuje na oslnění, a že v zorném poli žáků ani učitelů nesmí být viděti žádné žhavé vlákno žárovky a sedadla žáků mají být upravena tak, aby žáci nemuseli hledět do oken. Osvětlení musí být takové, aby ani učitele neoslňovalo.



obr. 5 – zorný prostor žáků

Porovnání požadavků na osvětlení

Tab. 2 ukazuje vývoj požadavků na osvětlení ve školách ve vybraných prostorech (učebna a chodba).

Pokud je hodnota uvedena ve tvaru 50/110 udává první hodnota hodnotu minimální přípustnou a hodnota za lomítkem hodnotu doporučenou.

Hodnota uvedená z knihy Elektrické zdroje světelné je ještě uvedena v hefnerových luxech (dnes používaný lux je 1,11 x větší)

Reference

Při sestavení přednášky jsem vycházel ze starých technických norem.

Historie normalizace pochází z <http://www.odbornecasopisy.cz/elektro/casopis/tema/technicka-normalizace-jubilujici--14840>

a <http://www.agentura-cas.cz/>. Informace k historii světelných zdrojů je čerpána z Wikipedie.

Autor Ing. Petr Niesig, Elkovo Čepelík s.r.o., Chutnovka 77, 511 01 Turnov, e-mail: petr.niesig@elkovo-cepelik.cz

Historie rozvoje osvětlení v Ostravě jako předstupeň RS ČSO Ostrava

Motto: „Spojení je začátek, setkávání je pokrok a spolupráce je úspěch.“
Henry Ford americký průmyslník 1863

Historie České společnosti pro osvětlování měla svůj předstupeň, svoje „podhoubí“. V některých městech Československé republiky se již mnohem dříve rozvíjel obor osvětlení v řadě úrovní. Bylo to pochopitelně školství, výzkumná pracoviště, projekční organizace, zdravotnictví, Domy techniky ČSVTS (Československé vědeckotechnické společnosti) v krajských městech - Praha, Plzeň, Ústí nad Labem, Trutnov, Pardubice, Brno, Bratislava, kolektivy odborníků organizujících vzdělávací akce. Výzkum osvětlení se prováděl v Tesle Holešovicích, na Institutu hygieny a epidemiologie v Praze, v Ústavu stavebnictví a architektury v Bratislavě, na Krajské hygienické stanici v Ostravě. Do propagace osvětlení se zapojovaly i firmy vyrábějící svítidla.

V Ostravě zájem o rozvoj osvětlení probíhal dosti intenzivně. Velmi významným místem v Ostravě byla nově vzniklá Fakulta elektrotechniky při Vysoké škole báňské. V roce 1973 zde jako první přednášel předmět Světlo v oboru strojní inženýrství se zaměřením na elektrotechniku doc. Ing. Jiří Plich, CSc. A po určitou dobu i cvičení z uvedeného předmětu. Později se zapojil do výuky předmětu Elektrické světlo Ing. Karel Sokanský, začínající vysokoškolský pedagog, který přešel z Průmyslové školy elektrotechnické v Ostravě, na uvedenou fakultu. První absolventi opouštěli školu v roce 1975

V roce 1976 výuku předmětu Světelná technika na FE VŠB převzal jako externí vyučující Ing. Jindřich Dufka, projektant Báňských projektů Ostrava s pobočkou BPO ve Valašském Meziříčí. Zde v počátcích své kariéry projektoval na rýsovacím prkně a výpočty osvětlení prováděl na logaritmickém pravítku. Byl garantem několika krajských seminářů, školení a soustředění. Působil jako člen výboru Národní odborné skupiny Člověk, světlo, prostředí. Spolupracoval na typizačních směrnících a úkolech Ministerstva lehkého průmyslu. Patřil mezi vynikající odborníky, byl zkušeným projektantem, velmi vzdělaným člověkem. Já nezapomenu na jeho úsměvnou vzpomínku, jak v padesátých letech, když začínal svoji praxi projektanta a navrhovalo se osvětlení školních tříd podle zavedeného způsobu - jedna třída, šest kulí. To znamenalo 6 kulových svítidel ještě se žárovkami. Ing. Jindřich Dufka byl nejen vynikajícím odborníkem, ale i charizmatickou osobností. Na našich pozdějších společenských akcích neváhal svojí hrou na harmoniku, zajistit hudební doprovod všem zpívajícím.

Následně zajišťoval výuku předmětu Světlo na FE VŠB Ostrava, od roku 1981, Ing. Karel Sokanský, který získal i vědeckou hodnost CSc., v uvedeném oboru na FE VUT v Brně a „světlo“ se stalo jeho celoživotní prioritou.

Dalším místem rozvoje byly některé projekční organizace. Na Báňských projektech v Ostravě a v pobočce BPO ve Valašském Meziříčí probíhaly semináře pro

projektanty na základě norem ČSN 36 0035 Denní osvětlení budov a ČSN 36 0046 Umělé osvětlování v průmyslových závodech. Přípravou seminářů byli pověřováni zkušení projektanti tehdejších Ostravsko-karvinských dolů, kteří své projekty předkládali KHS ke konzultacím a odsouhlasení.

Na Stavoprojektu Ostrava se na začátku 70. let pro projektování osvětlení využívala kniha „Otto Šula: Příručka osvětlovací techniky“. V této době se na popud MUDr. Keřkové z OHS Karviná začalo osvětlení počítat, ručně tokovou metodou. Později se na základě požadavků hygieny a seminářů RNDr. Juklové začal používat jednoduchý program na počítači Atari, pak i na PC XT a PC AT. To se již projektanti elektro zúčastňovali kurzů osvětlování, které pořádala ostravská KOS osvětlování ČVTS a na základě dokonalejších programů se již osvětlení počítalo a řešilo ve spolupráci s KHS. V Hutním projektu Ostrava s organizací kurzů o osvětlení pomáhal Ing. Fridolín Kudela. V oddělení projekce ČSAD Ostrava v rámci pravidelných školení zajišťoval přednášky o osvětlení Ing. Ondřej Viššor.

Významným místem rozvoje osvětlování se na mnoho let stala Krajská hygienická stanice v Ostravě. V roce 1972 zde nastoupil doc. MUDr. Vladimír Maňák, CSc., vědecký pracovník zabývající se fyziologií zrakového systému, další charizmatická osobnost. Byl to politický disident z Bratislavy. Na Slovensku nesměl dostát žádnou odbornou práci. Tehdejší ředitel KHS Ostrava doc. MUDr. Raimund Miksl, CSc. měl odvahu ho tzv. „politicky ukryt“. A nejen to. Dal mu možnost vybudovat si experimentální laboratoř, umožnil zakoupení tehdy vzácného jasoměru Hagner a pracovat na knize Fyziologie zraku aplikovaná na hygienu osvětlování. První spolupracovníci doc. Maňákoví byla paní Jiřina Sokanská. Logickým vyústěním byla u něj konzultace tehdejšího Ing. Karla Sokanského při jeho dizertační práci. A nebyla to jen konzultace, ale společné sdílení nadšení pro světlo a vidění. Doc. Maňák měl dar toto nadšení šířit kolem sebe. Řadil se mezi nejlepší odborníky na fyziologii zraku a osvětlování u nás. V roce 1975 jsem převzala práci paní Sokanské já osobně, až do doby odchodu pana doc. Maňáka do důchodu v roce 1981.

Pan doc. Maňák však měl zákaz publikovat, přednášet. Přesto jeho kniha Fyziologie zraku aplikovaná na hygienu osvětlování psaná doslova „na koleně“ s ručně kreslenými obrázky a grafy byla vydána v češtině na přímiluvu přátel, domnívám se, že Ing. Františka Šestáka z Centropjektu Zlín a Ing. Jindřicha Dufky z Báňských projektů Ostrava. Největší podíl na vydání uvedené publikace měl pracovník tehdejšího generálního ředitelství Vlnařského průmyslu v Brně Ing. Vachka. Kniha vyšla napůl ilegálně v roce 1977. Pro zajímavost je dnes uložena v digitalizované podobě na Zdravotně sociální fakultě ostravské univerzity. Postupně se

podávalo doc. Maňákovi politicky motivované zákazy překračovat, nejprve přednášením na kurzech v Ostravě, později i v jiných městech (Plzni).

V Ostravě Radvanicích existoval **Vědecko-výzkumný ústav uhelný - VVÚU**. V souvislosti s bezpečností práce hlavně v důlním prostředí zde bylo mimo jiné pracoviště zabývající se výzkumem světla v pracovním prostředí vedené Ing. Vidličkou

Předchůdce ČSO RS Ostrava byla **KOS osvětlování ČSVTS - Krajská odborná skupina osvětlování Československé vědeckotechnické společnosti**. Společnost ČSVTS měla svůj první sjezd v roce 1970, v rámci této společnosti bylo mnoho odborných sekcí. Rozvíjela se zde v Domech techniky činnost formou kabinetů, poraden a konzultačních středisek. V Ostravě byla založena KOS osvětlování ČSVTS v roce 1975. Předsedou se stal Ing. Jindřich Dufka, místopředsedou prof. Ing. Karel Sokanský, CSc. Ten v roce 1976 se stal také jednatelem pobočky ČSVTS při fakultě strojní a elektrotechnické Vysoké školy báňské v Ostravě. Pod její hlavičkou bylo možno organizovat odborné kurzy. Jedna z prvních přednáškových akcí se uskutečnila ve Frenštátě pod Radhoštěm a byl vytištěn i první sborník přednášek ve formátu A5. Následovaly další vzdělávací akce přadané v Ostravě

V roce 1981 po změně vedení KHS Ostrava byla experimentální laboratoř fyziologie zraku zrušena a mým pracovištěm se stalo oddělení hygieny práce, úsek hygieny osvětlení. Začala jsem se učit posuzování návrhů osvětlení, řešení stížností a měření denního a umělého osvětlení. Moje biologické vzdělání bylo tomuto oboru velmi vzdálené. Intenzivně jsem hledala zdroje informací pro nové pracovní zařízení. Asi v roce 1982 jsem se s prof. Ing. Karlem Sokanským, CSc. zúčastnila kurzu Technika osvětlování v Plzni. Líbilo se nám nadšení jeho organizátorů a nasměrovalo nás to ke spolupráci. Územní rozložení Plzně a Ostravy nevedlo k žádné konkurenci. Vzájemná výpomoc přednášejících byla obohacením. Rozvinulo se mezi námi přátelství, spolupráce.

V Ostravě se pod vedením prof. Ing. Karla Sokanského, CSc. stmelil kolektiv spolupracovníků – nadšenců světla. Byli mezi nimi Ing. Alena Muchová, Ing. Jindřich Dufka, Ing. Fridolín Kudela, Dagmar Hrabovská, Vlasta Počtová a další. I. kurz osvětlovací techniky se uskutečnil v roce 1983. Kurz osvětlovací techniky I. – Výklad k nově navrhovaným normám se v Ostravě proběhl v roce 1984. Z kurzu osvětlovací techniky II. v roce 1985 byl již vydán i sborník přednášek. Kurzy byly následně pořádány každoročně. Název vycházel z tradičních názvů používaných na vzdělávacích akcích ČSVTS. Pro ostravské kurzy se ustálil se název Kurz osvětlovací techniky, pokračovalo se v číselném označování kurzů a pravidelném vydávání sborníků přednášek. Konference v té době nebyl běžný název pro setkání odborníků. Tradice později velela dodržovat název „Kurz“ i v případech, kdy Ostravou byly organizovány Konference s mezinárodní účastí. Organizačním centrem byla VŠB Ostrava a Krajská hygienická stanice Ostrava. Témata přednášek postihovala aktuální rozvoj osvětlení. Postupně přednášky v Ostravě obohacovali renomovaní odborníci z Prahy, Plzně, Brna, Zlína, Bratislavy, Košic a dalších měst. Zájem o ostravské kurzy umocnila nejen nabídka kvalitních přednášek, změny norem a legislativy, tlak hygieny na zkvalitňování návrhů osvětlení, ale také nástup počítačové techniky v

projektování. V neposlední řadě i nabídka společenských akcí a doprovodných programů oslovila mnoho zájemců.

Cílem vzdělávacích aktivit bylo dostat do podvědomí projektantů, investorů a pracovníků hygienických stanic důležitost denního i umělého osvětlení nejenom pro práci, ale hlavně pro zdraví lidí. Začátky nebyly jednoduché. Projit schválením projektu osvětlení na hygieně v Ostravě vyžadovalo poctivý přístup projektanta. Kurzy vedly především ke komplexnímu řešení osvětlení v projektech. Přes mnohdy počáteční nezáměr měnit zaběhnutý styl práce se postupně úroveň projektů velmi zlepšila. Ojedinelým počinem spolupráce Krajské hygienické stanice a Vysoké školy Báňské bylo asi v roce 1999 zavedení každoročního Mezilaboratorního testování způsobilosti laboratoří měřit umělé osvětlení.

Tolik z historie rozvoje světla v Ostravě. Ostravská regionální skupina patřila následně ke spoluzakladatelům České společnosti pro osvětlování v České republice 21. října 1991. Tehdy byly regiony součástí ČSO. Jednalo se v podstatě o přechod stávajících a nejen ostravských aktivit do celorepublikové organizace. Česká společnost pro osvětlování regionální skupina ČSO RS Ostrava byla schválena valnou hromadou 26. 5. 1992. Podle spolkového rejstříku vznikla jako pobočný spolek 1. ledna 1996.

V závěru Historie osvětlování v Ostravě se musím poklonit prof. Ing. Karlu Sokanskému, CSc. V Ostravě to byl on, který určoval směr vývoje. Byl to on, kdo motivoval nejen své nejbližší okolí a jeho vize a aktivity přesahovaly náš region. Byl to on, který stmeloval kolektiv světlařů, odborně vedl i bavil. Byl skvělým učitelem i přítelem. Byl tou hořící svící, která zapalovala jiné. Vždycky byl a zůstává tím bodrým Ostravákem s vyhrnutými rukávy.

Poděkování

Upřímně děkuji prof. Ing. Karlu Sokanskému, CSc., doc. Ing. Jiřímu Plchovi, CSc., Ing. Aleně Muchové, Ing. Marii Křivové, Ing. Ondřeji Viščorovi, Jiřímu Němcovi, Ing. Tomáši Maixnerovi, za pomoc oživit dávné vzpomínky.

V neposlední řadě děkuji Ing. Petru Niesigovi za zájem o historii vzniku České společnosti pro osvětlování a všem, kteří své vzpomínky dávají k dispozici.

Autor: RNDr. Marie Juklová, ČSO RS Ostrava, e-mail: mjuklova@seznam.cz

Implementace výpočtu osvětlení přechodů podle TKP 15.1

Klíčová slova: TKP 15.

Úvod

Osvětlení přechodů je důležitý bezpečnostní prvek na našich komunikacích. Pravidla přisvětlování přechodů jsou vysvětlena v TKP 15, příloze 1. V tomto článku bych rád popsal, jak vám s návrhem osvětlení přechodu může pomoci aplikace BuildingDesign.

Při řešení osvětlení přechodu musíme začít rozhodnutím, jestli je nutné/vhodné přechod pro chodce osvětlovat. Osvětlení se na přechodu zřizuje z důvodu zvýšení bezpečnosti chodců a řidičů. V některých případech by ale umístění svítidel k přechodu mělo opačný efekt.

Jsou to například tyto situace:

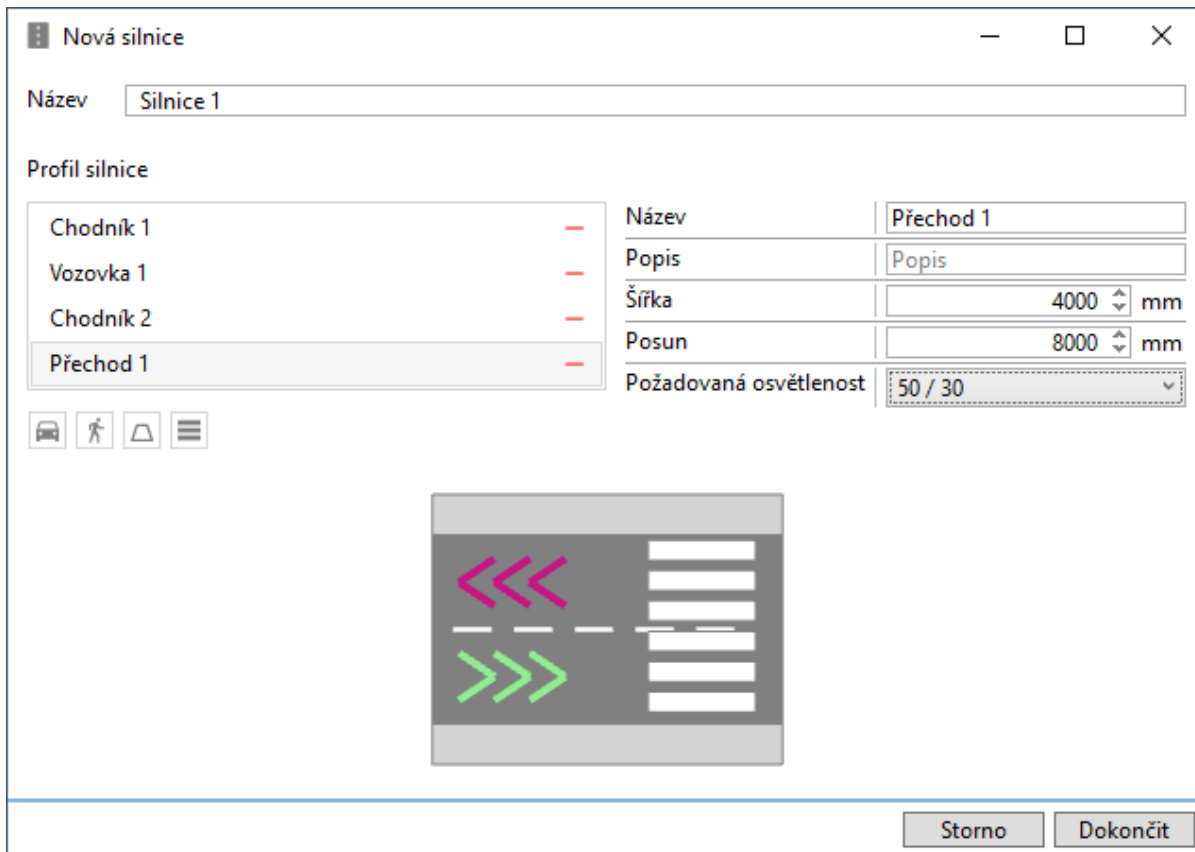
- Komunikace není osvětlena. (před i za přechodem, ve vzdálenosti definované v TKP 15.1)
- V blízkosti řešeného přechodu se nachází jiný neosvětlený přechod. (vzdálenosti jsou definovány v TKP 15.1)
- Zřízením osvětlení by došlo k snížení kontrastu mezi chodcem a pozadím. (Tím by klesla viditelnost chodce)

V případě, kdy se rozhodneme přechod osvětlit, nám TKP 15.1 definuje, jaké veličiny musíme na přechodu spočítat a jakých hodnot musíme dosáhnout. V závislosti na geometrii vozovky rozdělíme počítaný přechod do několika oblastí. Část přechodu, která se nachází na vozovce se nazývá hlavní oblast. Po obou stranách hlavní oblasti musíme vyhodnotit doplňkové oblasti o délce 1 m. V případě, kdy je vedle jízdního pruhu středový pás, nebo jiné zařízení pro chodce, které odděluje více jízdních pruhů, použijeme doplňkovou oblast o délce 3 metry. V každé oblasti budeme počítat vertikální osvětlenost počítanou ze směru přijíždějících vozidel. Na hlavní oblasti a v prodloužených doplňkových oblastech musíme vyhodnotit rovnoměrnost. Rovnoměrnost musí dosahovat alespoň hodnoty 0,4. Na závěr musíme vyhodnotit poměr udržovaných průměrných svislých osvětleností v hlavním prostoru a přilehlých doplňkových prostorech. Požadované hodnoty vertikální osvětlenosti závisí na parametrech stávajícího osvětlení komunikace:

Tabulka 1. Levá část tabulky obsahuje parametry stávajícího osvětlení komunikace. Na stejném řádku pak v pravé části vidíme požadované hodnoty osvětlení přechodu.

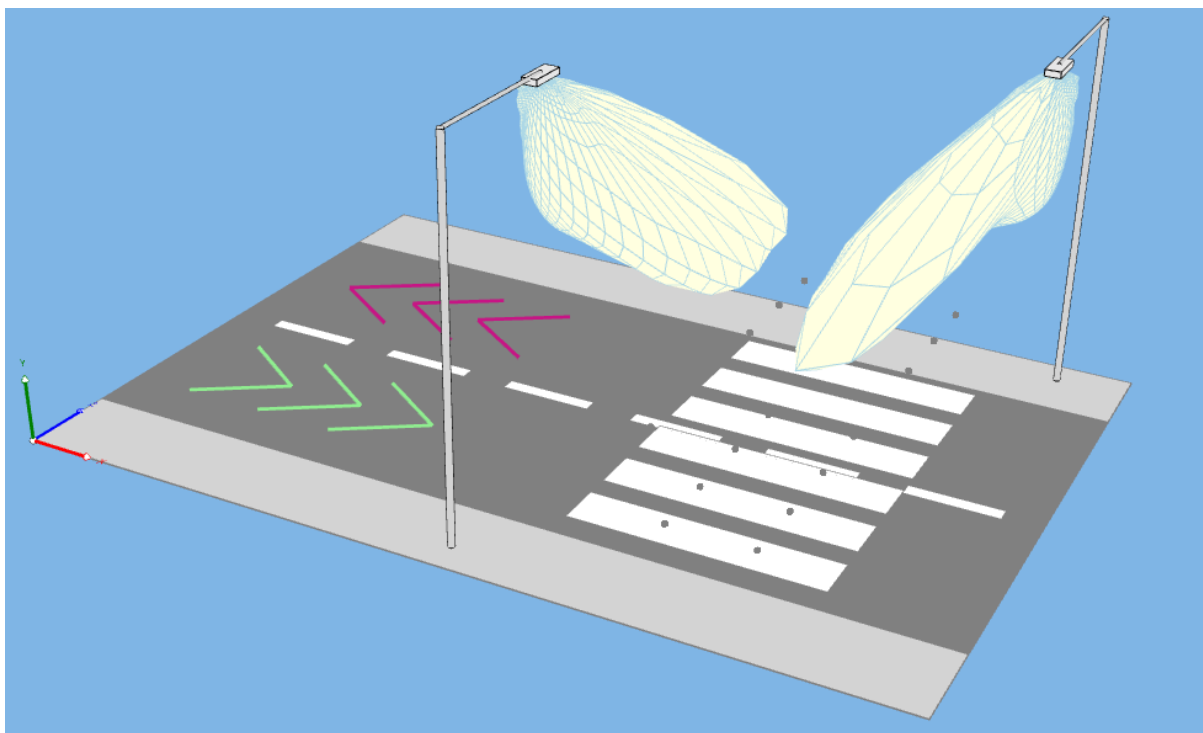
Udržovaná hodnota stávajícího osvětlení		Udržovaná průměrná svislá osvětlenost (lx)		
jasu povrchu pozemní komunikace/pozadí (cd.m ⁻²)	horizontální osvětlenosti pozemní komunikace (lx)	nejnižší		nejvyšší
		základní	doplňkový	všechny prostory
$1,5 \leq \bar{L}$	$50 \leq \bar{E}$	přisvětlení se nezřizuje		
$1,0 \leq \bar{L} < 1,5$	$30 \leq \bar{E} < 50$	75	50	200
$0,75 \leq \bar{L} < 1,0$	$20 \leq \bar{E} < 30$	50	30	150
$0,5 \leq \bar{L} < 0,75$	$10 \leq \bar{E} < 20$	30	20	100
$\bar{L} < 0,5$	$\bar{E} < 10$	15	10	50

Výpočet osvětlení přechodu v aplikaci BuildingDesign:



Obr. 1. Krok 1 : Definice struktury vozovky

V tomto kroku nadefinujeme, z jakých pásů se skládá počítaná komunikace. Na obrázku je vidět 2 jízdní pruhy, jeden v každém směru. Po obou stranách jsou chodníky pro chodce. Každé části můžeme nastavit šířku. Jízdním pruhům můžeme upravit počet a směr jízdy. Na přechodu si rovnou určíme požadované hodnoty osvětlenosti.



Obr. 2. Krok 2: Výběr svítidla

Pro osvětlení přechodů je vhodné použít k tomu určené svítidlo. Zejména důležitý je tvar charakteristiky svítivosti. Po výběru svítidla můžeme nastavit výšku světelného bodu, příčnou a podélnou vzdálenost od přechodu, sklon výložníku a natočení svítidla.

Výpočet		Kontrola		Nastavení		Režimy výpočtu	
Název	Minimální hodnota	Průměrná hodnota	Maximální hodnota	Rovnoměrnost	Poměr osvětleností		
Silnice 1 - Přechod 1							
Základní prostor - Doprava - Vertikální osvětlenost	28,5 lx	65 / <50 - 150> lx ✓	97 lx	0,44 / 0,4 ✓	1,6 / <0,5 - 2,0> ✓		
Základní prostor - Doleva - Vertikální osvětlenost	28,5 lx	65 / <50 - 150> lx ✓	97 lx	0,44 / 0,4 ✓	1,6 / <0,5 - 2,0> ✓		
Doplňkový prostor 1 - Doprava - Vertikální osvětlenost	31 lx	40,5 / <30 - 150> lx ✓	48,6 lx	0,77			
Doplňkový prostor 1 - Doleva - Vertikální osvětlenost	25,5 lx	42,7 / <30 - 150> lx ✓	52 lx	0,6			
Doplňkový prostor 2 - Doprava - Vertikální osvětlenost	25,5 lx	42,7 / <30 - 150> lx ✓	52 lx	0,6			
Doplňkový prostor 2 - Doleva - Vertikální osvětlenost	31 lx	40,5 / <30 - 150> lx ✓	48,6 lx	0,77			

Obr. 3. Krok 3: vyhodnocení výsledků

Jak je vidět na obrázku, pro uvažovaný přechod je potřeba provést 6 výpočtů. Musíme spočítat vertikální osvětlenost pro oba směry jízdy na hlavní oblasti a dvou doplňkových oblastech. Po výpočtu vidíme spočítané hodnoty včetně porovnání s požadovanými úrovněmi.

Závěr

Problematika výpočtu osvětlení přechodů je jistě složitější, než bylo naznačeno v tomto článku. Nicméně věříme, že program BuildingDesign vám bude užitečným pomocníkem při výpočtu, přechodů, rovných úseků

komunikace i komplikovaných křižovatek a kruhových objezdů.

Reference

[1] www.astrasw.cz

Authors: Ing. Petr Mahdaliček, ASTRA MS Software s.r.o., Nivy 1506, 765 02 Otrokovice, www.astrasw.cz, e-mail: petr.mahdalicek@astrasw.cz

Ochrana před přepětím pro LED osvětlovací systémy

Abstrakt. Cílem příspěvku je seznámení s možnostmi ochrany moderních LED osvětlovacích soustav před účinky impulsního přepětí a tedy s možnostmi zajištění jedné ze základních podmínek jejich spolehlivého provozu. Ilustruje možnosti praktického řešení odpovídající ochrany před přepětím, vznikajícím nejčastěji v důsledku bleskových výbojů nebo více či méně uvědomělé činnosti člověka v průmyslu apod.

Klíčová slova: ochrana před přepětím, svodiče, impulsní přepětí, blesk.

Úvod

Osvětlení větších vnějších i vnitřních prostor bylo dříve doménou zářivek a rtuťových výbojek. Pro úsporu energie a zlepšení osvětlení se nyní mnoho těchto starších světelných systémů zaměřuje za moderní LED systémy, které již mají delší dobu své pevné místo ve většině nových projektů. Návrh investice do LED svítidel může být přitom teoreticky, díky energetické úspoře až 70 procent a prodloužení životnosti celého systému z cca 20 000 až na 100 000 hodin, pouhé dva roky.

Podmínkou ovšem je, že nebude za provozu docházet k nežádoucím poruchám, jejichž velmi častým původcem je impulsní přepětí. Svítidla LED i související elektronická zařízení patří totiž převážně do kategorie přepětí II a jsou proto testována na impulsní přepětí 2 kV až 4 kV, což je odolnost citelně horší, než měla dříve používaná zářivková nebo výbojková svítidla.

Přepětí může být přitom v energetických systémech vyvoláno mnoha příčinami. Blesk je schopen vyvolat rázové přepětí o amplitudě až několika desítek tisíc voltů, které výrazně překračuje výdržné napětí LED svítidel, přičemž například exponovaná poloha pouličních světel vystavuje svítidla účinkům blesku a přepětí přímo. Obdobnému nebezpečí mohou být vystaveny neonové značky a venkovní osvětlení. Záleží na jejich situování v zónách ochrany před bleskem dle ČSN EN 62305. Tato impulsní přepětí může vést k postupné degradaci intenzity světla nebo i přímé destrukci světelných zdrojů, či souvisejících elektronických obvodů.

Nebezpečný ovšem není jen přímý úder, ale bleskový výboj je schopen zničit nechráněná elektronická zařízení až do vzdálenosti dvou kilometrů. Stejně destruktivní mohou být ale i spínací operace v průmyslových sítích nebo třeba jen prosté zapínání zářivek a výbojkových svítidel. Jejich zásahem mohou vzniknout přepětí impulsy o amplitudě až 5 kV a není-li osvětlovací LED systém spolehlivě chráněn vůči přepětí, mohou i oni způsobit postupnou degradaci vlastností instalovaných světelných modulů LED nebo jejich polovodičových ovladačů a mohou mít na svědomí i totální destrukci některého systémového prvku. Nemalé náklady na opravy škod nezabezpečených nebo nedostatečně zabezpečených LED systémů od impulsního přepětí pak často citelně prodlužují dobu ekonomické návratnosti. Existuje tedy naléhavá potřeba instalace vhodné externí ochrany před přepětím, chránící investice do moderních systémů LED osvětlení.

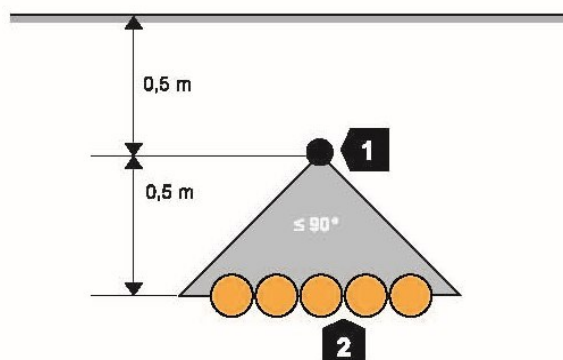
Odpovídající přepětí ochranná zařízení (SPD) musí přitom svému účelu využít odpovědět nejen svými elektrickými parametry, ale i mechanickým provedením. Jako příklad z oblasti vnitřní instalace mohou sloužit průmyslové a sportovní haly, využívající zpravidla situování svítidel ve velkých výškách. Při poškození svítidel v nich může dojít k poklesu úrovně osvětlení pod minimální

přípustnou úroveň, což může být příčinou nebezpečných situací nebo dokonce i nehod. Proto je zde třeba jednat okamžitě. Výměna vadných prvků v těchto prostorách ale přináší, mimo materiálových nákladů, často také vysoké náklady za použití zdvihacích plošin a pracovní síly. Aby se tomuto poškození předešlo a zajistila se dlouhodobě spolehlivá funkce osvětlovacích systémů, je nezbytné osadit do systému vhodná přepětí ochranná zařízení (SPD).

Pro většinu větších staveb vyžadují instalaci ochrany osob, hospodářských zvířat a majetku před účinky blesku a přepětí navíc i mnohé technické předpisy. Požadavek na instalaci SPD zpravidla vyplývá již z analýzy rizik podle ČSN EN 62305-2, případně z analýzy rizika dle ČSN 33 2000-4-443 ed.3. V řadě případů je ale přímo direktivně stanoven ve vyšším právním předpise, kterým je např. par. 36, vyhlášky č. 268/2009 Sb.

Pouliční osvětlení: návrh uzemňovacího systému

V případě nových instalací LED je vhodné chránit přírodní kabel mezi sloupy pouličního osvětlení nad ním situovaným uzemňovacím vodičem (obr. 1), potlačujícím v zemi bleskové proudy. Za optimální se považuje umístění tohoto vodiče cca 0,5 m nad napájecím kabelem. Kompenzuje rozdíly potenciálů a minimalizuje přeskoky na napájecím kabelu. Ochranný úhel dodatečného uzemňovacího vodiče lze uvažovat max. 90°. Na místech se zvýšeným počtem osob, na konfliktních místech (třídy osvětlení CE0 až CE5) apod. by také nemělo být také v žádném případě opomenuto uzemnění kovového sloupu svítidla.



Obr. 1: Ochrana kabelů (2) uzemňovacím vodičem (1)

Pouliční osvětlení: ochrana proti přepětí

Pouliční osvětlení LED je zpravidla napájeno z řídicí skříňně nebo z hlavního pouličního rozváděče. Přepětí z napájecí sítě lze tedy zachytit v tomto bodě centrálně, než

dorazí k jednotlivým svítidlům. Ekonomicky velmi přijatelné řešení představuje v těchto bodech přepětové ochranné zařízení typu 1 + 2 dle obr. 2.



Obr. 2: Svodič OBO – V50, typu 1 + 2 pro síť TN-S s dálkovou signalizací stavu

Použití dalšího SPD, co nejbliže u svítidla, pak zvyšuje ještě více spolehlivost a životnost celého osvětlovacího systému. Doporučit lze instalaci v prostoru spodní části osvětlovacího stožáru, kde lze provádět, na rozdíl od instalace v hlavě lampy, jednoduše montáž, údržbu a popřípadě i snadnou výměnu. Této aplikaci musí být ovšem uzpůsobeno i provedení ochranného prvku, jako je tomu na obr. 3.



Obr. 3: Svodiče řady OBO - ÜSM-... typu 2 + 3, určené k instalaci přímo do sloupu VO

Pouliční osvětlení: přímý úder blesku

Při úderu blesku do kovového osvětlovacího stožáru je velká část proudu blesku svedena přímo do země. Kvůli nenulovému odporu uzemnění se však vždy vytvoří rozdíl potenciálů na napájecím kabelu. Související vysoké impulsní proudy může svádět kombinovaný svodič bleskového proudu v ovládací skříni nebo rozváděči a chránit tak další, společně napájená LED svítidla. Ochranu před přímým úderem blesku by sice nejlépe zajistila izolovaná vnější ochrana dle ČSN EN 62305-3, nicméně v případě stožárů venkovního osvětlení je její realizace z ekonomického hlediska nereálná. Svodiče přepětí v jednotlivých stožárech a v ovládací skříni nebo rozváděči lze proto považovat za odpovídající kompromis, dostatečně minimalizující další šíření přepětí i možnost poškození technologie.



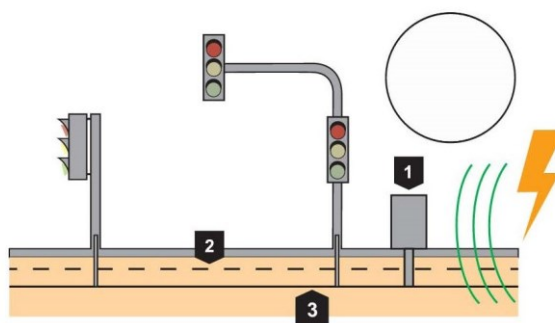
Obr. 4: Svodič ÜSM-10-230I2P v rozvodnici sloupu VO.

Pouliční osvětlení: vzdálený úder a indukce

Úder blesku až do vzdálenosti 2 km může vygenerovat přepětí, schopné po napájecím kabelu poškodit i zničit LED světelný zdroj nebo související elektronické prvky. I v tomto případě je nejlepší umístit SPD přímo v připojovacím prostoru u paty stožáru svítidla, neboť bude snadno přístupná a kontrolovatelná. Indukční vazby v další části vedení ke svítidlu výrazně minimalizuje kovový stožár a kovový kryt svítidla. Přepětové impulzy přicházející z napájecí sítě mohou být i zde celkem jednoduše potlačeny centrálně, svodičem přepětí v ovládací skříni nebo rozváděči.

Pouliční světelná signalizace

Kromě pouličního osvětlení jsou bleskovými výboji a přepětím ohroženy taktéž světelné LED signalizační systémy. V husté zástavbě nebo v blízkosti jednotlivých vysokých budov jsou ohroženy především přepětím vnikajícím v důsledku spínacích operací nebo indukci do přírodních vodičů při blízkém úderu blesku (obr. 4). Protože jsou tyto systémy obvykle napájeny a řízeny prostřednictvím uličních rozvodných a ovládacích skříní, lze současně v tomto místě zabránit, aby se přepětí přeneslo do optických částí dopravní signalizace.



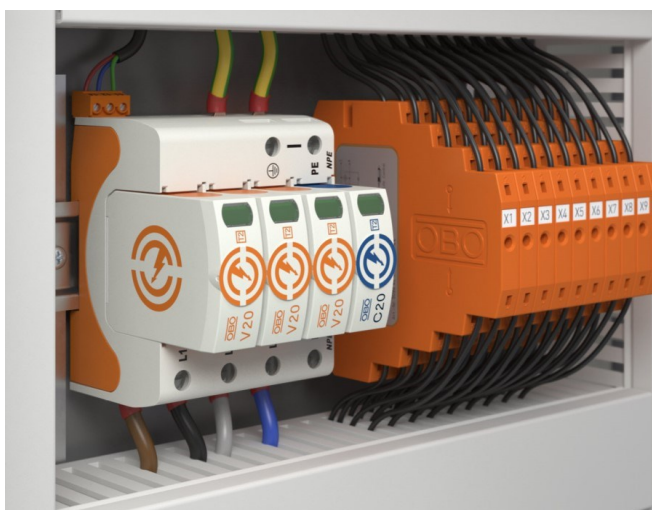
Obr. 5: Blízký úder s indukci do přírodního vedení (3) signalizace, zakončením v rozvodné skříni (1) a ochranou nadloženým uzemňovacím vedením (2)

V příslušném skříňovém rozváděči proto měla být použita přepětová ochrana minimálně typu 2, jako na obr. 5. Při možnosti výskytu energeticky významných přepětí od bleskových výbojů je však nanejvýš vhodné použít kombinované SPD typu 1 + 2, například opět dle obr. 2.

U zařízení s dálkovou signalizací provozního stavu je vhodné používat SPD s bezpotenciálovým kontaktem dálkové signalizace (obr. 2 a 5), který se snadno integruje do signalizačního systému. Závada je pak ihned rozpoznána, může být včas odstraněna a systém tak zůstává vždy optimálně chráněn.

Pouliční světelná signalizace: přímý úder blesku

Přímé úder blesku ohrožují světelné signalizační systémy zpravidla jen na otevřeném prostranství, bez existence budov, jež by je přímo obklopovaly. Protože ochranu proti přímým úderům lze v těchto případech realizovat jen s velkým úsilím a vysokými náklady, je často akceptováno poškození stožáru. Pro účinnou minimalizaci dalšího šíření přepětí by ale měly být v ovládací skříni těchto systémů vždy použity odpovídající přepětová ochranná zařízení alespoň typu 1 nebo ideálně již zmíněného typu 1 + 2.



Obr. 6: Čtyřpólový svodič OBO - V20 typu 2 s dálkovou signalizací stavu v kombinaci s ochranou ovládacích vodičů

Vnější osvětlení budov

Pro minimalizaci škod způsobených přepětím, musí být v budově vždy zajištěna ochrana dle ČSN 33 2000-4-443 ed.3 a ČSN 33 2000-5-534 ed. 2. Pokud má budova systém vnější ochrany před bleskem, musí dimenzování ochrany korespondovat s klasifikací budovy podle ČSN EN 62305-2. Jestliže jsou vnější svítidla elektricky napájena z budovy (obr. 6), musí být metalické napájecí nebo ovládací kabely u vstupu do budovy napojeny na ekvipotenciální vyrovnání potenciálů. A to buď galvanicky nebo u živých vodičů prostřednictvím vhodných SPD dimenzovaných na uvažovanou část bleskového proudu (vlina 10/350 μ s).

U budov se systémem ochrany před bleskem je třeba také zajistit, aby osvětlení po obvodových stěnách a na střeše bylo skryto v ochranném prostoru ochrany před bleskem. To, zda je vyžadován systém vnější ochrany před bleskem závisí na rizikové analýze dle ČSN EN 62605-2. Při délce přívodního kabelu větší než 10 m by měla být před svítilny použita k ochraně další SPD.

Vnitřní osvětlení LED

Osvětlovací LED systémy průmyslových zařízení a administrativních budov jsou nejčastěji poškozovány vysokými napětíovými impulsy souvisejícími se spínacími operacemi. Přepětové ochrany by proto měly být instalovány v celém osvětlovacím systému. Z hlavního rozvaděče vedou přes podružné rozvaděče až k jednotlivým svítilnám často velmi dlouhá vedení, nabízející širokou

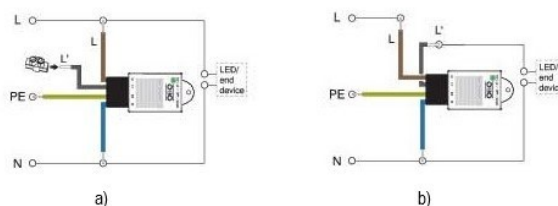
škálu možností pro přenos přepětí prostřednictvím elektromagnetické indukce. Je proto třeba instalovat v dílčích distribučních rozváděcích a rozvodnicích minimálně SPD typu 2. Jsou-li svítidla od posledního rozvaděče s vestavěnou ochranou před přepětím vzdálena více než 10 metrů kabelu nebo vedení, je nutné pro ochranu ovládačů a LED zdrojů doplnit bezprostředně před tato elektronická zařízení další ochranné zařízení. Pokud je osvětlení instalováno např. přímo pod kabelovým nosným systémem, může být přepětová ochrana instalována jednoduše v propojovací (odbočné) krabici před jednotlivými svítilny.

Aby bylo možné využít k potlačení nežádoucích elektromagnetických jevů účinně také stínící vlastnosti kovových kabelových nosných systémů, musí být tyto na obou stranách integrovány do soustavy ekvipotenciálního vyrovnání potenciálů.

Připojení přepětových ochranných zařízení

Přepětová ochranná zařízení musí vyhovovat zkušební normě EN 61643-11 a musí být schopna několikrát nedestruktivně svést rázové proudy o amplitudě více tisíc ampérů. Podle zkušební normativy musí být každé ochranné zařízení v případě závady tepelně monitorováno a bezpečně odpojeno. Ochranná zařízení ÚSM všechny tyto požadavky splňují a lze je ke svítilnám připojit sériově nebo paralelně. Díky tomu lze preferovat provoz i s vadným SPD (paralelní připojení) nebo při závadě na ochranném zařízení lze svítilno odepnout (sériové připojení).

K dispozici jsou také provedení SPD s připojením ke dvěma fázím, která lze tak chránit pouze jedním SPD. Ochranná zařízení pro svítidla LED s připojením na dvě fáze lze využít ale i v běžných zapojeních s tím, že druhé fázové připojení je využito např. k ochraně kontrolní fáze světel.



Obr. 7: Paralelní: a) a sériové: b) připojení SPD ke svítilně

Paralelní připojení

Přepětové ochranné zařízení se instaluje před LED svítilněm. Při poruše ochrany ÚSM zhasne její kontrolka, vadná přepětová ochrana je odpojena a LED svítilno zůstává dále v provozu, ovšem bez ochrany proti přepětí.

Sériové připojení

Přepětová ochrana je zapojena do série s LED svítilněm. Při poruše ochrany ÚSM zhasne její kontrolka a vadné SPD i obvod (L') jsou odpojeny. Porucha se zde projeví navíc i zhasnutím světla, takže je okamžitě patrná nutnost opravy nebo výměny. Po jejím provedení je opět zaručen bezpečný provoz svítilny. Životnost svítilny a vynaložená investice jsou v tomto případě chráněny lépe.

Přepětová ochrana pro specifické případy

Pro dodatečné vybavení LED osvětlovacích systémů SPD v náročných prostředích bývají třeba přepětová ochranná zařízení se zvýšeným stupněm krytí. Například typ OBO - ÚSM-20-230I1PE65 garantuje krytí IP 65 a díky tomu jej lze instalovat i mimo rozvodné nebo propojovací skříň, neboť jeho tvar, stupeň krytí a způsob připojení umožňuje nasazení i ve značně obtížných vnějších

podmínkách. Může být instalován mimo rozvodnici stožáru, jestliže v ní není při dodatečné montáži dostatek místa. Zajišťuje ochranu jedné fáze a do obvodu jej lze zapojit sériově i paralelně.



Obr. 8: Svodič ÜSM-20-230I1PE65 skrytím IP65 a připojením pomocí integrovaného kabelu

Literatura a odkazy

- [1] Firemní literatura OBO Bettermann GmbH, SRN.
- [2] ČSN EN 62 305-2:2013, Ochrana před bleskem - Část 2: Řízení rizika.
- [3] ČSN EN 62 305-3:2012, Ochrana před bleskem - Část 3: Hmotné škody na stavbách a ohrožení života
- [4] ČSN 33 2000-4-443:2016, Elektrické instalace nízkého napětí - Část 4-44: Bezpečnost - Ochrana před rušivým napětím a elektromagnetickým rušením - Kapitola 443: Ochrana před atmosférickým nebo spínacím přepětím
- [5] ČSN 33 2000-5-534:2016, Elektrické instalace nízkého napětí - Část 5-53: Výběr a stavba elektrických zařízení - Odpojování, spínání a řízení - Oddíl 534: Přepětová ochranná zařízení

Autor: Ing. Jiří Burant, OBO BETTERMANN s.r.o., Modletice 81.
e-mail: burant.jiri@obo.cz

Řízení osvětlení s DALI-2

Abstrakt. Přednáška se zabývá rozšířením standardu DALI na nový standard DALI-2, jeho klíčovými vlastnostmi a použitelností v praxi. Dalším tématem jsou samostatně komunikující svítidla DALI standardu D4i a to zejména pro veřejné osvětlení.

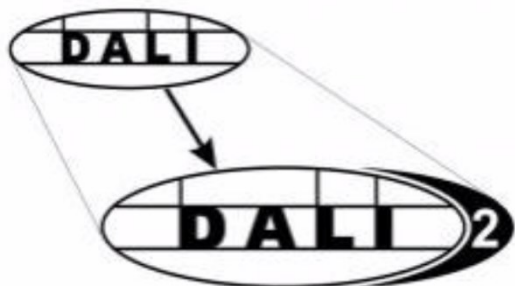
Klíčová slova: DALI, DALI-2, D4i, DiiA, Zhaga, řízení osvětlení

Představení

Standard řízení osvětlení DALI dle IEC 62386, který je platný od roku 2001, je nyní rozšířen na standard DALI-2. Se standardem DALI-2 přichází také nový standard D4i pro samostatně komunikující svítidla. Tento standard bude nejdůležitější zejména ve veřejném osvětlení, kde je každé svítidlo samostatně komunikujícím bodem a také pomůže k aplikaci technologie IoT do světelné techniky.

DALI-2 nový standard řízení osvětlení

Současný standard DALI, byl upgradován na nové kapitoly již v roce 2016 a od té doby se mluví o novém standardu DALI-2. Záštitu nad novým standardem převzalo nové globální konsorcium firem pod názvem The Digital Illuminance Interface Alliance (DiiA). Je to sdružení firem, které stanovuje nové kapitoly DALI standardu, upravuje stávající a řeší certifikaci výrobků a způsob jejich testování. Na webových stránkách aliance DiiA jsou k dispozici informace o členech, přispívajících členech, testovacích domech a zejména je tam databáze všech certifikovaných produktů. Cílem standardu DALI-2 je maximální kompatibilita výrobků pro komunikaci DALI a zároveň zvýšená kvalita výrobků testováním dle přísnějších standardů, které DALI-2 vyžaduje. Zároveň přinese vyšší kvalitu certifikovaných výrobků a vzájemnou 100% kompatibilitu mezi výrobci. Pouze členové DiiA se mohou ucházet o certifikaci DALI-2 pro svoje výrobky (výrobky stávajícího standardu DALI může vyrábět kdokoliv). Významné je také zvýšení kapacity sběrnice pro vstupní jednotky. Kromě stávajících 64 adres svítidel, může být navíc dalších 64 adres pro vstupní jednotky a ovládací prvky. Zároveň jsou funkce vstupních a ovládacích prvků standardizované, což ve stávajícím standardu nebylo. DALI-2 přinese také více dat o svítidlech ve standardizované podobě, například o provozních hodinách LED svítidel, teploty v driveru, LED čipu apod. Pro zákazníka přinese nový standard možnost mít více dodavatelů systému DALI v jedné instalaci. Kompatibilita je zajištěna i při kombinaci více výrobků a dodavatelů v jednom systému, pokud budou uvedené výrobky v databázi na DiiA. Pouze výrobky certifikované u DiiA mohou používat logo DALI-2 (viz. Obr. 1)!



Obr. 1: logo DALI-2

V současné chvíli je pro DALI-2 certifikováno více jak 600 výrobků, převážná většina je LED driverů. I když ještě není možno postavit kompletně celý systém DALI-2, určité pro investory je dobré již dnes uvažovat o svítidlech vybavených DALI-2 pro budoucí rozšíření, případně upgrade firmware. Předpokládá se, že komplexní systémy na tomto standardu budou realizovány již v letech 2020-21.

S novým standardem DALI-2 se nijak nemění požadavky na typ kabeláže, ani omezení délky sběrnice. Dokonce i napájecí napětí pro DALI napáječe zůstává stejné, podobně jako maximální povolený proud na sběrnici, tedy 250 mA. V jednom systému lze samozřejmě kombinovat prvky stávajícího standardu a standardu DALI-2. Nové funkce a standardizovaná data DALI-2 ze svítidel, ale nemohou být v takovém hybridním systému plně využita.

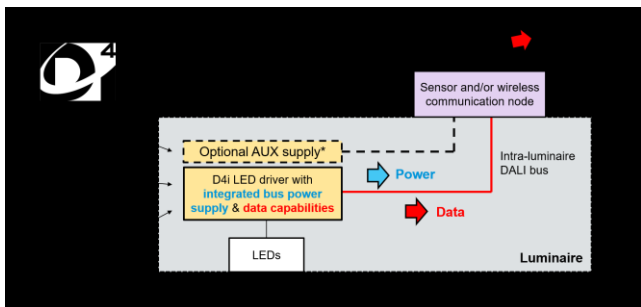
D4i standard pro samostatně komunikující svítidla

Letošní novinkou z května 2019 je DiiA certifikace a standard D4i (logo viz Obr. 2), který přináší standardizaci zejména v těchto dvou klíčových oblastech pro samostatně komunikující svítidla. Zprv je to standardizace dat v LED driverech, zejména o spotřebě energií, teplotách a údržbě, což jsou informace důležité při integraci svítidel do sítí IoT, jako samostatně komunikující uzly. Ve standardu DALI-2 se těmito oblastmi zabývají kapitoly 251-253.

Druhou oblastí využití, je samostatně inteligentní svítidlo s vlastní, například bezdrátovou komunikací, které vyžaduje LED driver se zabudovaným DALI napáječem, případně i s výstupem externího napájení, například pro bezdrátový komunikátor. Popis této funkčnosti řeší nová kapitola 250. Obrázek 3 ukazuje blokové schéma uspořádání a komunikace modulů takového svítidla.



Obr. 2: logo D4i



Obr. 3: uspořádání bloků svítidla D4i

Dii také nově spojilo své síly s americkou Zhagou pro spolupráci na standardizovaných konektorech, například pro připojení senzorů osvětlení k takovému svítidlu. Výsledky budou čerpány zejména pro aplikace ve veřejném osvětlení, kde se svítidlo D4i stává plnohodnotným a hlavně samostatným komunikačním uzlem systému, který lze

ovládat, který posílá informace o stavu, případných poruchách, nebo požadovaném servisním zásahu. Tato standardizace samozřejmě zjednoduší budoucí servis ohledně informací o zásahu již před vlastním výjezdem a ohledně unifikace náhradních dílů, například senzorů, nebo driverů a to bez ohledu na výrobce.

REFERENCE

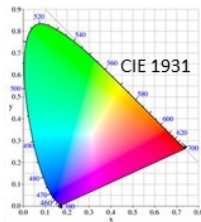
- [1] Prezentace Helvar DALI-2 UPDATE, 7. září 2019
- [2] <https://www.digitalilluminationinterface.org>

Autor: Ing. Richard Kaloč, DNA CENTRAL EUROPE, s.r.o., Podolí 30, Nehvizdy, www.dna.cz, e-mail: kaloc@dna.cz

Activities of the International Commission on Illumination (CIE)

Presentation to the Czech Lighting Society,
Pilsen, October 2019

cie ?

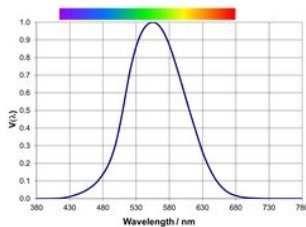


CIELAB T_{cp} R_a

CIE Normlichtarten

CIE Normalbeobachter

CIE Normalhimmel



Scientific Organization?

Standardization Organization ?

Part of the Lighting Industry ?



History of the CIE CIE 082:1990

CIE formed in 1913 as the successor to the International Commission on Photometry (CIP) – formed in 1900

CIE : Registered as a non-profit organization in Austria ([BGBl. I Nr. 66/2002](#))

Vereinsregisterauszug zum Stichtag 13.05.2019	
Allgemeine Daten	
Zuständigkeit	Landespolizeidirektion Wien, Referat Vereins-, Versammlungs- und Medienrechtsangelegenheiten
ZVR-Zahl	640982399
Vereinsdaten	
Name	CIE, Internationale Beleuchtungskommission, Commission Internationale de l'Eclairage, International Commission on Illumination
Sitz	Wien (Wien)
c/o	-
Zustellanschrift	1010 Wien, Babenbergerstraße 9/Top 9A
Land	Österreich
Entstehungsdatum	31.07.1986
statutenmäßige	Der Präsident oder der Generalsekretär vertritt die Kommission nach außen.

Dr. Peter Blattner

Seite 3



CIE's Purpose

From the [CIE Statutes](#):

The Commission is a **technical, scientific and cultural** non-profit organization. The purpose of the Commission is to provide an **international forum** for the discussion of all matters relating to the science, technology and art of **light and lighting*** and for the exchange of information in these fields between countries.

* Light and lighting in these objectives is to be understood in the broad sense of embracing such fundamental subjects as **vision, photometry and colorimetry**, involving natural and man-made radiation over the UV, the visible and the IR regions of the spectrum, and application subjects covering any usage of light, **indoors and outdoors**, including environmental and aesthetic effects, as well as means for production and control of light and radiation.

(include Photobiology/-chemistry and Imaging Technology)

Dr. Peter Blattner

Seite 4



CIE Activities

- Organize Scientific events, including sessions every four years.
- Develop basic standards and procedures of metrology, within the CIE scope
- Provide guidance in the application of principles and procedures in the development of international and national standards in the fields of light and lighting.
- Prepare and publish Proceedings, Standards, Technical Reports and other publications concerned with all matters related to the science, technology and art of light and lighting.
- Maintain liaison and technical interaction with other international organizations concerned with matters related to the science, technology, standardization and art in the fields of light and lighting

Dr. Peter Blattner

Seite 5



CIE Members (to name a few...)



2019-06-16

cie Standardization in Light and Lighting



From EUR 800/Year t ihr
Logo hi

Dr. Peter Blattner

Seite 7

cie Standardization in Light and Lighting

	Product (safety and performance)	Applications in Specific Lighting Situations	Fundamentals and Measurement
International	IEC TC 34	ISO TC 274 - in collaboration with the CIE	CIE
Regional Europe (EN Standard)	CENELEC - CLC TC 34	CEN TC 169	(CEN TC 169)
National (i.e. Austria)	OVE TK G – G 34	A.S.I. Komitee 047 (LTG)	LTG (A.S.I. Komitee 047)

Dr. Peter Blattner

Seite 8



CIE as a Standards Organization

- CIE publishes stand-alone international standards, eg:
 - CIE S 026: CIE System for Metrology of Optical Radiation for ipRGC-Influenced Responses to Light,
 - CIE S 025: Test Method for LED Lamps, LED Luminaires and LED Modules ,
 - CIE S 017/E:2011 International Lighting Vocabulary .
- CIE dual logo standards, eg:
 - ISO 11664-1:2007(E)/CIE S 014-1/E:2006 CIE Colorimetry : Standard Colorimetric Observers ,
 - ISO/CIE 28077:2016(E) Photocarcinogenesis action spectrum (non-melanoma skin cancers).
- Some historical CIE works are taken as de-facto standards, eg:
 - $V(\lambda)$ in 1931,
 - CIE 127,
 - CIE 13.3.

Dr. Peter Blattner

Seite 9



CIPM Recognition (Comité International de Poids et Mesure)

- CIPM : defines units (eg candela, cd)



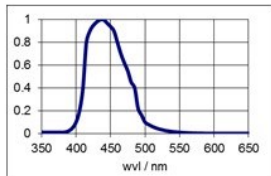
Dr. Peter Blattner

Seite 10

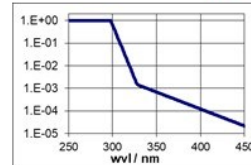
cie CIPM Recognition
(Comité International de Poids et Mesure)

- CIE: defines action spectra and quantities

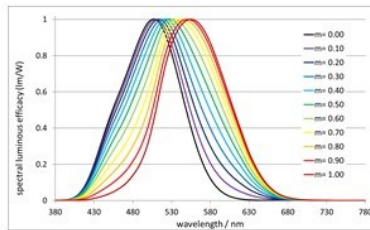
Bluelight Hazard CIE S009



Erythema CIE S007



CIE 191 Mesopischer Beobachter



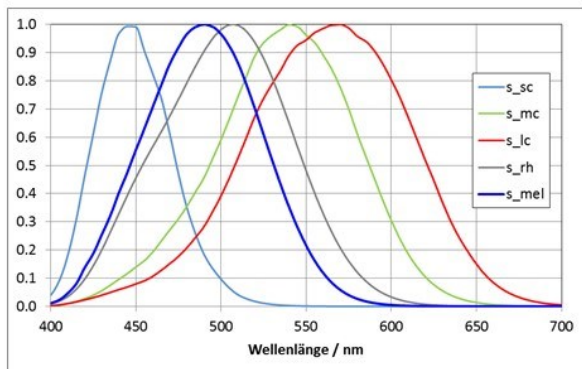
Dr. Peter Blattner

Seite 11



CIE S 026:2018

CIE System for metrology of optical radiation for ipRGC-influenced responses to light



Melanopic equivalent daylight illuminance

Unit: lx

Melanopic irradiance

Unit: W/m²

~~mel-lx, m lx, ...~~

Dr. Peter Blattner

Seite 12



Foundations of Standards



Dr. Peter Blattner

Seite 13



A Selection of Current Focus Areas

Dynamic lighting, lighting systems

CIE 205, CIE 222, JTC13, ...

LED Metrology

CIE S025, CIE 225,226, TC2-50,2-76,2-84,2-91...

Temporal Light Modulation

TC1-83, TC1-86, TC2-89, TN006, TN008, ...

Colour Quality, Colour Vision

CIE 214, CIE 224, TC1-96, JTC10, ...

Visual Appearance & 3D Printing

JTC12, DR2-74, ...

Integrative Lighting

TN003, CIE 218, CIE S 026, ...

Glare

TC3-56, TC2-86, JTC7, TC4-33, ...

peter.blattner@metas.ch

14



Foundations of Standards



Dr. Peter Blattner

Seite 15



CIE Research Strategy

<p>COLOR QUALITY OF LIGHT SOURCES RELATED TO PERCEPTION AND PREFERENCE</p>	<p>INTEGRATED GLARE METRIC FOR VARIOUS LIGHTING APPLICATIONS</p>	<p>CALIBRATION SOURCES AND ILLUMINANTS FOR PHOTOMETRY, COLORIMETRY, AND RADIOMETRY</p>
<p>ADAPTIVE, INTELLIGENT AND DYNAMIC LIGHTING</p>	<p>APPLICATION OF CIE 2015 CONE-FUNDAMENTAL-BASED CIE COLORIMETRY</p>	<p>VISUAL APPEARANCE: PERCEPTION, MEASUREMENT AND METRICS</p>
<p>SUPPORT FOR TAILORED LIGHTING RECOMMENDATIONS</p>	<p>METROLOGY FOR ADVANCED PHOTOMETRIC AND RADIOMETRIC DEVICES</p>	<p>REPRODUCTION AND MEASUREMENT OF 3D OBJECTS</p>

Dr. Peter Blattner

Seite 16



CIE Position Statements (PS)

- Non-visual effects of light (June 2015, 2nd edition October 2019)
- CRI and colour quality metrics (October 2015)

- Blue-Light Hazard (April 2019)

<http://www.cie.co.at/publications/position-statement-blue-light-hazard-april-23-2019>

Dr. Peter Blattner

Seite 17



CIE PS on the Blue Light Hazard (BLH)

- BLH only for use with respect to photochemical risk to the retinal tissue **often associated with looking into bright sources**
- Currently no evidence for adverse risk to human health from occasional exposure to optical radiation at the exposure limits.
- BLH exposure limits are not exceeded under all reasonably foreseeable LED usage conditions.
- White light sources close to the limit would be extremely bright
GLARE
- Exposure levels are often lower than experienced when viewing the blue sky.
- Devices emitting blue light are a concern for children's eyes.

Dr. Peter Blattner

Seite 18



CIE PS on the Non-Visual Effects of Light

- Circadian lighting, circadian entrainment....
- Update to 2015 PS – subtext
 “Recommending proper light at the proper time”
- 2nd edition updates on the consensus based state of the art knowledge.
- Adopts CIE S 026:2018 to provide initial guidance on how to manipulate overall light input into non-visual responses

Dr. Peter Blattner

Seite 19



Participating in CIE Activities

- Attend a CIE Conference, Symposium, Tutorial or Workshop
- Share your expertise within a CIE Technical Committee or Research Forum.
- Become a member of your CIE National Committee (this entitles you to a 67% discount on CIE publications).
- Become a Supportive Member of the CIE (for companies and organizations)
- Sign up for the [CIE Newsletter](#).
- Contact your local NC or CIE Central Bureau

Dr. Peter Blattner

Seite 20



CIE Events

- April 20 – 24, 2020: [CIE Expert Symposium on Colour and Visual Appearance](#), Hong Kong
- IDL, May 16, 2020
- May 21 – 22, 2020: [CIE Workshop on obtrusive lighting](#), Ostrava, CZ
- August 2020: CIE Tutorial and Symposium on Measurements of Optical Radiation Hazards, Eindhoven, NL
- CIE 2021: CIE Midterm Meetings, Penang, MY
- September 2023: 30th Session der CIE, Ljubljana, SL
- *Late 2020/early 2021 CIE Tutorial on S 026, Beijing, China*



Dr. Peter Blattner

Seite 21



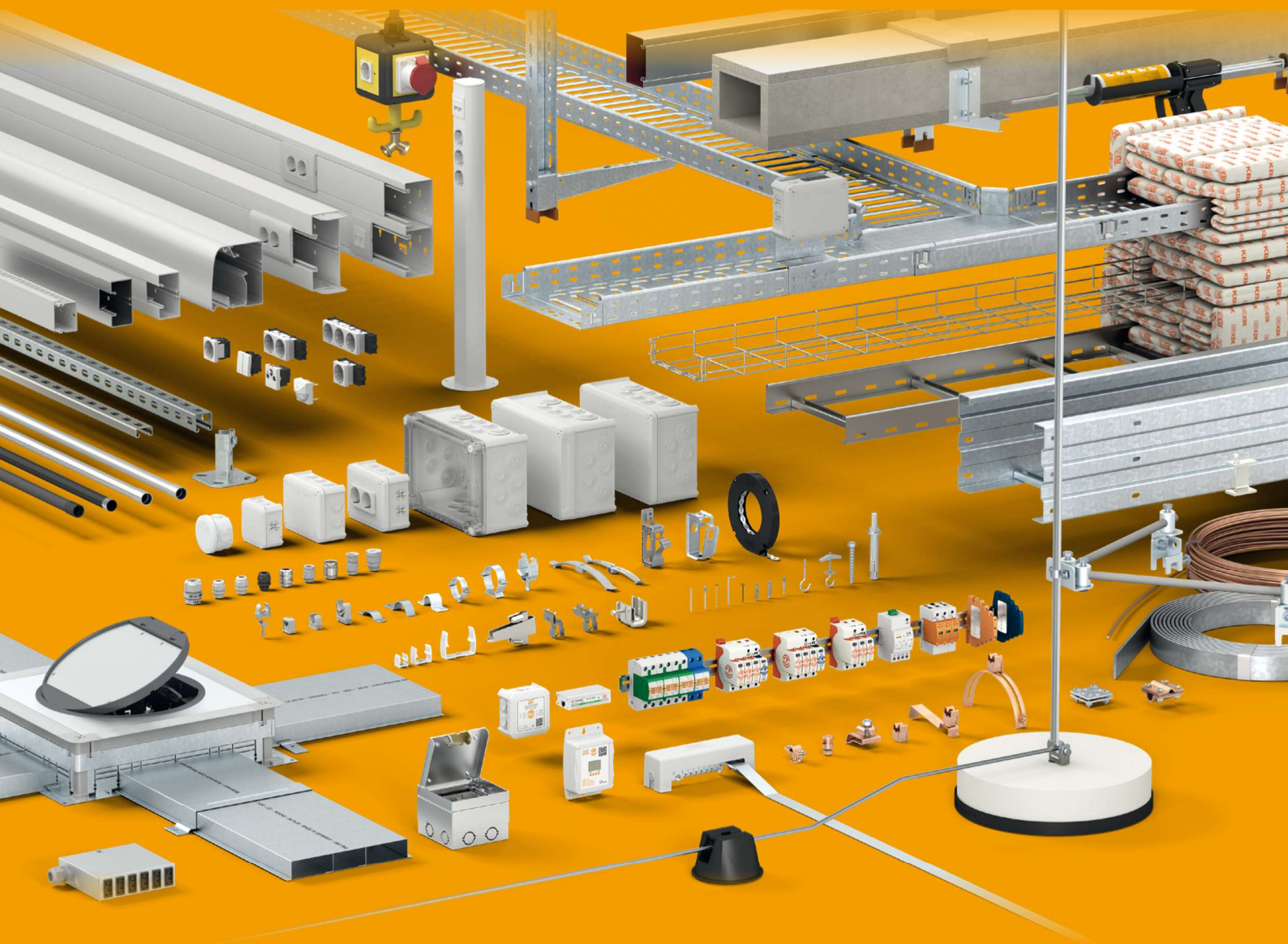
International Commission on Illumination
Commission Internationale de l'Eclairage
Internationale Beleuchtungskommission

Thank you for your attention

Dr. Peter Blattner

Seite 22

Vést proud.
Přenášet data.
Řídit energii.



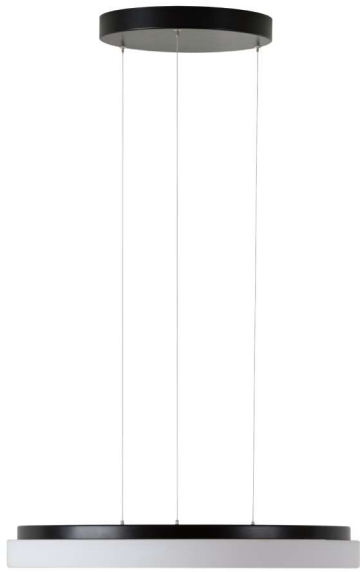
Objevte celou řadu systémů OBO
- vytváříme řešení pro váš konkrétní projekt.

www.obo.cz

Building Connections

OBO
BETTERMANN

osmont[®]
ČESKÝ VÝROBCE SVÍTIDEL



www.osmont.cz

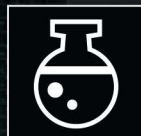
NOVINKA



TrEx

LED
TECHNOLOGY

IP66



ZÁRUKA
5

- Svítidlo je certifikováno pro prostředí s nebezpečím výbuchu plynů, výparů a prachů **pro zóny 1, 21 a 2, 22**
- Krytí svítidla: **IP66**
- Max. teplota okolí až do $t_a = +55^{\circ}\text{C}$
- Min. teplota okolí až do $t_a = -40^{\circ}\text{C}$
- Životnost:
75 000 hodin / L80B50 / $+55^{\circ}\text{C}$
110 000 hodin / L70B50 / $+55^{\circ}\text{C}$
- Max. účinnost svítidla: 107 lm/W
- Světelný tok LED modulů: 3070 – 12 300 lm
- Standardní provedení CRI > 80: 4000 K
- Na vyžádání CRI > 80: 6000 K
- **Certifikace:** AR19ATEX001, CB, CE
- Ex II 2G Ex db eb mb op is IIC T4 Gb
- Ex II 2D Ex tb IIIC T 68°C IP66 Db
- Ex II 2G Ex eb mb op is IIC T4 Gb
- Vhodné do chemicky agresivního prostředí

TREVOS

www.trevos.cz

SVĚTLO

Časopis pro světlo a osvětlování

světelné zdroje a svítidla
architekturní a scénické osvětlení
osvětlení vnitřních prostor
světelnotechnická zařízení
provoz a údržba osvětlení
měření a výpočty
technicko-ekonomická hlediska
účinky a užití optického záření
normy, předpisy a doporučení
veletrhy a výstavy
z odborného tisku

www.svetlo.info





23. mezinárodní konference SVĚTLO 2019

ISBN 978-80-248-4354-4

CD-ROM