

Hodnocení parametrů svítidel pro veřejné osvětlení

prof. Ing. Karel Sokanský, CSc., Ing. Tomáš Novák, Ph.D.,
Ing. Petr Žávada, Bc., Zdeněk Bláha

1. Úvod

Předmětem tohoto příspěvku je popis posuzování svítidel veřejného osvětlení (VO) na základě vyhodnocování a srovnávání jejich světelnotechnických, konstrukčních a ekonomických parametrů za použití multikriteriální analýzy. Postup posuzování je prezentován na osvětlovací soustavě VO podle kritérií preferovaných firmou Ostravské komunikace, a. s. (dále jen OK). Svítidla jsou posuzována v souladu s platnými technickými normami.

Úkolem veřejného osvětlení je zajistit možnost pohybovat se a pracovat na komunikacích a ve venkovních prostorách v nočních hodinách. K hlavním problémům světelnotechnického návrhu osvětlovacích soustav venkovních prostor patří volba světelných zdrojů a svítidel, hladiny osvětlenosti a jasů, rovnoměrnosti osvětlenosti a jasů, stupeň zábrany oslnění, geometrické parametry osvětlovací soustavy (závěsná výška svítidel, rozteče světelných míst) a technicko-ekonomické zhodnocení návrhu osvětlovací soustavy.

Pro posouzení OK vybraly celkem šestnáct typů svítidel s příkony vysokotlakých sodíkových výbojek 70 a 150 W. Pro potřeby tohoto článku byla vybrána svítidla s výbojkou o příkonu 150 W uvedená v tab. 1.

2. Metodika srovnávání svítidel

Metodika je navržena pro posuzování různých svítidel VO zejména k osvětlení komunikací v městských částech a obydlených oblastech. Svítidla jsou posuzována pro jednotné geometrické uspořádání a stejný světelný zdroj (jednotný světelný tok světelného zdroje).

2.1 Popis metodiky

Metodika vychází z normativních požadavků na osvětlení pozemních komunikací ČSN EN 13201-1 a ČSN EN 13201-2. V těchto částech normy jsou na základě fotometrických požadavků definovány třídy osvětlení k osvětlování pozemních komunikací se zaměřením na zrakové potřeby uživatelů komunikace a jsou zde zohledněna ekologická hlediska tohoto osvětlení. To znamená, že podle této normy lze k třídě komunikace přiřa-

dit kvalitativní a kvantitativní požadavky na osvětlovací soustavu.

Pro metodiku hodnocení svítidel byla podle požadavků OK vybrána řada tříd osvětlení ME, která se vztahuje na řidiče motorových vozidel pohybujících se po dopravních tazích se střední až vysokou povolenou rychlostí zejména v městských částech. Minimální normativně požadované hodnoty jasů a rovnoměrnosti pro toto zatřídění jsou uvedeny v tab. 2.

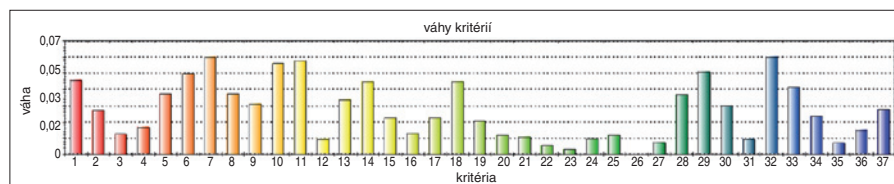
3. Určení váhových kritérií pro posuzování svítidel

Principem multikriteriální analýzy je stanovení a vyhodnocení tzv. váhových kritérií. Pro posuzování svítidel byla stanovena váhová kritéria, která jsou rozdě-

posuzování podle jednotlivých kritérií a podkritérií.

Světelnotechnické parametry svítidel

- Provedení a životnost odrazné plochy svítidla.
- Provedení a životnost optického krytu svítidla.
- Nastavitelnost polohy svítidla na stožáru.
- Nastavitelnost polohy světelného zdroje.
- Krytí svítidla.
- Krytí světelně činné části svítidla.
- Světelnotechnická účinnost svítidla.
- Oslnění – třída svítivosti svítidla.
- Oslnění – třída činitele oslnění svítidla.
- ULOR – světelný tok vyzářený do horního poloprostoru.



Obr. 1. Příklad nastavení vah podle požadavků OK odpovídající kritériím a podkritériím podle odstavce 3.1

lena do šesti základních skupin. Pro tyto základní skupiny byly vybrány okruhy profesí, které jsou kompetentní ke stanovení vah v rámci konkrétních kritérií ve vybrané skupině. Zvolená kritéria byla konzultována s odborníky, aby byla schopna popsat užité vlastnosti svítidel.

Šest základních skupin kritérií:

- Světelnotechnické parametry svítidel.
- Technické provedení svítidel.
- Provozně-ekonomické vlastnosti.
- Obchodní podmínky.
- Design.
- Ekologické hledisko.

3.1 Podkritéria

Každé kritérium lze dále dělit do tzv. podkritérií. Tato podkritéria jsou určena k lepší orientaci při hodnocení svítidel, a tudíž přispívají k větší objektivitě posuzování. Váhy jednotlivých kritérií a podkritérií stanovovali odborníci na problematiku VO tak, že jednotlivá kritéria mezi sebou porovnávali a určovali jejich význam (váhu). Stejně postupovali i při určování pořadí svítidel v rámci jejich

Tab. 1. Seznam posuzovaných svítidel

Hellux - NWS 131 150W KO
Thorn 150W Riviera1
Siteco 150W 552
Schröder 150W Safir2
Schröder 150W AtosS2
Eltav 150W Magnolia
Eltav 150W Lunoide

Tab. 2. Řada tříd osvětlení ME

Třída	Jas povrchu vozovky pro případ suchého povrchu		
	\bar{L} (cd/m ²)	$U_0 = \frac{L_{\min}}{L_{av}}$	$U_l = \frac{L_{\min}}{L_{\max}}$
ME1	2,0	0,4	0,7
ME2	1,5	0,4	0,7
ME3a	1,0	0,4	0,7
ME3b	1,0	0,4	0,6
ME3c	1,0	0,4	0,5
ME4a	0,75	0,4	0,6
ME4b	0,75	0,4	0,5
ME5	0,5	0,35	0,4
ME6	0,3	0,35	0,4

Význam symbolů v tab. 2:

\bar{L} - nejmenší udržovaná hodnota průměrného jasů (cd/m²),
 U_0 - nejmenší hodnota celkové rovnoměrnosti jasů (-),
 U_l - nejmenší hodnota podélné rovnoměrnosti jasů (-).

Technické provedení svítidel

- Předpoklad dlouhodobého zachování krytí svítidla – stálost parametrů.
- Provedení upevňovacího prvku na výložník nebo dřík stožáru.
- Způsob otevírání krytu svítidla v pracovní poloze (náročnost + použití nástrojů).
- Způsob výměny světelného zdroje v pracovní poloze svítidla (náročnost).
- Mechanická odolnost svítidla a krytu optiky.
- Provedení přípojovací svorkovnice svítidla.
- Možnost kompletně vyměnit předřadnou část svítidla.
- Přístup ke komponentám v otevřeném svítidle v pracovní poloze.
- Odpojení elektrické části při otevření svítidla.

Provozně-ekonomické vlastnosti svítidel

- Rozteč svítidel pro zadanou charakteristickou osvětlovací soustavu v jednotlivých třídách (komunikace ME4b a ME5).
- Udržovaný jas osvětlovacích soustav v jednotlivých třídách (komunikace ME4b a ME5).
- Porovnání naměřených osvětleností s osvětlenostmi vypočítanými pomocí výpočetních programů.
- Porovnání naměřených rovnoměrností s rovnoměrnostmi vypočítanými pomocí výpočetních programů.
- Naměřený průměrný jas svítidla v daném směru.
- Naměřený průměrný jas komunikace.

Obchodní podmínky

- Dostupnost informací.
- Cena svítidla.
- Perspektiva ceny svítidla v období deseti let.
- Dopravné.
- Garance dodávek náhradních dílů a jejich cen.
- Poskytnutí záruky na výrobek.
- Prohlášení o shodě podložené protokolem o typové zkoušce.
- Místo odběru zboží – vzdálenost od OK.

Design

- V rámci tohoto kritéria nebyla zvolena podkritéria.

Ekologické hledisko

- V rámci tohoto kritéria nebyla zvolena podkritéria.

3.2 Poznámky k jednotlivým kritériím a podkritériím

Kritérium krytí světelnotechnické části – toto kritérium se snaží odlišit ta svítidla,

Tab. 3. Vypočítané hodnoty pro hodnocená svítidla

Svítidlo	Jízdní pruh	\bar{I}	U_0	U_1	Splněná třída pro měřené pole a jedno svítidlo
Hellux - NWS 131 150W KO	1. pruh	1,02	0,24	0,16	-
	2. pruh	0,74	0,33	0,16	-
Thorn 150W Riviera1	1. pruh	0,31	0,30	0,18	-
	2. pruh	0,30	0,39	0,24	-
Siteco 150W 552	1. pruh	0,64	0,56	0,48	ME5, MEW5
	2. pruh	0,50	0,49	0,31	MEW5
Schröder 150W Safir2	1. pruh	0,42	0,54	0,39	ME6
	2. pruh	0,27	0,52	0,27	-
Schröder 150W Atos2	1. pruh	0,50	0,40	0,29	MEW5
	2. pruh	0,32	0,52	0,27	-
Elstav 150W Magnolia	1. pruh	0,79	0,17	0,11	-
	2. pruh	0,31	0,33	0,12	-
Elstav 150W Lunoide	1. pruh	0,38	0,50	0,38	ME6
	2. pruh	0,33	0,55	0,32	-

která si zachovávají krytí optické části i po otevření předřadníkové části při údržbě svítidel.

Kritérium ULOR – světelný tok do horního poloprostoru je nutné chápat pro dodaný soubor svítidel tak, že žádné posuzované svítidlo (včetně klasických difuzorů) nevyzařuje do horního poloprostoru více

vyplývá hodnocení v celé stupnici rozsahu (1 až 10).

Kritérium odpojení elektrické části při otevření svítidla není hodnoceno pouze dvouúrovňově (ano/ne), ale je přidán ještě mezistupeň pro svítidla, jež budou odpojena až při výměně světelného zdroje.

Kritérium porovnání naměřených osvětleností s osvětlenostmi vypočítanými je kritérium získané pouze jedním měřením z jednoho vzorku svítidla, a tudíž nemá statistickou vypovídací schopnost. Lze však z něj získat základní představu o tom, zda budou naměřené hodnoty u osvětlovacích soustav nižší či vyšší ve srovnání s výpočty.

Kritérium dostupnost informací bylo hodnoceno nejen z pohledu kompletnosti informací na internetu, ale také z pohledu dostupnosti internetových stránek v českém jazyce.

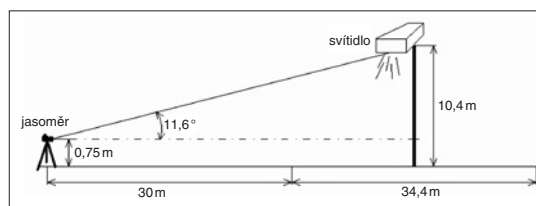
Kritérium cena by mohlo být zavádějící v případě, že by byly uvedeny od různých výrobců a dodavatelů různé typy cen.

Proto byli dodavatelé hodnocených svítidel požádáni o uvedení základních cen bez DPH (bez množstevních a věrnostních rabatů).

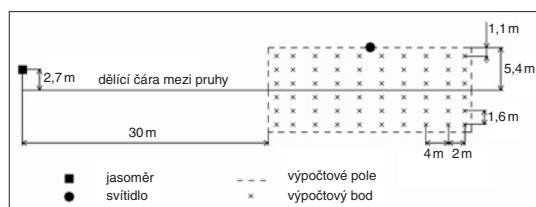
Kritérium perspektivy ceny popisuje odhad výrobců a dodavatelů, jak by mohla cena svítidla růst v následujících deseti letech.

Kritérium dopravné nemá v situaci odběratele, kterým jsou OK, žádný význam, protože všichni dodavatelé dodávají svítidla přímo do firmy. Toto kritérium může nabýt významu u malých odběratelů a jednorázových akcí, a tudíž nemůže být z hodnocení svítidel vypuštěno.

Kritérium garance dodávek náhradních dílů ukazuje velmi pozitivní jev, kdy výrobci a dodavatelé ujistují, že náhradní díly na dodávaná svítidla budou k dispozici až dvacet let.



Obr. 2. Nárys měřícího stanoviště



Obr. 3. Půdorys měřícího stanoviště

než 1% celkového světelného toku jdoucího ze svítidla. To znamená, že podle normy ČSN EN 12464-2 Světlo a osvětlení – Osvětlení pracovních prostorů – Část 2: Venkovní pracovní prostory, lze všechna dodaná svítidla používat v oblastech s velmi malým jasnem jako průmyslové a obytné venkovské zóny. Svítidla, která do horního poloprostoru nevyzařují žádný světelný tok, tedy svítidla s plochým sklem, lze použít i v oblastech se skutečně tmavými prostory, jako jsou národní parky a chráněná území.

Kritéria oslnění – tato kritéria jsou převzata z normy ČSN EN 13201 – tabulka A1 a A2.

Kritérium možnosti kompletně vyměnit předřadnou část svítidla není hodnoceno pouze z pohledu ano/ne, ale je přihlédnuto k náročnosti výměny, z čehož

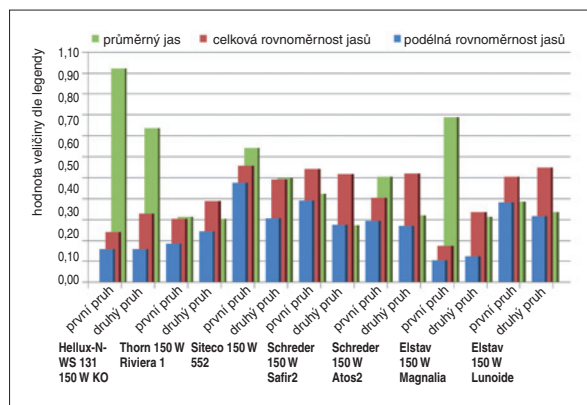
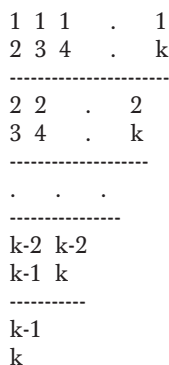
Kritérium poskytnutí záruky se jeví z hlediska dodavatelů jako velmi optimistické. Uváží-li se, že životnost elektrických komponent svítidla je asi 50 000 h a doba provozu osvětlovací soustavy za rok asi 4 000 h, koresponduje doba záruky udávaná některými výrobci s dobou technického života svítidel. Desetiletou záruku lze brát reálně pouze na korpusy svítidel.

Kritérium místa odběru zboží nemá opět v situaci odběratele, kterým jsou

vateli se předloží trojúhelníkové schéma, jehož dvojřádky tvoří dvojice pořadových čísel uspořádaných tak, že se každá dvojice kritérií vyskytne právě jedenkrát. Uživatel je požádán, aby zakroužkováním označil u každé dvojice to kritérium, které považuje za důležitější. Počet zakroužkování i -tého kritéria se označí n_i . Váha i -tého kritéria se vypočítá (1).

$$v_i = \frac{n_i}{N} \quad i = 1, 2, \dots, k \quad (2)$$

Fullerův trojúhelník má toto schéma:



Obr. 4. Srovnání naměřených jasů komunikace pro různá svítidla

OK, žádný význam, protože všichni dodavatelé dodávají svítidla přímo do firmy. Toto kritérium může nabýt významu u malých odběratelů a jednorázových akcí, a tudíž nemůže být z hodnocení svítidel vypuštěno.

Základní hodnocení kritéria design uskutečnili pracovníci OK a VŠB-TU. Z hlediska avizované subjektivity lze u tohoto kritéria operativně měnit nejen váhu, ale také pořadí podle konkrétních požadavků architektů a municipalit.

Kritérium ekologické hledisko bylo hodnoceno z pohledu odborného odhadu procenta recyklovatelných materiálů ve svítidlech. Jako recyklovatelné materiály byly uvažovány kovy, sklo, porcelán a jako nerecyklovatelné materiály byly uvažovány plasty.

4. Stanovení vah jednotlivých kritérií pro posuzování svítidel

Pro určování vah jednotlivých kritérií byla zvolena metoda využívající Fullerův trojúhelník. Zde se pro odhad vah používá pouze informace, které ze dvou kritérií je při párovém srovnání důležitější. Uživatel postupně srovnává každá dvě kritéria mezi sebou, takže počet srovnání – viz vzorec (1)

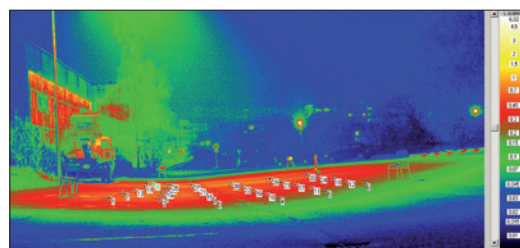
$$\binom{k}{2} = \frac{k(k-1)}{2} \quad (1)$$

Kritéria se mohou srovnávat v tzv. Fullerově trojúhelníku. Kritéria se pevně očíslovají pořadovými čísly 1, 2, ..., k. Uži-

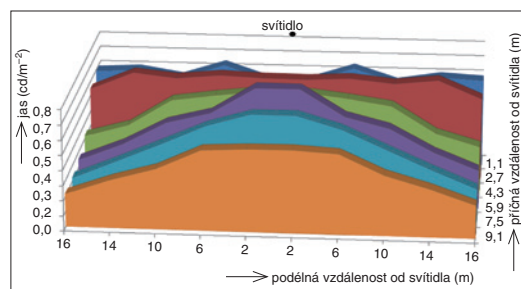
Fullerovy trojúhelníky pro stanovení vah vyplňovali zástupci OK. Výsledky z Fullerových trojúhelníků jsou využity v dalším zpracování dat s použitím multikritériální analýzy. Grafické zpracování vah kritérií určených pomocí Fullerových trojúhelníků zástupci OK je na obr. 1.

5. Popis měření a výpočtů jasů na komunikaci

Tato kapitola ukazuje příklad získávání ní podkladů pro multikritériální analýzu



Obr. 5. Rozložení jasů vozovky se svítidlem Siteco 150W 552



Obr. 6. Graf rozložení jasů vozovky pro svítidlo Siteco 150W 552

(kritérium Provozně-ekonomické vlastnosti svítidel).

Jasy byly měřeny jasovým analyzátozem LMK mobile advanced, jehož součástí je rovněž software na zpracování snímků. Na obr. 2 je vidět, že jasový analyzátor není ve vzdálenosti 60 m od okraje výpočtového pole, jak je uvedeno v normě ČSN EN 13201-3, ale jen 30 m. Aby bylo měření korektní, je nutné zachovat úhel snímání mezi jasovým analyzátozem a výpočtovým polem, a proto je rovněž zmenšena výška jasového analyzátoru nad úrovní pozemní komunikace na polovinu, tedy na 0,75 m. Na obr. 3 jsou uvedeny vzdálenosti mezi jednotlivými výpočtovými body a okrajem výpočtového pole a geometrické uspořádání měřicího stanoviště.

Z přečtených hodnot jasů z bodů měřené pole jednotlivých svítidel byly vypočítány hodnoty průměrného jasu, celkové rovnoměrnosti jasu a podélné rovnoměrnosti jasu v prvním i druhém pruhu naznačené vozovky (obr. 3). Tyto hodnoty jsou uvedeny v tab. 3 a je z nich vytvořen graf (obr. 4). Z tohoto grafu je kromě popsáných změn jasů a rovnoměrností jasů zřejmé, že při nejvyšších hodnotách průměrného jasu je celková a podélná rovnoměrnost jasů na velmi nízké úrovni (nevhodná distribuce světelného toku pro tento typ komunikace).

Největšího průměrného jasu dosahuje svítidlo Hellux – NWS 131, kde bylo naměřeno 1,02 cd/m² v prvním pruhu a 0,74 cd/m² ve druhém pruhu. Druhým největší hodnotu průměrného jasu má svítidlo Elstav 150W Magnolia, kde bylo naměřeno 0,79 cd/m² v prvním pruhu a 0,31 cd/m² ve druhém pruhu. Toto svítidlo však vykazuje nejhorší hodnoty celkové a podélné rovnoměrnosti jasu. Nejlepší celkové rovnoměrnosti jasu v kombinaci s vysokým průměrným jasem dosahuje svítidlo Siteco 150W 552. Hodnota celkové rovnoměrnosti u tohoto svítidla v měřené oblasti dosahuje 0,56. Svítidla Elstav 150W Lunoide a Schröder 150W Safir2 dosahují obdobných hodnot celkové a podélné rovnoměrnosti, ale jejich průměrný jas je o přibližně 0,2 cd/m² menší.

Na obr. 5 je znázorněna jasová mapa svítidla Siteco 552, kde jsou jasy téměř rovnoměrně rozloženy po celé ploše měřené oblasti.

Graf velikosti jasů v jednotlivých měřených bodech svítidla Siteco 150W 552 je na obr. 6, kde jsou vidět hodnoty v jednotlivých řadách. Rozdíl mezi největším a nejmenším jasem je pouze 0,6 cd/m², zatímco nejhorší svítidlo vykazuje rozdíl až 1,2 cd/m² (viz obr. 10).

Pro srovnání svítidla Siteco 150W 552 bylo vybráno svítidlo s největšími rozdíly naměřených jasů – Elstav Magnolia, jehož jasová mapa je na obr. 7 a graf hodnot jasů ve výpočtových bodech na obr. 8.

Jasová mapa svítidla Hellux – NWS 131 je na obr. 9. Na tomto obrázku je vidět situace s největšími naměřenými rozdíly celkového i podélného rozložení jasů.

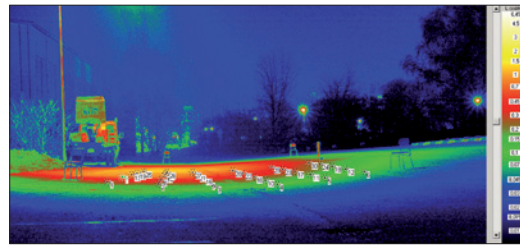
Toto svítidlo dosahuje největších průměrných jasů okolo $1,4 \text{ cd/m}^2$ a nejmenších přibližně $0,2 \text{ cd/m}^2$, jak je zřejmé z obr. 10.

Metodika měření jasů jasovým analyzátozem je navržena pro jednoduché srovnávání svítidel a zjištění vhodnosti jejich použití na konkrétní komunikaci. Tuto metodiku lze použít i pro srovnávání interiérových (srovnatelných) svítidel a zjistit tak rovněž vhodnost jejich použití. Podle normy ČSN EN 13201-4 pro měření komunikací musí být jasoměr schopen omezit celkový úhel měřicího kužele na dvě obloukové minuty ve vertikální rovině a dvacet obloukových minut ve vodorovné rovině. Použitím jasového analyzátoru LMK2000 mobile advanced je zachyceno celé měřené pole jedním snímkem s rozlišením $3\,456 \times 2\,304$, kde je velikost horizontálního a vertikálního úhlu jednoho obrazového bodu (pixelu) 26 obloukových sekund. Podle normy je pak velikost požadované měřicí plochy 4×46 pixelů.

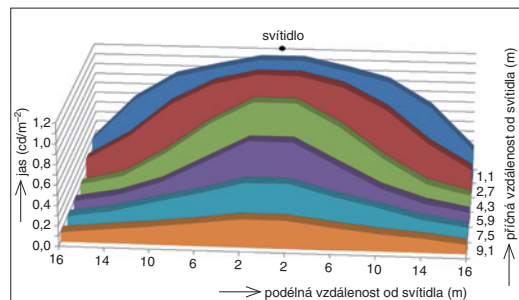
Na snímcích pořízených jasovým analyzátozem je zaznamenávána hodnota jasů každého pixelu. Příložený program umožňuje zvolit polohu, velikost a tvar jednotlivých měřicích objektů (polí). Program vyhodnocuje průměrný jas tohoto objektu, což poskytuje mnoho výhod (lze přechít průměrný jas v celém výpočtovém poli, nebo v jednotlivých bodech).

6. Závěr

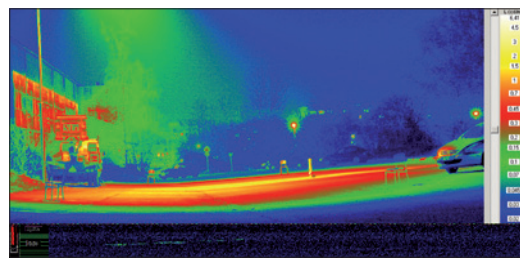
Cílem příspěvku je představit nástroj, který zadavateli umožní (provozovatel VO, projektant VO, obchodník s VO, výrobce VO) posoudit skupinu svítidel VO z různých úhlů pohledu, podle konkrétních priorit a také z pohledu vhodnosti svítidel pro konkrétní komunikaci. Aby bylo možné tohoto cíle dosáhnout, musí nástroj pro výpočet vah s použitím multikriteriální analýzy poskytovat vysokou



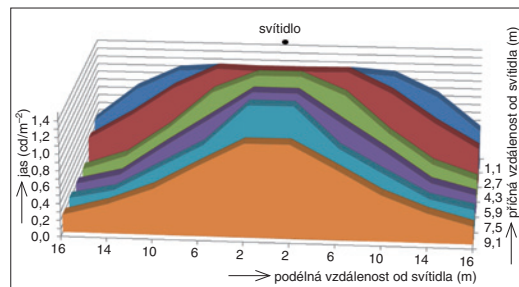
Obr. 7. Rozložení jasů vozovky se svítidlem Elstav Magnolia



Obr. 8. Graf rozložení jasů vozovky pro svítidlo Elstav Magnolia



Obr. 9. Rozložení jasů vozovky se svítidlem Hellux NWS 131



Obr. 10. Graf rozložení jasů vozovky pro svítidlo Hellux NWS 131

variabilitu. Tyto požadavky splňuje program MCA8, který:

- pomáhá řešit vhodnost svítidel podle šesti matematických metod,
- dovoluje rozšiřovat databázi posuzovaných svítidel VO,
- poskytuje velkou variabilitu ve změně vah jednotlivých kritérií,
- umožňuje vykonávat i tzv. citlivostní analýzu, tzn. že změna jakéhokoliv dílčího, ale i hlavního kritéria se okamžitě projeví v celkovém hodnocení pořadí svítidel.

Ze základního nastavení vah, které stanovili pracovníci OK a VŠB-TU, vyplývá tyto závěry:

- Podle očekávání mají nejvyšší váhu kritéria světelnotechnické účinnosti, za předpokladu dlouhodobého zachování krytí a stálosti parametrů a garance dodávek náhradních dílů svítidel.
- Relativně překvapivá (nicméně pro dodavatele velmi pozitivní) může být menší základní váha kritéria ceny svítidla. Na základě výsledků konzultací s pracovníky OK dále vyplynulo, že v podstatě dělí svítidla VO pouze do tří cenových kategorií.
- Z hlediska posuzování kvality a kvantity distribuce světelného toku na plochu komunikace je nutné společně posuzovat váhy kritérií světelnotechnické účinnosti svítidel, maximální rozteče pro danou komunikaci a průměrného udržovaného jasů pro danou komunikaci. Tato tři kritéria splňují činitel využití, který nelze v této metodě použít pro možnou variabilitu komunikací.

Závěrem je třeba konstatovat, že stanovení zmíněných kritérií, podkritérií i vah není konečné. Pružné změny vah jednotlivých kritérií jsou samozřejmostí pro variabilitu celého systému z pohledu různých typů komunikací a požadavků na ně kladených.

Autorský kolektiv vypracoval tento příspěvek, přičemž očekává odezvu odborné veřejnosti na možné úpravy, popř. doplnění kritérií a podkritérií s cílem zvýšit objektivitu při volbě svítidla pro konkrétní osvětlovací soustavu veřejného osvětlení.

Poděkování

Příspěvek vznikl za podpory výzkumného projektu Grantové agentury České republiky 102/09/1986 „Výzkum rušivých účinků umělého venkovního osvětlení“.

Literatura:

- [1] SOKANSKÝ, K.: *Měření a posouzení světelnotechnických, konstrukčních a ekonomických parametrů svítidel*. Závěrečná zpráva – 2. a 3. část, Ostravské komunikace, a. s., Ostrava, 2008.
- [2] TechnoTeam Bildverarbeitung GmbH: *Operating instructions for mobile luminance measuring system LMK mobile advanced*. 2006.
- [3] ČSN EN 13201-1 *Osvětlování pozemních komunikací – Část 1: Výběr tříd komunikací*.
- [4] ČSN EN 13201-2 *Osvětlování pozemních komunikací – Část 2: Výkonnostní požadavky*.
- [5] ČSN EN 13201-3 *Osvětlování pozemních komunikací – Část 3: Výpočet výkonnostních parametrů*.
- [6] ČSN EN 13201-4 *Osvětlování pozemních komunikací – Část 4: Metody měření výkonnostních parametrů*.

Recenze: doc. Ing. Josef Linda, CSc., FEL, Západočeská univerzita v Plzni