

Nové svetelné zdroje na báze LED vo verejnom osvetlení

Sandra Tabišová, Alfonz Smola

Vo verejnom osvetľovaní sa využívajú najmä vysokotlakové výbojky. Keďže osvetľovanie komunikácií, kde patrí výstavba, prevádzka, údržba a rekonštrukcia osvetlenia, je hradené z verejných finančných prostriedkov, treba náklady na tieto zariadenia minimalizovať. V svetelnej technike sa neustále hľadajú nové svetelné zdroje, ktoré by zabezpečili zníženie nákladov, bezpečnú prevádzku a ktoré zabezpečia bezpečnú premávku pre vodičov a pre chodcov. V tomto príspevku sa budeme zaoberať technickými možnosťami zlepšenia osvetlenia komunikácií najmä vzhľadom na LED svetelné zdroje, ktoré v svetelnej technike prechádzajú značným vývojom.

Úvod

V súčasnosti sa na osvetľovanie komunikácií využíva najmä vysokotlaková sodíková výbojka, keďže vyhovuje parametrom klade-ným na verejné osvetlenie. Je to hlavne vysoký merný výkon 120 – 140 lm/W, vysoká životnosť, vysoké prevádzkové napätie.

LED (light emitting diode) sa vyznačujú dlhou životnosťou, nízkym napätím, malými rozmermi, nízkou spotrebou elektrickej energie, vysokou odolnosťou proti otrasom a vibráciám, možnosťou plynulého stmievania a pod.

Svetelné zdroje na osvetľovanie komunikácií

Pre osvetľovanie motorizovaných alebo nemotorizovaných komunikácií, ku ktorým patria napríklad chodníky a pešie zóny, platia najmä normy STN EN 13201-1, STN EN 13201-2, STN EN 13201-3 a STN EN 13201-4. V týchto normách nie je exaktne určené, aký zdroj sa má na osvetľovanie využívať. V normách sú okrem iného predpísané svetelnotechnické parametre (najmä jas) vozovky, triedy osvetlenia, ako aj svietivosť, index oslnenia a iné.

Na osvetlenie komunikácií sa využívajú najmä vysokotlakové sodíkové výbojky (obr. 1). V starších osvetľovacích systémoch sú použité aj vysokotlakové ortuťové výbojky. V týchto svetelných zdrojoch vzniká vysokotlakový výboj v horáku, ktorý je naplne-



Obr.1 Osvetlenie prostredníctvom sodíkových vysokotlakových výbojok

ný ortuťou. Vyznačujú sa pomerne zlým farebným podaním, ($R_a = 40 - 60$), životnosťou 8 – 12 000 hodín a merným výkonom 40 – 60 lm/W. Vysokotlakové sodíkové výbojky, ktorých horák je plnený okrem iných látok najmä sodíkom, majú vyššiu životnosť (až do 32 000 hodín), vysoký merný výkon (60 – 130 lm/W), avšak ich farebné podanie je pomerne nízke. V poslednom období boli vyvinuté aj sodíkové výbojky s dobrým podaním farieb ($R_a = 30 - 80$).

Na osvetlenie komunikácií možno použiť aj žiarivky či kompaktné žiarivky. Sú to vlastne nízkotlakové svetelné zdroje, ktorých životnosť je cca. 8 000 hodín pri prevádzke s konvenčným predradníkom a pri použití elektronického predradníka je to až 18 000 hodín. Farebné podanie týchto svetelných zdrojov je veľmi dobré ($R_a = 80$ a viac). Problémom pri týchto svetelných zdrojoch je závislosť ich svetelného toku od teploty okolia. V zimných mesiacoch dochádza pri žiarivkách a kompaktných žiarivkách k zníženiu ich svetelného toku. Tento problém sa rieši špeciálnou konštrukciou svietidiel. Svetelný tok svietidiel s týmito svetelnými zdrojmi nie je obyčajne dostatočný na osvetľovanie motoristických komunikácií. Takéto svetelné zdroje je preto lepšie využiť na osvetľovanie parkov, alebo peších zón.

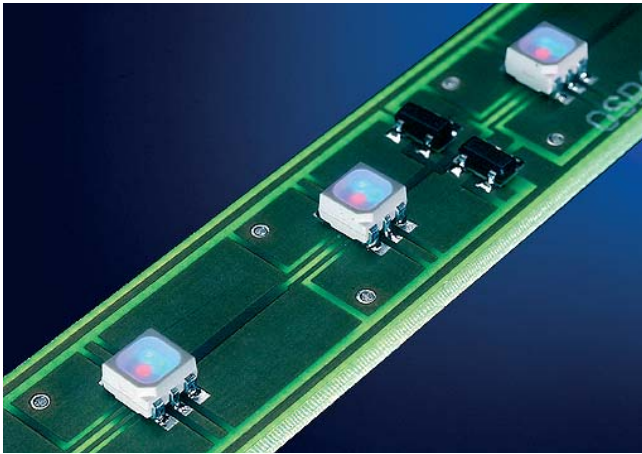
Niektoré komunikácie sú osvetľované aj nízkotlakovými sodíkovými výbojkami. Tieto svetelné zdroje majú však nevyhovujúce farebné podanie. Ich nasadzovanie vo verejnom osvetlení tam, kde potrebujeme rozoznávať farby (rozpoznávanie farieb objektov, ľudskej tváre, dopravných značiek a pod.), nie je vhodné. Preto sa tieto zdroje používajú len vo výnimočných prípadoch (diaľničné obchvaty a pod.). Rozhodne sa nedajú aplikovať v obytných zónach.

Vhodný svetelný zdroj na verejné osvetlenie je aj halogenidová vysokotlaková výbojka, ktorá má lepšie farebné podanie a vyššiu životnosť ako sodíková vysokotlaková výbojka. Lepšie farebné podanie spôsobujú prímеси (vzácne zeminy a halogenidy kovov) v horáku.

Princíp LED

LED diódy patria síce k luminiscenčným svetelným zdrojom, vznik svetla v tomto prípade sa líši od iných svetelných zdrojov fyzikálnym princípom vzniku žiarenia. Vznik svetla v tomto prípade nie je založený na ohreve vlákna, ako je to pri teplotných





Obr.2 Pásik s LED určený na osvetlenie

svetelných zdrojoch, svetlo nevzniká ani v horáku naplnenom plynom s prísadami.

LED (Light Emitting Diode, obr. 2) je svetelný zdroj, kde dochádza k vzniku svetla na p-n priedochde, ktorý je zapojený v priestupnom smere.

Elektrón z vodivostného pásma rekombinuje s dierou vo valenčnom pásme, pričom je uvoľnená energia vo forme fotónu. Ide o žiarivý prechod, pričom vlnová dĺžka fotónu sa pre rôzne polovodiče líši. Tento prechod je samovoľný (spontánny), pretože nemožno dopredu určiť okamih prechodu, ale len strednú hodnotu doby, keď k nemu dôjde. A keďže zároveň dochádza k emisii fotónu, táto emisia sa nazýva spontánna. Spontánna emisia sa využíva aj v iných zdrojoch žiarenia, ale najmä v elektroluminiscenčných diódach. Uvoľnená energia môže byť dodaná aj kryštálovej mriežke vo forme tepelnej energie (nežiarivý prechod), pričom snahou je v optoelektronických súčiastkach tento jav potlačiť.

Na výrobu LED p-n priedochu sa využívajú rôzne polovodičové materiály. Podľa toho ich delíme aj na takzvané LED a OLED diódy. V LED sa využívajú anorganické materiály, napríklad GaAs, GaN, InGaN, čo sú materiály zo skupiny AIIIIBV a AIIIBVI periodickej tabuľky, ako aj kombinácia prvkov z tej istej skupiny periodickej tabuľky. Organické elektroluminiscenčné diódy, označované skratkou OLED, pracujú na princípe LED diód, polovodičový materiál je organický.

Zvolený materiál a jeho parametre určuje, na akej vlnovej dĺžke bude daný fotón vyžiarený. Napríklad GaN vyžaruje vo vlnovej dĺžke 452 až 485 nm, čo je viditeľná oblasť spektra, toto svetlo vníma ľudské oko ako žiarenie modrej farby. Niektoré LED diódy vyžarujú v infračervenej oblasti spektra, ktoré ľudské oko nevie zachytiť. Preto sa na LED diódy nanášajú materiály, ktoré umožňujú „neviditeľné“ žiarenie premeniť do takých vlnových dĺžok, ktoré je ľudské oko schopné vnímať. Pri takomto konvertore vlnovej dĺžky je časť žiarenia vyžiareného LED diódou absorbovaná v konvertorovom materiáli a znovu je toto žiarenie z tohto materiálu vyžiarené s dlhšou vlnovou dĺžkou. K takýmto konvertorom patria najmä fosfor, polovodiče a rôzne farbivá. Podľa týchto konvertorov rozoznávame viac typov LED diód.

V svetelnej technike sa využívajú LED rôznych farieb. Najčastejšie sa používajú červená, modrá a zelená LED. Tieto farebné kombinácie sa dajú využiť najmä v signálnej technike. Ak však uvažujeme s využitím LED diód na osvetľovanie komunikácií, potrebujeme svetlo bielej farby.

Ešte prednedávnom sa získavalo svetlo bielej farby zmiešaním červenej, modrej a zelenej LED. Biele svetlo môžeme získať z LED dvomi spôsobmi. Prvý typ a spôsob získania LED s bielym svetlom je LED založená na fosforovom konvertore. Typickým zástupcom bielej LED je InGaN alebo GaN a fosforový konvertor.

Žiarenie vo viditeľnej oblasti, ktoré je vyžarované z polovodiča, je modrej farby, pričom časť krátkovlnných fotónov je absorbovaná a znovu emitovaná s dlhšou vlnovou dĺžkou v žltom spektre. Vyžiarené spektrum sa skladá z luminiscencie modrého svetla a fosforescencie žltého svetla a je bielej farby.

Druhý spôsob získania bieleho svetla pri LED je založená na transformácii UV žiarenia. Pri takejto LED sa UV žiarenie vychádzajúce z polovodičového materiálu, napr. AlGaInN prostredníctvom červenej, zelenej a modrej fosforečnej vrstvy, transformuje a zmiešaním všetkých troch farieb z danej LED vyžaruje biele svetlo.

Porovnanie LED a sodíkovej vysokotlakovej výbojky

Keďže LED nám ako svetelný zdroj poskytuje veľa výhod, spojených so životnosťou a najmä s nízkou spotrebou energie, uvažuje sa v blízkej budúcnosti s používaním LED i vo verejnom osvetľovaní.

Menovitá životnosť svetelných zdrojov sa definuje buď poklesom svetelného toku pod 80 % začiatočnej hodnoty svetelného toku alebo pri dosiahnutí 50 % mortality zdrojov.

Viacere firmy majú vo svojich laboratóriách LED (laboratórne LED) k dispozícii svetelné zdroje so svetelným tokom viac ako 100 lumenov a udávajú, že ich životnosť je až 100 000 hodín, pričom po cca 50 000 hodinách svietenia je svetelný tok redukovaný na cca 70 % začiatočného svetelného toku. Po 100 000 hodinách, teda po ukončení životnosti, začiatočný svetelný tok poklesne na 50 % začiatočnej hodnoty. Pri sodíkových výbojkách klesne svetelný tok pre príkonové typy 50 – 100 W sodíkových výbojok na 80 % začiatočnej hodnoty svetelného toku po cca 14 000 hodinách svietenia pri životnosti 28 000 hodín; pri príkonových typoch 150 – 400 W zo 28 000 hodinovej životnosti po 14 000 hodinách svietenia na približne 90 % začiatočného svetelného toku.

Z uvedeného vidíme, že pri tzv. laboratórnych LED poklesol svetelný tok až po 50 000 hodinách na 70 %; takúto životnosť (50 000 hodín) ortuťové a sodíkové výbojky vôbec nedosahujú. Ich životnosť je totiž podstatne menšia.

V tab. 1 vidíme porovnanie parametrov vysokotlakovej sodíkovej výbojky a LED diódy dvoch rôznych výrobcov. Technické hodnoty sú určené z ich katalógov. Svetelný tok LED je 113 lm, pričom svetelný tok výbojového zdroja je 14 500 lm. Teda ak by sme chceli dosiahnuť rovnaký svetelný tok pri LED, potrebovali by sme približne 128 LED. Výbojka má v tomto prípade príkon $P = 150 \text{ W}$. Pri jednej LED je príkon 5,58 W. Príkon jednej výbojky je 26-krát vyšší ako pri LED.

Merný výkon LED je asi 20 lm/W a sodíkovej výbojky 96,7 lm/W. Účinnosť výbojky je približne päťkrát vyššia ako účinnosť elektroluminiscenčnej diódy. To znamená, že v prípade sodíkovej vysokotlakovej výbojky dosiahneme svetelný tok, ktorý je päťnásobne vyšší ako svetelný tok, ktorý vyžiari LED spotrebovaním toho istého množstva energie. Životnosť, ktorá je pri jednej LED 50 000 hodín, je podstatne vyššia ako pri výbojke.

	vysokotlaková sodíková výbojka	LED
typ	NAV-T 150 Standard	LXK2-PW14-W00
teplota chromatickosti	2000 K	4500 – 10 000 K
svetelný tok	14 500 lm	113 lm
príkon	150 W	5,58 W
merný výkon	97 lm/W	24 lm/W
životnosť	28 000 hodín	50 000 hodín

Tab.1 Porovnanie vysokotlakovej sodíkovej výbojky a LED



Cena LED sa pohybuje medzi 4 Sk a 400 Sk pre vysokovýkonné LED. Cena sodíkovej výbojky sa pohybuje okolo 400 Sk a viac, čo závisí najmä od príkonu výbojky. Ceny oboch svetelných zdrojov závisia aj od výrobcu.

LED na osvetlenie komunikácií

Dnes sa už vyskytujú na trhu špeciálne svietidlá, ktoré sú určené na osvetlenie komunikácií s použitím LED.



Obr.3 Millenio

Na obr. 3 je svietidlo firmy Hess Millenio. Toto svietidlo je podľa výrobcu koncipované ako svietidlo určené na osvetlenie ulíc, námestí a peších zón. Svietidlo sa skladá z 2 x 450 ks LED, ktoré sú uložené v každej z dvoch častí svietidla. 900 LED je napájaných sieťovým napätím 230 V s celkovým príkonom 85 W. V svietidle sú zastúpené farebné aj biele LED. Farba svetla je teplá biela. Keďže životnosť použitých LED udáva výrobca svietidla 50 000 hodín, toto svietidlo prakticky nevyžaduje údržbu počas 12,5 roka svietenia, ak zohľadňujeme štandardný čas svietenia verejného osvetlenia 4 000 h/rok. Svetelný tok je tu smerovaný prostredníctvom precíznej šošovky. Závesná výška svietidla je v rozmedzí 4,5 až 35 m. Výrobca neudáva na webovej stránke žiadne ďalšie svetelnotechnické parametre daného svietidla a svetelného zdroja. Krytie svietidla je IP 65, čo je štandardné krytie moderných svietidiel pre verejné osvetlenie; zaisťuje dostatočnú prachotesnosť svietidla, dôležitú z hľadiska údržby a čistenia. Kvalitu osvetlenia vytvoreného prostredníctvom tohto LED svietidla možno posúdiť z obr. 4.

Predchádzajúca aplikácia vychádza z nasadenia LED do svietidiel, ktoré vychádzajú z filozofie návrhu osvetľovacích sústav s klasickými výbojkovými svietidlami. LED však môžeme aplikovať aj v osvetľovacích sústavách, ktoré sú iné, ako poznáme z našich ulíc a ktoré využívajú vlastnosti tohto svetelného zdroja (pomerné malý svetelný tok jednej diódy). Z tohto hľadiska predstavila veľmi zaujímavú štúdiu využitia LED firma Phillips na medzinárodnej konferencii SVETLO 2003 v Liptovskom Jáne. Aplikácia využila biele LED zdroje Luxeon so svetelným tokom 20 lumenov s indexom podania farieb $R_a = 70$.

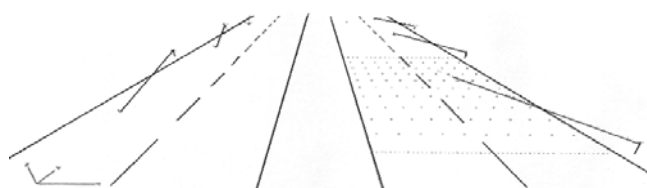


Obr.4 Osvetlenie parkoviska prostredníctvom LED svietidla

Cestná komunikácia, ktorá sa využila na toto osvetlenie, sa skladá z dvoch jazdných pruhov, z pravého a ľavého, pričom šírka každého z pruhov je 3,5 m. Na osvetlenie pravého jazdného pruhu je použitá LED osvetľovacia sústava (obr. 5).

Podľa predpisu ECE 112 je predpísaná v bode B50L hodnota osvetlenosti 0,4 luxov. Pre túto hodnotu bolo hodnotené aj oslnenie. Výpočtom sa zistili krivky svetivosti, pričom v bode B50L bola skutočná hodnota osvetlenosti 0,41 luxov.

Odhadované oslnenie od svietidiel (uložených v malej výške nad vozovkou) bolo určené metódou „threshold increment“ (TI), takzvaný prahový prírastok, ktorá je v súlade s normou EN 13201-3. Priemerný začiatkový jas CII vozovky je $0,4 \text{ cd/m}^2$, ekvivalentný závojevý jas ľavého pásu vozovky bol $0,17 \text{ cd/m}^2$ a $0,11 \text{ cd/m}^2$ pre pravý jazdný pás vo výške 1,5 m nad povrchom vozovky. S týmito hodnotami sa TI hodnoty pohybovali medzi 15 až 20 a pri použití svetlometov automobilu je táto hodnota nižšia ako 15.



Obr.5 LED osvetľovacia sústava vo výške 0,8 m

Viditeľnosť objektov bola určená výpočtom činiteľa viditeľnosti opísaného v predpise CIE 115. Aby sa zabezpečila hodnota udržiavacieho činiteľa 0,69, treba LED svetelné zdroje umiestniť vo výške 0,8 m nad povrchom vozovky tak, aby nedošlo k rýchlemu poklesu svetelného toku svietidla znečistením.

Porovnaním s požiadavkou hodnôt osvetlenia stanovených v STN EN 13201-2 poskytuje pravý jazdný pruh s priemernou hodnotou jasu $0,3 \text{ cd/m}^2$ dostatočnú viditeľnosť na obrubnici vzhľadom na okolie na vizuálne vedenie. Retroreflexívna vrstva nanosená na nosných stĺpkoch by zlepšovala tiež vizuálne vedenie, najmä pri daždi, keď je jas vozovky menej rovnomerný.

Konvenčné osvetlenie klasickými svietidlami so sodíkovou vysokotlakovou výbojkou pre diaľnice so separátnymi vozovkami požaduje vytvorenie odrazeného svetelného toku 805,59 lumenov na kilometer. Naproti tomu osvetľovacia sústava LED umiestnená v malej výške nad vozovkou vyžaduje 30,9 lumena na kilometer, teda asi 25-krát menej.

Aj táto okolnosť poukazuje na to, že biele LED svietidlo poskytuje bezpečné, stabilné cestné osvetlenie, ktoré vytvára vysoké hodnoty viditeľnosti.

Záver

LED diódy sú veľmi perspektívnym svetelným zdrojom, avšak v súčasnosti sú iba na začiatku využívania na osvetľovanie cestných komunikácií. Ak porovnáme cenu za jeden kus výbojky a spotrebu elektrickej energie s cenou LED, ktoré potrebujeme na dosiahnutie rovnakého svetelného toku a elektrickej spotreby týchto LED, zistíme, že LED, ktoré sa dnes na takéto osvetlenie komunikácií používajú, nám neprinášajú finančné úspory. Treba však uviesť, že v súčasnosti dochádza k rapidnému poklesu cien LED a súčasnému výraznému nárastu ich svetelnotechnických parametrov (svetelný tok, merný výkon). LED bude iste svetelným zdrojom budúcnosti. Už dnes možno tento svetelný zdroj efektívne využívať na osvetlenie málo frekventovaných vozoviek, najmä v spínacom režime, keď sa osvetľovacia sústava zapína iba v reakcii na prichádzajúce vozidlo. Nulový čas nábehu a minimálne náklady na údržbu takéhoto svietidla s použitím LED svetelného zdroja by boli v takejto osvetľovacej sústave veľkou výhodou oproti výbojkám, ktoré majú dlhší čas nábehu a vyznačujú sa



poruchovosťou pri spínanom prevádzkovaní. V budúcnosti treba však očakávať využitie LED prakticky vo všetkých oblastiach verejného osvetlenia

Literatúra

- [1] INTERNET Hess, <http://www.hess-form-licht.de>
- [2] INTERNET: OSRAM, <http://www.osram.com>
- [3] INTERNET: PDF manuály Luxeon, <http://www.luxeon.com>
- [4] KOVÁČ, J., UHEREK, F.: Súčasný trendy vývoja svetelných zdrojov na báze LED a OLED. In: 14. medzinárodná konferencia Svetlo 2005. Liptovský Ján: SSTS, 2003, s. 39 – 45.
- [5] SMOLA, A., GAŠPAROVSKÝ, D., KRASŇAN, F., TABIŠOVÁ, S.: Der Einfluss der Dimmung auf die Lebensdauer der Lichtquellen. In: 15. Gemeinschaftsagung der lichttechnischen Gesellschaften der Niederlande, Deutschlands, Österreichs und der Schweiz. Maastricht, 2002, s. 421 – 427.
- [6] VOBECKÝ, J., ZÁHLAVA, V.: Elektronika. Součástky a obvody, principy a příklady. Grada Publishing, Praha 2005, ISBN 80-247-1241-5.
- [7] WALKLING, A.: A white-LED low-mounted luminaire using the all-positive-contrast-concept like car headlights. In: 14. medzinárodná konferencia Svetlo 2003. Liptovský Ján : SSTS, 2003, s. 45 – 47.

M. Sc. Sandra Tabišová
prof. Ing. Alfonz Smola, PhD.

44

Slovenská technická univerzita
Fakulta elektrotechniky a informatiky
Katedra elektroenergetiky
Oddelenie svetelnej techniky
Ilkovičova 3, 812 19 Bratislava
Tel.: 02/60 29 11 65
e-mail: sandra.tabisova@stuba.sk

