

Dynamika vývoje parametrů světelných diod (LED) zásadním způsobem ovlivňuje vývoj celé světelné techniky. Proměňuje nejen oblast světelných zdrojů, ale dotýká se i dalších oblastí jako je fotometrie, kolorimetrie, fotobiologická bezpečnost, konstrukce svítidel apod. Technologický vývoj LED je doprovázen zvyšováním jednotkových světelných toků i měrných výkonů, zkvalitňováním barevných vlastností (např. index podání barev) a zlepšováním provozně technických parametrů (např. doba života). Vývoj uvedených parametrů umožňuje postupně rozšiřovat aplikační oblasti, ve kterých lze svítidla s LED využít.

Do nedávné doby se světelné diody ve všeobecném osvětlení používaly hlavně v nouzových svítidlech a ve svítidlech pro místní nebo architektonické osvětlení. V posledních dvou letech se velmi pozvolna začaly využívat v soustavách veřejného osvětlení. Zájem o použití svítidel s LED ve veřejném a architektonickém osvětlení souvisí nejen s dlouhou dobou života, ale také s neustále rostoucím měrným výkonem, který na konci loňského roku dosáhl u sériově vyráběných diod již 160 lm/W [5] a čímž významně překročil měrný výkon výbojových zdrojů, běžně používaných v této aplikační oblasti.

Vedle zmiňovaných venkovních aplikací se v loňském roce začala rozšiřovat nabídka svítidel s LED pro vnitřní osvětlení. Mezi použitím světelných diod ve venkovních a vnitřních prostorech však existuje jeden podstatný rozdíl. Zatímco ve venkovním osvětlení, jako je architektonické osvětlení a osvětlení pozemních komunikací, není kvalita rozlišování barev normativním parametrem, ve vnitřních prostorech

s trvalým pobytem osob se pro celkové i směrové osvětlení vyžaduje, aby index podání barev, kterým se posuzuje kvalita podání barev, byl  $R_a \geq 80$ . V prostorech, kde je vjem barev opravdu zásadní (například výstavní prostory) se doporučuje, aby index podání barev byl ještě větší tj.  $R_a \geq 95$ . U současně používaných výrobních technologií pro LED je velmi výrazná závislost měrného výkonu na indexu podání barev, příp. teplotě chromatičnosti.

Zatímco světelné diody, které jsou použitelné pro venkovní aplikace, mají měrný výkon již běžně okolo 120 lm/W a nejlepší 160 lm/W, světelné diody s lepším podáním barev a nižší teplotou chromatičnosti, vhodné pro vnitřní prostory, dosahují měrného výkonu běžně kolem 80 lm/W, nejlepší 90 lm/W (tab. 1). Z toho je zřejmé, že při posuzování úrovně technických parametrů LED, je třeba vždy zohlednit jejich účel.

Jednou z aplikačních oblastí ve vnitřních prostorech, kam začínají pronikat svítidla se světelnými diodami, jsou výstavní prostory. Již několik let se v těchto prostorech úspěšně používají svítidla s LED pro vnitřní osvětlení vitrín, a to buď jako bodové zdroje pro směrové osvětlení (obr. 1), např. v soliterních vitrínách, nebo jako lineární zdroje pro plošné osvětlení (obr. 2), např. v pultových vitrínách. Mezi nejpoužívanější svítidla do muzeí a galerií patří směrová svítidla do napájecích lišt.

V průběhu posledních dvou let zařadili někteří přední výrobci do svého sortimentu tato svítidla s LED, která mají být náhradou za svítidla s halogenovými žárovkami. V následující části je provedeno porovnání směrových svítidel, pro které byla použita svítidla Express pro haloge-

Barva světla	Výrobce	Typ	Parametry			
			$R_a$ (-)	PD (W)	$\phi$ (lm)	$\eta$ (lm/W)
Chladně bílá	Cree	XP - G	75	1.05	139	132
	Osram	Golden dragon plus	70	1.12	130	104
	Philips	Rebel ES	70	1.00	130	130
Teple bílá	Cree	XP - G	85	1.05	94	89
	Cree	XP - G	90	1.05	87	76
	Osram	Golden dragon plus	80	1.12	85	76
	Philips	Rebel	85	1.05	85	81

1. Tabulka porovnání vybraných typů světelných diod (LED)
2. Tabulka směrových svítidel s úzkým svazkem (cca 10°)
3. Tabulka porovnání směrových svítidel se středně širokým svazkem (cca 35°)

nové žárovky 50 W (obr. 3) a svítidla Primopiano pro světelné diody 16 W (obr. 4) v provedení s úzkým (úhel poloviční svítivosti cca 10°) a středně širokým (úhel poloviční svítivosti cca 35°) svazkem. Pro hodnocení svítidel bylo zvoleno několik následujících kritérií, jež jsou shrnuta v tabulkách 2 a 3. Náhradní teplota chromatičnosti porovnávaných světelných diod odpovídala teplotě chromatičnosti halogenových žárovek tj.  $T_c = 3000$  K.

#### 1) Spektrální složení světla

Pro osvětlení exponátů ve výstavních prostorech je významnou výhodou světelných diod oproti halogenovým žárovkám spektrální složení vyzařovaného světla. Zatímco halogenové žárovky vyzařují vedle viditelné části spektra také velmi významně v IR oblasti a v omezené míře v UV oblasti, vyzařování světelných diod je omezeno na oblast viditelného záření. Tato skutečnost je velmi významná při osvětlování vzácných exponátů citlivých na IR nebo UV záření.

#### 2) Barevné vlastnosti

Spektrální složení v oblasti viditelného spektra souvisí s barevnými vlastnostmi vyzařovaného světla a tím i s věrností vjemu barev osvětlovaných předmětů. Halogenové žárovky mají teplotu chromatičnosti  $T_c \sim 3000$  K a index podání barev  $R_a = 100$ . V současné době nabízí většina výrobců u směrových svítidel do lišty s LED dvě základní teploty chromatičnosti, teple bílou (cca. 3000 K) a neutrálně bílou (cca. 4000 K), příp. chladně bílou (cca 5500 K). Index podání barev LED se u těchto svítidel pohybuje v rozsahu 80 až 95, přičemž u diod

na srovnatelné technologické úrovni mají diody s větším indexem podání barev  $R_a (-)$  menší měrný výkon  $h$  (lm/W), tedy účinnost přeměny elektrické energie na světelnou. U světelných diod se ukazuje jako problematické věrné podání barev z oblasti červené barvy [1].

#### 3) Měrný výkon

Pro obecné porovnávání energetické náročnosti svítidel se jako poměrně vhodný parametr jeví měrný výkon svítidel  $h_{sv}$ , který uvádí, kolik světelného toku vyzařeno svítidlem připadá na jeden watt spotřebované elektrické energie. V současné době vykazují nejlepší svítidla pro halogenové žárovky měrný výkon až 20 lm/W a svítidla se světelnými diodami až 40 lm/W, tedy dvojnásobek. Toto porovnání je ovšem třeba vnímat v kontextu trhu a doby. Na trhu jsou svítidla pro halogenové žárovky, které mají měrné výkony v rozsahu od 10 lm/W do 20 lm/W a svítidla pro LED s měrnými výkony v rozsahu od 20 lm/W do 40 lm/W. Uvedené porovnání proto nelze zobecnit, ale je třeba vždy porovnávat konkrétní typy. Rozptýl měrného výkonu u svítidel s LED mezi jednotlivými výrobci souvisí s tím, že rychlost vývoje LED neumožňuje okamžitě reagovat na změny jejich parametrů a aktualizace svítidel probíhá v určitých periodách, které se u jednotlivých výrobců liší.

#### 4) Světelný tok svítidla

Při porovnávání svítidel není důležité jen to, jak jsou energeticky účinná, ale také kolik světelného toku vyzařují, tedy jakého světelného účinku lze s daným svítidlem dosáhnout. Z uvedených údajů (tab. 2,3) je zřejmé, že světelný tok

vyzařovaný svítidly pro halogenové žárovky je vyšší než u svítidel pro LED.

Měrný výkon svítidla a světelný tok svítidla jsou objektivní kritéria při porovnávání svítidel pro celkové osvětlení prostoru. Porovnávaná směrová svítidla však slouží pro osvětlení jednotlivých předmětů nebo vymezené části prostoru a jejich světelný tok je usměrněn do určitého prostorového úhlu (svazku), který se popisuje pomocí tzv. úhlu poloviční svítivosti (úhel, ve kterém je hodnota svítivosti svítidla rovna polovině maximální svítivosti). Pro směrová svítidla je proto objektivnější posuzovat světelný tok, který je vyzařen do takto definovaného svazku.

#### 5) Světelný tok svazku

Světelný tok vyzařený do definovaného svazku je v případě směrových svítidel objektivnějším měřítkem než celkový světelný tok vyzařený svítidlem. Ze srovnání je zřejmé, že se světelný tok vyzařený do svazku velmi významně závisí na charakteru svazku. Zatímco u úzkého svazku (tab. 2) jsou vyzařované světelné toky svítidel s halogenovými žárovkami a LED srovnatelné, u středně širokého svazku je světelný tok svítidla s halogenovou žárovkou dvojnásobný.

#### 6) Účinnost svazku

Účinnost svazku je zde definována jako poměr světelného toku vyzařeného ve svazku (definovaného úhlem poloviční svítivosti) a celkového světelného toku vyzařeného svítidlem. Údaje v tabulkách 2 a 3 ukazují, že se významně liší účinnost svazku pro úzké a středně široké svazky. U úzkého svazku se pohybuje okolo 30%, u středně širokého svazku okolo 50%.

2

Svítidlo					Svazek			
Typ	Index podání barev	Příkon	Světelný tok	Měrný výkon	Úhel poloviční svítivosti	Světelný tok svazku	Účinnost svazku	Měrný výkon svazku
	$R_a (-)$	$P_{sv} (W)$	$\phi_{sv} (lm)$	$\eta_{sv} (lm/W)$	$\gamma_{lmax/2} (^\circ)$	$\phi_s (lm)$	$\eta_s (\%)$	$\eta_s (lm/W)$
Express (HAL)	100	55	824	15	11	256	31	5
Primopiano (LED)	85	16	688	43	11	177	26	11
Primopiano (LED)	90	16	594	37	12	243	41	15

3

Svítidlo					Svazek			
Typ	Index podání barev	Příkon	Světelný tok	Měrný výkon	Úhel poloviční svítivosti	Světelný tok svazku	Účinnost svazku	Měrný výkon svazku
	$R_a (-)$	$P_{sv} (W)$	$\phi_{sv} (lm)$	$\eta_{sv} (lm/W)$	$\gamma_{lmax/2} (^\circ)$	$\phi_s (lm)$	$\eta_s (\%)$	$\eta_s (lm/W)$
Express (HAL)	100	55	1137	21	39	656	58	12
Primopiano (LED)	85	16	668	42	32	330	49	21
Primopiano (LED)	90	16	556	35	35	280	50	18

#### Literatura a zdroje:

- [1] CIE 177-2007 Colour rendering of white LED light sources
- [2] CIE 127 – 2007 Measurement of LEDs, 2. vydání
- [3] LM-79-08 Electrical and Photometrical Measurements of solid-state lighting products
- [4] LM-80-08 Measuring lumen maintenance of LED light sources
- [5] www.cree.com

1. Podhledové svítidlo Express se světelnými diodami 3 W (iGuzzini)
2. Lineární modul LEDstrip se světelnými diodami 24 W (iGuzzini)
3. Směrové svítidlo Express pro halogenovou žárovku 50 W (iGuzzini)
4. Směrové svítidlo Primopiano se světelnými diodami 16 W (iGuzzini)

#### 7) Měrný výkon svazku

Tento parametr se běžně neuvádí, ale u směrových svítidel má vzhledem k uvedeným skutečnostem svoje opodstatnění. Udává, kolik světelného toku ve svazku připadá na jeden watt elektrické energie spotřebované svítidlem. Z porovnání je zřejmé, že měrný výkon svazku svítidel s LED je ve srovnání se svítidly pro halogenové žárovky dvojnásobný až trojnásobný.

#### 8) Doba života

Důležitým provozním parametrem je doba života. Ve výstavních prostorech se nejčastěji používají halogenové žárovky na malé napětí, které mají dobu života přibližně 4 000 hodin. U světelných diod souvisí doba života s tím, jak kvalitně je vyřešeno jejich chlazení. V interiérech lze, vzhledem k vyšším teplotám okolí, očekávat nižší dobu života LED než ve venkovních prostorech. Podle deklarovaných hodnot se doba života LED ve vnitřních prostorech pohybuje v rozsahu od 30 000 do 40 000 hodin. To ve výstavních prostorech hraje důležitou roli nejen v oblasti nákladů, ale také při zachování původního výtvarného záměru výstavy. S každou výměnou světelného

zdroje totiž dochází k manipulaci se svítidlem a zvyšuje se pravděpodobnost změny původního výtvarného záměru, způsobené jiným nasměrováním svítidel po výměně světelného zdroje.

Jak již bylo uvedeno v předchozím textu, v dnešní době je na trhu velký rozptyl technických parametrů porovnávaných svítidel. Navíc je z porovnání obou typů svítidel zřejmé, že se jedná o řadu hledisek, které je třeba při porovnání posuzovat. Z těchto důvodů sice nelze učinit jednoznačné vyhodnocení, nicméně pokud se do posouzení zahrnou i svítidla dalších firem, lze vyvodit určité obecnější závěry týkající se stávající situace na trhu:

- Světelné diody mají nižší index podání barev než halogenové žárovky, u některých typů diod je kritické podání barev v oblasti červených barevných odstínů.
- Optické záření světelných diod neobsahuje UV a IR záření.
- Na trhu jsou svítidla se světelnými diodami s barevným tónem, který odpovídá tónu halogenových žárovek (cca 3 000 K).

- V současné době maximální jednotkové toky svazku u svítidel s LED dosahují světelného toku odpovídající nejkvalitnějším svítidlům pro halogenové žárovky 50 W.
- Pro rozšíření těchto svítidel v běžné praxi je jedním z důležitých limitujících faktorů cena svítidel s LED, která je v současné době více jak dvojnásobná v porovnání se svítidly pro halogenové žárovky.

Zmíněné technické parametry i uvedené závěry odpovídají technickým parametrům současných světelných diod. Vzhledem k velmi rychlému vývoji v této oblasti je jedinou jistotou, že většina uvedených parametrů nebude příští rok již aktuální.



1



3



2



4