

# MĚŘENÍ PARAMETRŮ MODERNÍCH SVĚTELNÝCH ZDROJŮ A SVÍTIDEL

Příspěvek představuje široké spektrum světelně technických měření, která se provádějí na moderních svítidlech a světelných zdrojích. Stručně jsou zde popsány základní metody měření, měřicí přístroje a výsledky nejčastěji prováděných měření. Většina měření byla vykonána na LED trubcích, které v současnosti nahrazují klasické lineární zářivky. Na jejich příkladu jsou popsána následující měření v oblasti svítidel a světelných zdrojů:

- měření elektrických parametrů,
- měření oteplení,
- měření světelného toku,
- měření křivek svítivosti,
- měření jasů
- spektrální měření.

## Měření elektrických parametrů

Pro porovnání jednotlivých svítidel a světelných zdrojů a výpočet měrného výkonu je třeba znát jejich elektrické parametry. Tyto jsou měřeny nejčastěji wattmetrem a to při napájení odběru ze střídavého laboratorního zdroje. Díky regulovatelnému zdroji můžeme sledovat i změnu světelných parametrů v závislosti na velikosti napájecího napětí, což je důležité zejména u svítidel veřejného osvětlení (úbytky napětí na napájecím vedení).

Další možností je sledování nelinearity odběru. Celkové harmonické zkreslení (THD) je zejména projevem vyšších proudových harmonických. Zaznamenáváme-li průběh proudu po startu světelného zdroje, můžeme určit počáteční odběr, který je hlavně u výbojek výrazně oproti proudu jmenovitému.

V případě použití LED trubec ve svítidle původně konstruovaném pro zářivky často dochází k zajímavému fenoménu. Po instalaci LED trubice je možné naměřit velmi nízkou hodnotu účinnosti (viz Tab. 1), která je způsobena tím, že svítidlo je vybaveno kondenzátorem pro kompenzaci jinak nízkého účinnosti zářivek v zapojení s induktivním předřadníkem. Kompenzační kondenzátor po instalaci LED trubec s polovičním příkonem oproti předchozím zářivkám způsobí velmi výrazné překompenzování svítidla. Tento stav zapříčiní vyšší proud (a tedy i ztráty) v přírodních vodičích. Může způsobit i špatnou funkci jisticích přístrojů ve větších světelných in-

stalacích a v nejhorším případě zapříčinit vznik rezonančních jevů v síti.

Je nutné zdůraznit, že kompenzačními kondenzátory nejsou vybavena všechna svítidla a že odpojením kondenzátoru se uvedené problémy eliminují.

	P (W)	cos $\varphi$ / $\lambda$ (-)	S (VA)
zářivka 2x36W	84,6	0,92 induktivní	92,0
LED trubice 2x18W	32,5	0,23 kapacitní	141,3
LED trubice 2x18W (odpojen kondenzátor)	32,3	0,92 induktivní	35,1
LED trubice 2x18W (odpojen kondenzátor a zkratována tlumivka)	32,2	0,92 induktivní	35,0

Tab. 1 Naměřené elektrické parametry svítidla

Ačkoli se při pouhé náhradě světelného zdroje nemusí provádět změna zapojení svítidla, dojde k výrazným změnám elektrických i světelných parametrů svítidla. Díky tomuto faktu a díky tomu, že původní výrobce vydal prohlášení o shodě na svítidlo se zářivkovým zdrojem, je nutné zvážit zodpovědnost za provozování takto upraveného svítidla.

Pro svítidla s elektronickým předřadníkem se LED trubice všeobecně použít nedají, neboť výrobcům trubec se zatím nepodařilo zajistit kompatibilitu s předřadníky různých výrobců. Navíc pro lepší provozní vlastnosti svítidel s elektronickými předřadníky by záměna vůbec nemusela být rentabilní.

## Měření oteplení

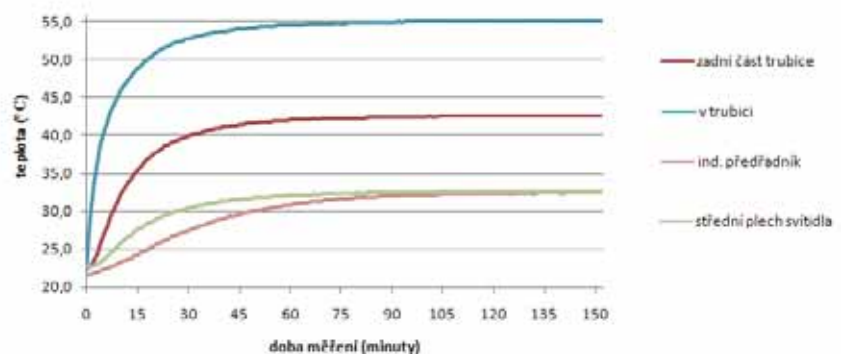
U svítidel se v s rámci vývoje a testování měří hodnoty ustálených oteplení všech důležitých komponentů včetně kon-

strukčních částí. Tato měření jsou důležitá z hlediska splnění normových požadavků i pro stanovení teplotního určení a předpokládané životnosti svítidla. K měření se nejčastěji používají termočlánky se známým zařízením, popřípadě termo-

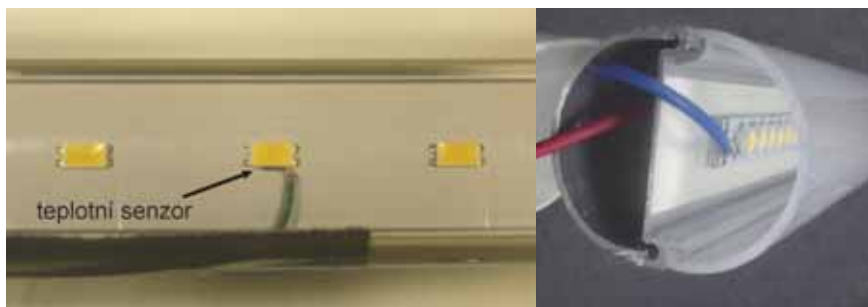
kamery. V tomto případě je nutné použití nástřiku nebo samolepek s konstantní emisivitou, protože v jednom svítidle se vyskytují komponenty z různých materiálů.

U LED světelných zdrojů většina výrobců uvádí jejich životnost v rozmezí 25 - 50 tisíc hodin, často ve velmi širokém rozsahu provozních teplot od -30 do +50°C. Cílem měření bylo ověření teplotního chování LED trubec v nejhorším možném případě, tedy v uzavřeném svítidle bez možnosti výměny vzduchu s okolím. Bylo zvoleno běžné prachotěsné svítidlo 2 x 36W, často používané v průmyslu.

Teplota LED trubec se téměř ustálila po hodině měření na hodnotě 43°C. Teplota uvnitř svítidla byla 32,6°C. Uvedené měření bylo realizováno kontaktně pomocí termočlánků typu „K“ s teplotním rozsahem -200°C - 1500°C při teplotě okolí 22°C.



Obř. 2 Oteplení prachotěsného svítidla 120 cm se dvěma LED trubecemi 18W



Obr. 3 Umístění senzoru uvnitř trubice, řez typickou LED trubicí

Senzor v LED trubici byl umístěn co nejbližší čipu, přesto naměřená teplota 55°C není teplotou PN přechodu. Neměřená teplota je nejbližší teplotě Tcase (tedy teplotě pouzdra LED čipu) a teplota PN přechodu je podle příkonu LED čipu o 5 - 10°C vyšší.

**Měření světelného toku**

Světelný tok svítidel a světelných zdrojů se měří v kulovém integrátoru – duté kouli se speciálním nátěrem, ve které je umístěno svítidlo. Naměřená osvětlenost se poté srovná s výsledkem měření kalibrovaného světelného zdroje a vypočítá se výsledek.

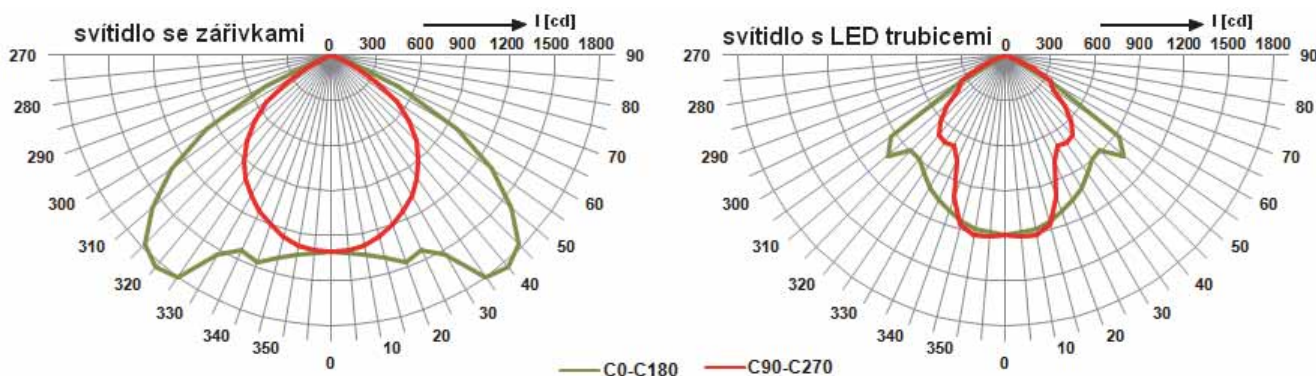
třeba nechat dostatečný čas k tepelnému ustálení a tedy i ustálení světelného toku a souvisejících parametrů. Na rozdíl od výbojek světelný tok LED trubice po připojení na napětí klesá.

**Měření křivek svítivosti**

Pro zjištění hodnoty svítivosti se používá nepřímé měření, kdy se v dostatečně velké vzdálenosti od svítidla umístí luxmetr. Z hodnoty osvětlenosti se vypočítá hodnota svítivosti z rovnice 1, kde I je svítivost (cd), E je naměřená osvětlenost a l2 je druhá mocnina vzdálenosti čidla luxmetru od středu optické části měřeného svítidla.

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

V praxi se používají automatizované goniofotometry, tedy zařízení, která měří



Obr. 5 Naměřené křivky svítivosti pro mřížkového svítidla osazeného klasickými zářivkami a LED trubicemi

Na základě uvedeného měření a zhodnocení degradačních parametrů obdobných LED lze konstatovat, že měřená LED trubice by pravděpodobně dosahovala i po 50 tisících hodinách alespoň 70% počátečního světelného toku. Otázkou zůstává životnost zdroje napájecího LED čipy uvnitř trubice. Ten je obvykle umístěn v zadní části trubice, kde jsou jeho komponenty vystaveny vysokým teplotám. Zejména u kondenzátorů pak dochází k degradaci dielektrika, která může způsobit poruchu napájecího zdroje a tím i nefunkčnost celé trubice.

S rozvojem měření automatizovanými goniofotometry se nabízí možnost světelný tok vypočítat integrací osvětlenosti přes daný prostorový úhel, ovšem pouze po přesném měření svítivosti ve všech rovinách.

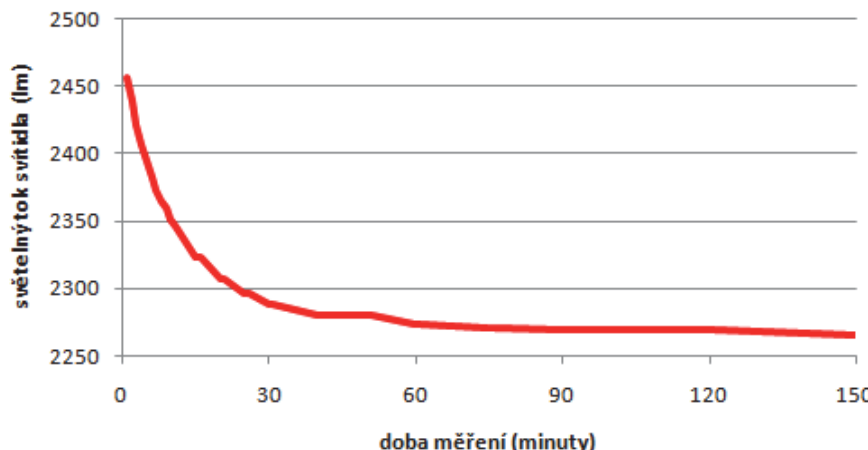
Při teplotním měření popsaném výše byl zaznamenáván také světelný tok svítidla (a tím i světelných zdrojů). Poklesl za dobu měření z počáteční hodnoty o 8%, a to z důvodu oteplení LED čipů. Z naměřených průběhů vyplývá, že při měření LED svítidel nebo světelných zdrojů je těmto

svítivost v různých úhlech a rovinách. Podle konstrukce se otáčí buď svítidlo, čidlo luxmetru nebo je zařízení vybaveno soustavou pohyblivých zrcadel.

Protože LED trubice má jinou křivku svítivosti než zářivka, lze při nahrazení očekávat změnu křivek svítivosti svítidla a účinnosti svítidla. Pro toto měření jsme použili běžné přisazené mřížkové svítidlo 2 x 36 W s lesklou mřížkou, nejčastěji používané ve školních třídách, chodbách nebo starších kancelářích.

Z Obr. 5 lze vidět, že došlo k výrazným změnám křivek svítivosti. Křivky jsou záměrně uvedeny přímo v kandelách, aby byl patrný pokles svítivosti a to i normované, pro čitelnost jsou na obrázku pouze křivky C0-C180 a C90-C270. Záměnou došlo k výraznému „zúžení“ těchto křivek, hlavně v rovině C0 - 180. Pokud by byly zářivky v již existující osvětlovací soustavě v těchto svítidlech zaměněny za LED trubice, klesla by nejen udržovaná osvětlenost, ale i rovnoměrnost.

Z Tab. 3 (na následující straně) je patrné, že účinnost svítidla se při použité LED trubic zvýší o 14%, ale protože tok LED trubic je oproti zářivkám přibližně poloviční, hodnoty svítivosti svítidla se nezvýší, ale na-



Obr. 4 Pokles světelného toku svítidla

	světelný tok svítidla [lm]	příkon [W]	účinnost svítidla [-]	měrný výkon svítidla [lm/W]
mřížkové svítidlo se zářivkami	3691	84,6	0,61	43,6
mřížkové svítidlo s LED trubnicemi	2332	32,5	0,75	71,8

Tab. 3 Naměřené světelně-technické parametry svítidla se zářivkami a LED trubnicemi

	světelný tok [lm]	maximální jas [kcd/m <sup>2</sup> ]	průměrný jas [kcd/m <sup>2</sup> ]
zářivka 36W/840	3010	16	13
LED trubice čirá	1562	4 400	n/a
LED trubice matná	1453	200	15

Tab. 4 Naměřené hodnoty světelného toku a jasů

opak poklesnou. Díky tomu, že se křivky svítivosti při použití LED trubnic markantně změní, nelze provádět prostou záměnu světelných zdrojů.

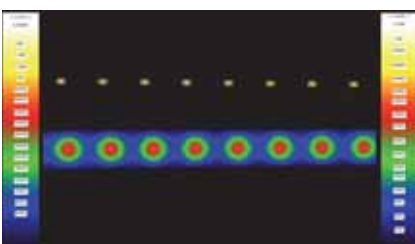
### Měření jasů

Měření jasů se nově provádí jasovými analyzátory na bázi digitálních fotoaparátů. Jejich spektrální citlivost je přizpůsobena křivce citlivosti lidského oka  $v(\lambda)$  a mají kalibrovanou optiku. Jejich výstupem je jasová mapa obsahující hodnoty milionů jednotlivých bodů, která se dá v počítači později vyhodnocovat.

Použití LED trubic v zářivkovém svítidle s sebou přináší nejen změny křivek svítivosti, ale i jasů. Protože se světelný tok sníží zhruba na polovinu a světelně činná plocha světelného zdroje je také poloviční, dalo by se čekat, že jas zůstane stejný. Stane se tak u průměrného jasu, ale maximální jas výrazně vzroste. Maximální jas jsou v případě čirých LED trubic až 275 krát větší než v případě zářivek. Měřena byla také LED trubice s matným krytem, výsledek měření je daleko příznivější.

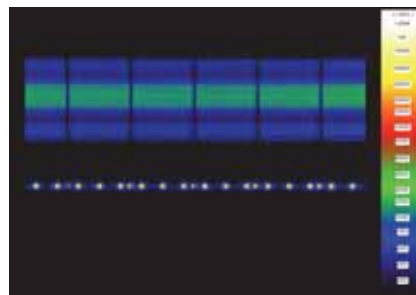
Hodnotu průměrného jasu čiré LED trubice nebylo možné určit, z důvodu nedostačitého dynamického rozsahu jasového analyzátoru. LED čip má tak vysoký jas, že na jasovém snímku nelze rozeznat obrys trubice ani při použití logaritmického měřítka.

Pro použití v otevřených svítidlech lze doporučit pouze použití matných LED trubic a svítidla pokud možno s matnou mřížkou. Problémem se stává veliký kontrast jasů



Obr. 6 Jas čiré (měřítka vlevo) a matné LED trubice

LED čipů v trubici nebo jejich zrcadlových odrazů proti okolí (viz Obr. 7). Tento kontrast může v kritických směrech pohledů zapříčinit výrazné oslnění. Transparentní LED trubice lze doporučit pouze tam, kde k oslnění nemůže docházet.

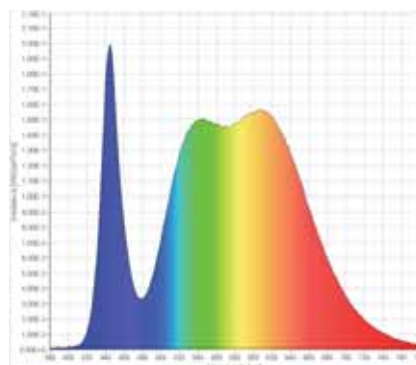


Obr. 7 Kontrasty jasů ve svítidle u zářivky a čiré LED trubice

Na obr. 7 lze rozdíly jasů ve svítidle vidět názorně. Zářivka a LED trubice jsou umístěny ve svítidle vedle sebe. Zatímco jas zářivky a okolí je v poměru 10:1, u LED zářivky je kontrast v milionech ku jedné, protože LED zářivka využívá optický systém svítidla jen minimálně a tedy pozadí svítidla zůstává tmavé.

### Spektrální měření

Měření spektra vyzařovaného světla se provádí spektrofotometry. Uvnitř přístroje je optický prvek (nejčastěji hranol), který rozkládá měřené světlo (díky různému lomu různých vlnových délek), které dále dopadá na snímací čip. Ten předává informaci převodníku a dále ke zpracování do PC.



Obr. 8 Příklad spektra vyzařování LED trubice

Měřená LED trubice má spojitě spektrum se špičkami typickými pro LED zdroj. Modrá špička je primární vyzařování modré diody a špička s vrcholem ve žluté části spektra je sekundární záření vzniklé přeměnou modrého světla na luminoforu LED. Díky tomu je docíleno náhradní teploty chromatičnosti 4 150 K a indexu podání barev 84. Měřený světelný zdroj je, z hlediska spektrálních vlastností, vhodný do pracovních prostorů a to včetně prostorů s trvalým pobytem osob.

### Závěr

Z hlediska prováděných měření je světelná technika oborem, kde jsou kvalitně prováděná měření a spolehlivá měřicí zařízení nutností. Článek se zabývá pouze ukázkami základních měření. Existují ale i další typy měření, například měření v klimatické komoře, měření flickru (krátkodobých změn světelného toku), měření svítivosti pomocí jasových map apod. Některé z metod měření i používaných zařízení se stále vyvíjejí, stejně tak jako moderní světelné zdroje (LED, OLED...).

Jak je patrné z textu celého článku, tak provést záměnu zářivek za LED trubice ve stávajících osvětlovacích soustavách nelze doporučit bez důkladného zvážení následků, jako jsou pokles udržované osvětlenosti i rovnoměrnosti. Pro zamezení rušivého oslnění autoři jednoznačně doporučují použití matných LED trubic. Transparentní LED trubice lze použít pouze tam, kde je oslnění zabráněno účinným cloněním nebo polohou.

### Poděkování:

Tento článek byl vypracován za podpory projektu "Výzkum využití LED a OLED světelných zdrojů ve speciálních aplikacích". SP2013/88.

### Literatura:

- [1] CARBOL, Zbyněk a Tomáš NOVÁK. Náhrady lineárních zářivek trubnicemi osazenými LED moduly. In: Electric Power Engineering 2011. Ostrava: VŠB-TU Ostrava, 2011, s.512-515. DOI: ISBN 978-80-248-2393-5
- [2] CARBOL, Zbyněk a Tomáš NOVÁK. Náhrady lineárních zářivek trubnicovými zdroji. Světlo. FCC Public s.r.o., 2011, 2011(6), 48-51. DOI: ISSN 1212-0812.
- [3] SOKANSKÝ, Karel, Tomáš NOVÁK, Marek BÁLSKÝ, Zdeněk BLÁHA, Zbyněk CARBOL, Daniel DIVIŠ, Blahoslav SOCHA, Jaroslav ŠNOBL, Jan ŠUMPICH a Petr ZÁVADA. Světelná technika. Vyd. 1. Praha: České vysoké učení technické v Praze, 2011, 255 s. ISBN 978-80-01-04941-9.

Zbyněk CARBOL a Tomáš Novák,  
VŠB-TU Ostrava