

Zdroje LED v osvětlovací technice

Diody LED využívané v elektrické instalaci a v elektrických zařízeních

doc. Ing. Petr Baxant, Ph.D.,

Vysoké učení technické v Brně, FEKT, Ústav elektroenergetiky

Úvod

Tradiční počátky světelné techniky se datují od roku 1879, kdy T. A. Edison představil světu světelný zdroj, který nejenže fungoval déle než jakékoliv do té doby používané předchozí varianty, ale zejména měl zajiště-

videl. Na otázku, který zdroj je dnes nejlepší, nebylo a nebude možné nikdy jednoznačně odpovědět, neboť existuje celá řada kritérií, které výběr ovlivňují. Jedno z hlavních je však stavěno do popředí zájmu – je jím energetická náročnost nebo energetická efektivnost zdroje. Vlastně zejména díky tomuto pa-

známé doklady o světelné diodě v pevné fázi však sahají až do roku 1907 (H. J. Round). Nicméně zdroje pro osvětlování na této bázi použitelné v praxi se začaly mohutně rozvíjet vlastně až na začátku tohoto století. Až dnešní zdroje mohou konkurovat dosud známým a hojně používaným vysoce účinným zdrojům na bázi výboje v parách kovů (rtuť, sodík, halogenidy kovů).

Jak vlastně LED funguje? Vezměme zjednodušený popis, který bude v tomto okamžiku dostačující pro další popis: představme si polovodičový přechod jako určitou energetickou bariéru, kterou překonávají nosiče náboje (nábojové páry elektron-díra). Působením vnějšího pole (elektrického napětí) se tyto náboje dostávají přes bariéru a při vzájemné rekombinaci vracejí získanou energii z dodaného zdroje zpět ve formě záření. Zjednodušeně je tedy možné říci, že vnějším zdrojem se budí elektrony, aby se dostaly do vyšších energetických stavů, a z těch se pak samovolně vracejí zpět do stabilních stavů, čímž uvolněnou energii vyzařují. Jelikož platí vztah mezi energií a frekvencí, resp. vlnovou délkou světla, velikost energetické bariéry udávané v elektronvoltech přímo určuje vlnovou délku světla, což je v podstatě adekvátní energie záření. Vhodným chemickým procesem lze vytvořit takové polovodiče, jejichž energie přechodu (bariéry) odpovídá zářivé energii ve viditelné oblasti. Dnes se vyrábějí i diody, jejichž záření bude v oblasti infračerveného nebo ultrafialového záření (tab. 1).

Díky tomu, že polovodič je poměrně homogenní a čistá struktura, je velikost energie téměř přesně určena chemickým složením jednotlivých částí, a záření tudíž probíhá ve velmi malém rozsahu vlnových délek, v praxi je lze považovat za monochromatické.

$$\lambda = \frac{h \cdot c}{E_g} \quad (1)$$

kde

h je Planckova konstanta
($6,6260755 \cdot 10^{-34}$ J·s),

c rychlost světla ve vakuu
($2,99792458 \cdot 10^8$ m·s⁻¹),

E_g energie zakázaného pásu (J).



nou další technologickou podporu. Edison věděl, že bez patřičného zázemí nebude možné tuto převratnou technologii v dostatečné míře rozšířit. Patentoval systém pro distribuci elektrické energie a v roce 1882 spustil do provozu první městskou elektrárnu v New York City. Padesát devět prvních uživatelů elektrické sítě si tehdy mohlo užít umělého osvětlení, které člověka od té doby provází dodnes; a obdobně tomu bude i v budoucnu, i když na jiné technologické platformě.

Není smyslem příspěvku popisovat zde celý historický vývoj světelných zdrojů, ač jde o velmi zajímavou kapitolu světelné techniky a lze se z ní velmi poučit. Současné technologie z tohoto vývoje čerpají maximum poznatků, aby člověku poskytovaly ekonomicky přijatelná a do budoucna udržitelná řešení, které při nynější činnosti nutně potřebuje. Umělé světlo znamenalo významný pokrok v technice a nejen to, současná moderní civilizace je na něm prakticky závislá. Světelné zdroje patří téměř k nejrozšířenějším spotřebičům elektrické energie a lze je nalézt v každé elektrické instalaci. Je tedy velmi žádoucí, aby tento typ spotřebičů byl brán s velkou vážností a vhodný světelný zdroj byl vybrán zodpovědně a podle všech používaných pra-

rametru byla přijata směrnice EU 2005/32/EC, která stanovuje požadavky na nesměrové zdroje světla, a to ve smyslu minimálního měrného výkonu. Výsledkem použití směrnice je skutečnost, že postupně budou z trhu mizet energeticky neefektivní zdroje, přestože jiné jejich vlastnosti mohou převyšovat ty efektivní. V současné době se to týká pouze obyčejných žárovek, které již nevyhovují těmto stanoveným účinnostním limitům.

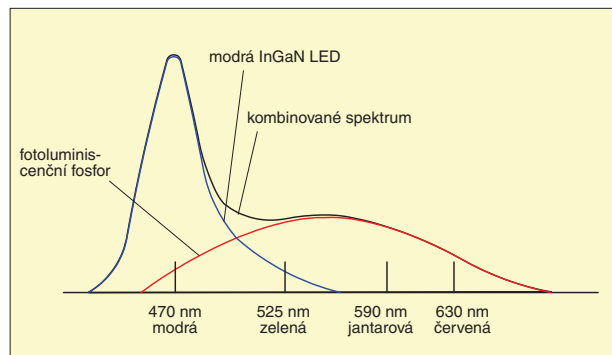
Technologie LED

Light Emitted Diode – světlo emitující dioda, to je doslovný překlad označení zdroje LED, jehož historie sahá až asi do roku 1962, kdy Nick Holonyak Jr. [1] předvedl první v praxi použitelnou diodu vyzařující viditelné světlo (červené). To bylo pět let před objevením halogenidové výbojky! První

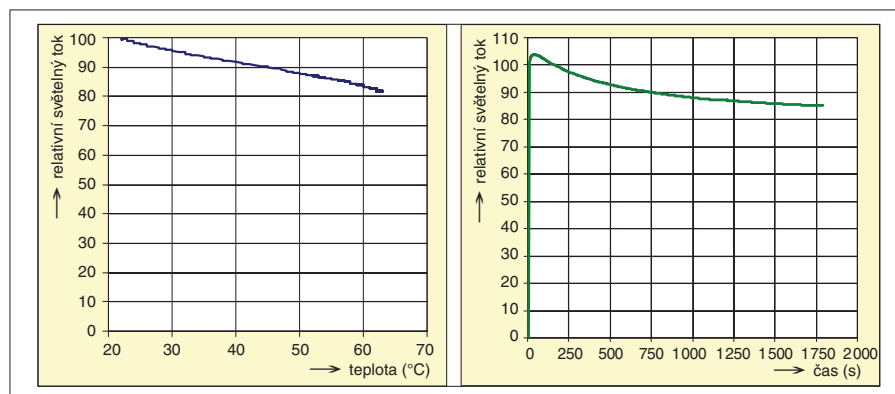
Tab. 1. Typické vlastnosti základních polovodičů

	AlInGaP	InGaN
Šířka zakázaného pásu (eV)	1,8 až 2,31	3,4 (modrá)
Vlnová délka maxima (nm)	585 (jantarová)	460 (modrá) 520 (zelená)
Měrný výkon (lm·W ⁻¹)	20 až 25 (jantarová)	6 (modrá) 30 (zelená)

Takové světlo je pro osvětlovací účely neupoznatelné, neboť by nebylo možné rozlišovat jiné barvy, člověk by viděl jen světlo generované LED. Pro rozšíření spektra lze použít dva přístupy. V současné době nejrozšířenější je princip transformace monochromatické-



Obr. 1. Kompozice spektra bílé LED



Obr. 2. Pokles světelného toku LED svítidla v závislosti na povrchové teplotě svítidla a časová závislost náběhu světelného toku zohledňující tepelné ustálení svítidla [3]

ho světla do širokopásmového záření pomocí luminiscence pevných látek na bázi fosforu a různých sloučenin, které emitují světlo po přijmutí krátkovlnného záření, většinou modré barvy (obr. 1).

Druhý princip spočívá v použití více monochromatických světél, obvykle v kombinaci červená, zelená a modrá, která vymezí určitý barevný prostor, kde je možné míšením těchto světél a kolority povrchů, které osvětlují, vytvořit dojem bílého světla a dobrého rozlišení barev. Jelikož lidský zrak používá rovněž tři senzory (čípky L, M, S), je tato náhrada víceméně dostačující, přestože nelze postihnout v podstatě spojité spektrum přirozených přírodních zdrojů světla, kterými jsou Slunce, vytvářející přímé sluneční světlo, a oblohou rozptýlené světlo.

Je vhodné zmínit alespoň základní čísla, která se týkají záření a vlastností LED. Viditelné světlo je záření, jehož vlnové délky jsou v rozsahu přibližně 380 až 780 nm. Nejcitlivější je oko při denním vidění (fotopické, barevné vidění) na vlnovou délku 555 nm. Frekvence takového záření odpovídá hodnotě 540 THz. Sluneční světlo je záření původem teplotní, tedy stejný princip jako u žárovky, ale na vyš-

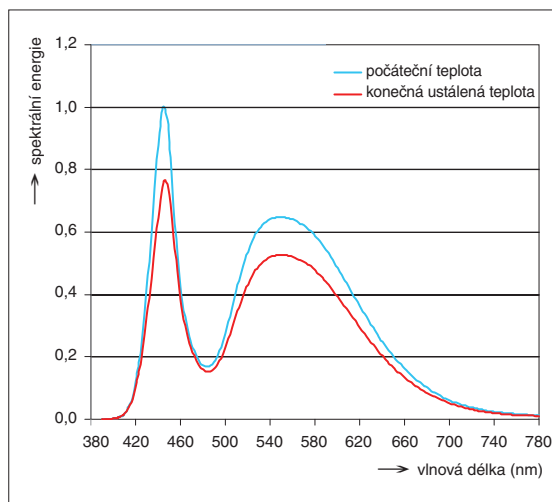
ší teplotě. Spektrum teplotního zdroje záření popisuje Planckův zákon a v podstatě určuje energii záření absolutně černého tělesa na každé vlnové délce při dané absolutní teplotě tělesa. Jako standard se ve světelné technice používá právě světlo teplotního zdroje, plynem plněné žárovky s dvojitě vinutou wolframovou spirálou s teplotou vlákna 2 856 K, referenční zdroj světla A. Tento zdroj vyzařuje maximum své energie na vlnové délce 1 000 nm, tedy až v oblasti infračerveného záření. V oblasti viditelné je tedy jen malá část energie, a to především v červené oblasti. Oko zde však má již menší citlivost, která směrem k delším vlnovým délkám rychle klesá, a výsledkem je pro-

to velmi malá účinnost takového zdroje; oko toto záření vnímá méně, než je považováno za energeticky efektivní. Ekvivalentem účinnosti ve světelné technice je měrný výkon, což je poměr viditelného světelného toku k elektrickému příkonu. U klasických žárovek je tento měrný výkon mezi 10 až 15 $\text{lm}\cdot\text{W}^{-1}$, což v kontrastu např. s neefektivnějšími zářivkami s účinností až 108 $\text{lm}\cdot\text{W}^{-1}$ je opravdu málo.

Slunce je v podstatě také rozžhavené těleso, jenže na mnohem vyšší teplotu. Záření Slunce odpovídá ekvivalentu černého tělesa s teplotou 5 250 K a spektrální účinnost tohoto záření je asi 93 $\text{lm}\cdot\text{W}^{-1}$ (přímé sluneční světlo po průchodu atmosférou) [2]. Není náhoda, že zrak i organismus člověka se přizpůsobil nejen spektru tohoto zdroje, ale i jeho dynamice a denním a ročním změnám, které jsou naprosto zásadní. Neexistuje zatím žádný umělý zdroj, který by dokázal toto chování věrně simulovat.

Vraťme se zpět ke světelným diodám. V současné době je nejčastěji používána technologie postavená na záření v oblasti modré barvy s transformací do širokopásmové oblasti vytvářející bílé světlo. Mezi nejrozšířenější typy polovodičů patří aluminium indium galium fosforid (AlInGaP) a indium galium nitrid (InGaN) nahrazující dříve používané polovodiče galium arzenid fosforid (GaAsP), galium fosforid (GaP) a aluminium galium arzenid (AlGaAs). K transformaci se používá např. luminofor na bázi Ce^{3+} :YAG (cerem dopovaný syntetický yttrito-hlinitý granát).

Polovodičové struktury představují pro protékající proud určitý odpor. Na přechodu se tedy uvolňuje kromě generovaného světla také ztrátové teplo. To je příčinou ohřívání přechodu, a jelikož polovodiče obecně snášejí teploty do asi 120 °C, je nutné je intenzivně chladit. U světelných diod je teplota přechodu v podstatě klíčová vlastnost, ovlivňuje nejen životnost zdroje, ale také jeho měrný výkon. V laboratorních podmínkách byly např. změněny závislosti světelného toku v závislosti na teplotě uvedené v grafu na obr. 2. Změna spektra s teplotou je patrná z obr. 3. Výpočtem je možné zjistit, že teoretická spektrální účinnost spektra v ustáleném stavu, tedy při provozní teplotě, je přibližně 330 $\text{lm}\cdot\text{W}^{-1}$ [5]. Tato hodnota vypadá relativně velká, porovná-li se např. s výsledky laboratorního měření LED při teplotě 25 °C. Například dioda Cree XRE Q4 napájená proudem 650 mA generuje tok 150 lm, tj. její měrný výkon je 63 $\text{lm}\cdot\text{W}^{-1}$, což je pouze pětina již uvedeného teoretického maxima ve spektru. To znamená, že pouze asi 20 % vstupní energie je konvertováno na světlo a zbytek, tj. asi 80 %, se mění na tepelné ztráty. Tyto je nutné odvést chlazením. To je realita i nyníšších zdrojů i přesto, že se jejich účinnost průběžně zvyšuje; tohoto je ale dosahováno i změnou spektra. V prvním čtvrtletí roku 2010 bylo oznámeno, že se podařilo laboratorně prolomit hranici 200 $\text{lm}\cdot\text{W}^{-1}$. Firma Cree Inc. dosáh-



Obr. 3. Spektrum LED v počáteční (After start) a konečné (Steady state) ustálené teplotě [3]

se mění na tepelné ztráty. Tyto je nutné odvést chlazením. To je realita i nyníšších zdrojů i přesto, že se jejich účinnost průběžně zvyšuje; tohoto je ale dosahováno i změnou spektra. V prvním čtvrtletí roku 2010 bylo oznámeno, že se podařilo laboratorně prolomit hranici 200 $\text{lm}\cdot\text{W}^{-1}$. Firma Cree Inc. dosáh-

la účinnosti dokonce $208 \text{ lm}\cdot\text{W}^{-1}$ při barevné teplotě $4\,579 \text{ K}$ [6]. Opět je třeba zdůraznit, že této hodnoty bylo docíleno při pokojové teplotě čipu, tj. vlastně v počáteční fázi startu zdroje, kdy není ohřátý. Nicméně pokrok ve vývoji je patrný a tyto diody budou možná do dvou let na trhu běžně dostupné.

Použití v praxi a aspekty použití LED zdrojů

Dioda LED má mnohé výhody oproti jiným konvenčním zdrojům. Především její miniaturní rozměry umožňují vyrábět svítidla kompaktních rozměrů, čímž lze ušetřit značné množství materiálu. Naproti tomu pro výkonnější aplikace je nutné počítat s chladicí plochou, takže reálné rozměry vycházejí obdobně jako u konvenčních svítidel. Problém chlazení je dominantní a tomu jsou podřízeny i konstrukční prvky svítidel. Téměř každý výkonný zdroj na bázi LED bude osazen mohutným chladicím systémem, většinou hliníkovým odlitkem s četným žebrovaním. Odvod tepla z chladiče je velmi důležitý, takže montáž svítidel již není tak triviální záležitost. Problém bude způsobovat zejména stropní montáž a montáž do podhledů. Je třeba počítat s tím, že při zhoršení proudění vzduchu okolo svítidla se zhorší i účinnost zdroje a poklesne osvětlení od takového zdroje. Navíc je nutné počítat i se zkrácením životnosti.

Avšak nutnost použít větší chladicí plochu je svým způsobem určitou zpětnou vazbou výroby svítidel, která by jinak konvergovala k miniaturizaci a maximálním úsporám materiálu. To by mělo za následek příliš velké jasy zdrojů, které jsou i nyní v podstatě jednou z klíčových nevýhod LED. Samotný čip má rozměry obvykle asi 1 mm^2 a z něj je vyzářován výkon běžně 100 lm . Tomu odpovídá ekvivalentní jas přesahující $30 \text{ miliónů cd}\cdot\text{m}^{-2}$. To je mnohonásobně více, než je oko schopno zpracovat. Uvážil-li se, že jas povrchu zářivky bývá řádově $10\,000 \text{ cd}\cdot\text{m}^{-2}$, jde o jasy větší o čtyři až pět řádů, což je opravdu hodně a vlastně neexistuje metodika, kterou by bylo možné posoudit možná hygienická a zdravotní rizika. Současná metoda UGR (*Unified Glare Rating*) používaná k hodnocení oslnění je pro uvedené zdroje nepoužitelná, a bude proto v budoucnu nutné s rostoucím objemem nových zdrojů LED metodu rozšířit. Několik výrobců si zmíněné nevýhody uvědomilo hned v počátku a nabízejí svítidla s difuzními povrchy, velkoplošná svítidla na bázi LED a vhodné rozptylovací optiky pro tyto zdroje. Pro použití v praxi lze právě takovéto trendy podpořit i za cenu nižší účinnosti a menšího dosaženého osvětlení.

Opačným trendem je fokusek svazku do úzkého prostorového úhlu, vysoké hladiny osvětlení na malé ploše. Takováto svítidla jsou vhodná pro určité účely, např. k nasvětlení exponátů, zvýraznění určitých ploch, vymezení prostoru apod., ale nejsou vhodná pro celkové a všeobecné osvětlování. V sortimentu firem

jsou nepřeborné kombinace tvarů a optických charakteristik svítidel a je zřejmé, že LED dávají designérům do rukou opravdu mocnou zbraň. Od svítidel pro všeobecné osvětlování až užití vnitřních nebo venkovních prostorů, přes různé dekorativní osvětlení až po speciální architektonické a efektní osvětlení současné systémy LED bez problémů pokrývají.

Z hlediska použití v praxi je třeba zmínit ještě jeden závažný rozdíl oproti tradičním svítidlům. Dosavadní zdroje světla byly standardizovány za účelem vzájemné kompatibility u jednotlivých výrobců a ustálily se určité výkonové a typové řady. Například žárovky s klasickým závitem E27 bylo možné používat v různorodých provedeních a výkonech a v jednom svítidle bylo možné zdroj snadno nahradit jiným, a to i nekvalifikovanou obsluhou. Složitější je to s výbojkami, které potřebují určité předřadné a startovací prvky. Nicméně i zde po dožití jednoho zdroje nebyl problém zdroj vyměnit a nahradit třeba i lepším, který se generačně objevil na trhu ve stejné výkonové řadě.

U světelných diod je tomu zcela jinak. Svítidla jsou konstruována s již vestavěnými zdroji. Napájecí obvody jsou obvykle součástí svítidla a navrženy na konkrétní topologii sítě LED. Svítidlo a zdroj i s předřadnými prvky se tak stávají jedinou komponentou. Při poruše zdroje je svépomocí nemožné takto porušené svítidlo opravit. Výrobci a prodejci argumentují dlouhou dobou života až 50 tisíc hodin. To jsou však idealizované a nezaručené hodnoty, kterých pravděpodobně v praxi nebude nikdy dosaženo. Není ani možné je experimentálně ověřit, neboť by takovýto postup představoval nepřetržitý několikaleťový provoz; za tu dobu většinou z trhu zmizí i náhradní díly na daný typ svítidla. V praxi je tedy nutné počítat s tím, že pokud budou světelné zdroje dožít, bude nutné s velkou pravděpodobností vyměňovat celá svítidla, což bude řádově dražší než jen výměna samotného zdroje. Někteří výrobci nabízejí různá hybridní řešení, zdroje LED osaditelné do běžných svítidel, např. tzv. žárovky LED, zdroj ve tvaru klasické žárovky. Zde je ale třeba mít na paměti, že takto vyrobený a účelově upravený zdroj není ideální kombinací ve svítidle, které bylo konstruováno pro zdroj jiný. Dalšími řešeními jsou moduly LED, které výrobci nabízejí jako náhradní díly nebo nabízejí odběr a regeneraci dožitých svítidel LED. V každém případě jakákoliv taková manipulace je složitější, časově i finančně náročnější než u dosavadních zdrojů.

Posledním bodem, který bude v tomto příspěvku ještě zmíněn, je otázka napájení LED. Samotné LED jsou zdroje, které pro svůj provoz potřebují stejnosměrný proud o velikosti řádově stovek miliampérů. Napětí na jedné LED se pohybuje do $3,5 \text{ V}$. Z toho vyplývá, že zdroj není možné přímo připojit na síťové napětí, ale je nutné použít předřadný prvek, proudový zdroj. Diody se řetězí do sériových a paralelních větví, a vytvářejí tak di-



Doc. Ing. Petr Baxant, Ph.D.,

vystudoval Fakultu elektrotechniky a informačních technologií VUT v Brně, obor elektronika a sdělovací technika.

Doktorské studium absolvoval v oboru elektroenergetika a silnoproudá elektrotechnika se specializací světelná technika. Disertační práci na téma analýza jasových poměrů s využitím digitální fotografie obhájil v roce 2000. Téhož roku nastoupil jako odborný asistent do Ústavu elektroenergetiky FEKT VUT v Brně a od roku 2009 zde působí jako docent a vědeckovýzkumný pracovník. Dlouhodobě se věnuje světelné technice a digitální fotografii z hlediska měřicí techniky pro fotometrii. Je členem redakční rady vydavatelství VUTIAM za obor energetika a působí jako senior researcher v Centru pro výzkum a využití obnovitelných zdrojů energie CVVOZE při VUT v Brně.

odové sítě. V sériové větvi výpadek jednoho zdroje vyřadí všechny LED v dané větvi. To zhoršuje celkovou spolehlivost zdroje. Nicméně nemusí být příčinou výpadku celého bloku, který pracuje ve více paralelních větvích, takže obvykle pouze skokově poklesne výkon. Udávané měrné výkony LED jsou bez předřadných zdrojů, takže celková bilance LED po započtení ztrát ve zdroji, zejména menších výkonů, bude znatelně horší než u samotné LED. Avšak miniaturizace a pokrok ve vývoji spínaných zdrojů do budoucna nejspíš tento problém potlačí na minimum. V každém případě zůstává napájecí zdroj jako potenciální původce poruch, ale hlavně jako zdroj možného rušení v důsledku neharmonického odběru. Před instalací svítidel LED ve větším množství je tedy nutné ověřit např. na určitém vzorku svítidla, jaký je proudový odběr a jeho harmonické spektrum, aby později nebylo nutné řešit právě problémy s rušením v síti. Zejména u levnějších řešení lze očekávat nedostatečné odrušení a korekci nelinearity vlastního zdroje. Napájecí zdroje mohou být také citlivé na různá rušení vyššími harmonickými složkami, která se budou vyskytovat v napětí sítě. I s tímto rizikem je nutné počítat a před plánovaným nákupem ověřit vzájemnou kompatibilitu.

Závěr

Příspěvek měl v krátkosti seznámit s hlavními aspekty současných zdrojů LED a jejich použitím ve světelné technice. V současné době lze směle říci, že LED si své místo ve světelné technice již vydobily a rozhodně se s nimi budeme setkávat i v budoucnu. Nejde tedy jen o módní vlnu, ale o plně

konkurenceschopný zdroj, který se bude dále rozvíjet a zdokonalovat. Není to tak dávno, kdy právě v tomto smyslu vládla mezi „světlaři“ značná skepse a jen málokdo věřil, že se tak stane. Pokrok v technologiích byl ale v posledním desetiletí opravdu obrovský. V současné době je však cena komponent stále vysoká a jak samotné zdroje, tak zejména svítidla zatím převyšují cenově reálnou užitnou hodnotu. Návržnost investice je tedy nejednoznačná a sliby velké efektivity a dlouhé životnosti nemusí být obecně naplněny. Nelze tedy udělat jednoznačný závěr a předložit doporučení. Je vždy třeba zvážit tradiční alternativy a posoudit reálnost každého projektu nejen na základě obchodních nabídek a slibů prodejců. U tradičních svítidel lze snadno měnit téměř libovolné komponenty (zdroje, předřadníky, zapalovače). U systémů LED tomu tak není a porucha jedné komponenty může vyřadit kompletně celé svítidlo a jestliže daný dodavatel nezajistí servis, svépomoc nebo alternativa zde vlastně neexistují.

Poděkování:

Tento příspěvek obsahuje výsledky výzkumu financovaného Ministerstvem školství, mládeže a tělovýchovy České republiky v rámci projektu č. MSM0021630516. Výzkum v oblasti úsporných zdrojů světla je realizován v Centru pro výzkum a využití obnovitelných zdrojů energie (CVVO-ZE) financovaném z Evropského regionálního fondu pod projektem č. CZ.1.05/2.1.00/01.0014.

Literatura:

- [1] Wikipedia contributors. Nick Holonyak [internet]. Wikipedia, The Free Encyclopedia; 2010 Mar 21, 22:14 UTC [cit. 2010-06-22]. Dostupný z: http://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Nick_Holonyak&oldid=351241670.
- [2] Wikipedia contributors. Sunlight [internet]. Wikipedia, The Free Encyclopedia; 2010 Jul 21, 23:42 UTC [cit. 2010-06-22]. Dostupný z: <http://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Sunlight&oldid=374763053>.

- [3] BAXANT, P. – Bátora, B.: *Temperature influence on LED luminous flux*. In: Proceedings of the 9th International Scientific Conference Electric Power Engineering 2008. Brno, Czech republic, Brno University of Technology, Department of Electrical Power Engineering, 2008, s. 409–412, ISBN: 978-80-214-3650-3.
- [4] BAXANT, P.: *Limits of Transformation Effectiveness of Electrical Energy to Light in Incandescent Sources*. Energyspectrum, 2007, Volume 2, Issue 3, pp. 85–85, ISSN 1214-7044.
- [5] BAXANT, P.: *Theoretical Spectrum Luminous Efficacy of White Power LED*. In: Proceedings Electric Power Engineering 2009, 2009, s. 1–3, ISBN: 978-80-248-1947-1.
- [6] Cree Press Room: *Cree Breaks 200 Lumen Per Watt Efficacy Barrier, R&D Result in High-Power LED Sets Record for Solid-State Lighting Industry* [internet], [cit. 2010-07-15]. Dostupný z: http://www.cree.com/press/press_detail.asp?i=1265232091259.

Ilustrační foto:

Jan Škoda – Turecko, Istanbul, Luxeuropa 2009

The rapid onset of LEDs in lighting technology brings a number of questions for general public and experts. What are the advantages and disadvantages that this technology brings to lighting? What are the limits and what can be expected in the near future? Are the LEDs adequate substitutes for traditional light sources? The paper describes a brief historical background, physical principles and possibilities of LEDs, the basic operating characteristics and some practical experience with their use in lighting technology for a general lighting. Among other things, the reader finds here the partial results of laboratory measurements of influence of temperature on the luminous flux, which is one of the most critical parameters of the LEDs.



SVODIČE PŘEPĚTÍ

Vysoce spolehlivá technologie VG

Záruka 10 let



CITEL Electronics, Kundratka 17, 180 00 Praha 8, tel.: +420 284 840 395, e-mail: citel@citel.cz, www.citel.cz