

LED – světlo budoucnosti

Ing. Rita Pužmanová, CSc., MBA

Světelné diody (LED a OLED) opouštějí okrajové části trhu s indikátory a dostávají zelenou jako světelné zdroje budoucnosti. Umělé osvětlení ročně spolkně pětinu celosvětové spotřeby energie, v Evropě dokonce celou čtvrtinu. Světelné diody jsou v osvětlování alternativou, která tuto nepříznivou situaci může v budoucnu výrazně změnit, a tak přispět i ke zmírnění zátěže životního prostředí.*)

Moderní světelné diody LED a OLED dokážou až zdvojnásobit měrný výkon průměrných světelných zdrojů. A zdaleka nejde jen o osvětlení v bytech či podnicích; jen v Evropě se dnes používá na 50 milionů zastaralých uličních svítidel, jejichž provoz stojí pět miliard eur. Jejich výměnou za moderní by se ihned ušetřilo 1,7 miliardy eur a nižší spotřeba energie by rovněž vedla k omezení emisí uhlíkových plynů do ovzduší o 3,8 milionu tun.

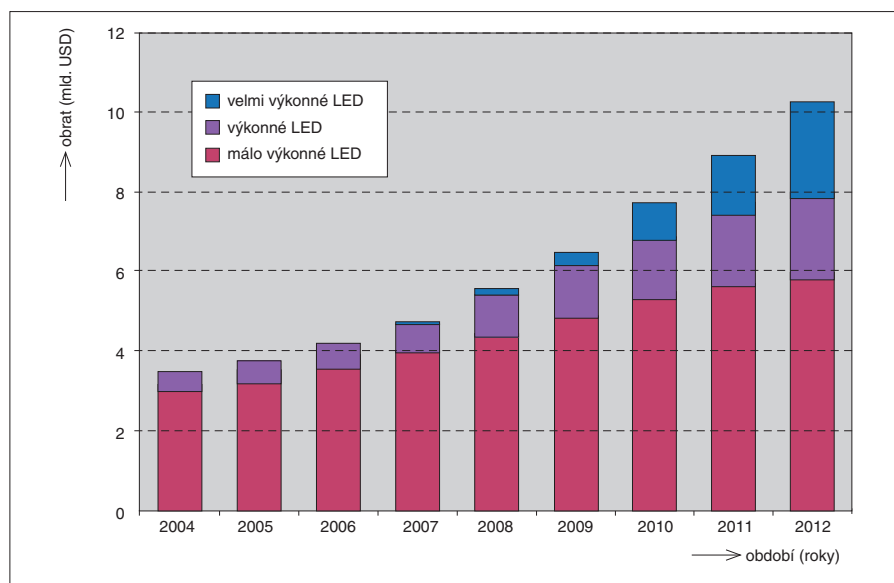
Příchod bílých LED na trh před dvanácti lety znamenal velký zlom, protože se otevřela cesta k osvětlení na zcela nové, polovodičové bázi (SSL, *Solid-State Lighting*). Leccos sice již naznačovaly možnosti využití jejich barevných předchůdců, o téměř tři desetiletí starších. Ale pro jejich malou účinnost a nevhodnou barvu jejich světla nebylo možné tyto LED pro osvětlení použít.

Od LED k OLED

LED (*Light Emitting Diode*) je elektronický polovodičový prvek, který při průchodu elektrického proudu vyzařuje světlo, infračervené nebo ultrafialové záření. Zkoumají se důvody známého jevu (*droop*), že se zvětšováním proudu světelný tok LED přestává růst a účinnost se zmenšuje (pro jeho různá vysvětlení a možná řešení viz článek *The LEDs dark secret*, IEEE Spectrum 8/2009). Světlo vyzařované LED je monochromatické, s barvou danou dominující vlnovou délkou, kterou zase ovlivňuje chemický materiál použitý na výrobu polovodičového krystalu. Většina komerčních LED pro vlnové délky 390 až 550 nm (zelené, modré a v kombinaci i bílé diody) využívá InGaN, zatímco pro větší délky, do 670 nm (červené, oranžové a žluté barvy), se volí AlInGaP nebo GaAsP (pro červenou barvu ještě AlGaAs).

OLED (*Organic LED*) jsou modernější prvky, které jsou tvořeny ultratenkými vrstvami organické hmoty na bázi skla nebo plastu (polymery), sendvičově uzavřené mezi dvěma vodiči. Ultratenké organické vrstvy (tloušťka zapouzdřeného prvku OLED je 200 až 250 μm) lze nanést i na velké plochy (panely, pruhy či fólie), proto se uplatňují např. v dekorativních prvcích či obalech. Bílé OLED určené k osvětlení zatím nedosahují dostatečné

roce dosáhl zhruba šesti miliard dolarů. Podle analytiků společnosti *iSupply* by do roku 2011 měl trh překročit hranici devíti miliard dolarů. Tomu odpovídá i předpověď *Yole Development* pro rok 2012 hovořící o objemu 10,3 miliardy dolarů (obr. 1). Z toho téměř polovinu budou tvořit LED s velkým výkonem (dále V LED) a s velmi velkým výkonem (dále VV LED), což je více než pětinašobek stavu v roce 2007.



Obr. 1. Vývoj trhu světelných diod podle Yole Development

velkého měrného výkonu (maximálně do 50 lm/W). Výzkumníci z univerzity v Drážďanech dosáhli u zmíněných diod účinnosti 90 lm/W , s potenciálním maximum 124 lm/W (*Nature* 459 7244).

Podle předpokladů *DisplaySearch* (*OLED Lighting in 2009 and Beyond: The Bright Future*) by trh s OLED vhodných pro osvětlení mohl do roku 2018 dosáhnout téměř šesti miliard dolarů. Jako u všech typů LED je nezbytnou podmínkou snížit výrobní náklady.

Na začátku nového tisíciletí se objevily LED s velkým jasnem (s velkým výkonem) a během dalších dvou let následovaly LED s velmi velkým jasnem (s velmi velkým výkonem).

V několika posledních letech trh s LED ročně plynule roste o 16% a v loňském

Různorodé použití

Barevné diody přišly na trh již v šedesátých letech 20. století a v současné době se široce využívají k podsvětlení digitálních hodin, dálkových ovladačů či semaforů, ale také v průmyslové výrobě nebo jsou voleny pro automobilová světla. Bílé LED rychle pronikají na trh s běžným osvětlením, ale jsou využívány také v medicíně.

OLED jsou považovány za světelné zdroje budoucnosti vhodné pro displeje a osvětlení. Začínají se používat pro televizní obrazovky a díky velkému jas (V LED) rovněž pro displeje mobilních telefonů. Zde by mohly v budoucnu nahradit nyní převažující řešení v podobě LCD (*Liquid Crystal Display*), zaostávající v ob-

*) **Pozn. redakce:** V textu je mnoho zajímavých a diskutabilních podnětů a údajů. Pro některé z nich, např. rozdělení LED podle výkonu (jasu, proudu), lze najít další názor v článku Ing. Vladimíra Dvořáčka na str. 68. Jiné mohou posloužit k zamyšlení a k upřesňování v budoucnosti, např. vize o možných úsporách energie a nákladů a představy o rychlém dosažení špičkových měrných výkonů u komerčních světelných diod a svítidel viz článek Ing. Maixnera a Ing. Skály na str. 58, atd.

lasti spotřeby energie i v možnosti číst při velmi jasných světelných podmínkách.

V architektuře již ve světě existují překrásné ukázky využití LED pro architekturní a osvětlovací účely, jako např. nová Torre Agbar v Barceloně vysoká 142 m (s 4,5 tisíci moduly LED v šestnácti milionech barev) nebo obrovská obrazovka Viva Vision v Las Vegas (šířka 28 m, plocha 14 m², s 12,5 milionu modulů LED schopných zobrazit 16,7 milionu barevných kombinací). Vodní kostka, sportoviště posledních letních olympijských her v Pekingu, se také mohla pochlubit půl milionem červených, zelených a modrých LED, které jí dodaly nezaměnitelný vzhled.

Většina automobilů již používá LED pro zadní a vnitřní osvětlení, ale neustálé snižování nákladů a dostupnost výkonnějších LED znamenají hlavní úsporu energie v automobilu při použití pro všechny typy venkovních světel. Lze tak dosáhnout ekonomičtější spotřeby paliva, a tím také snížit znečištění ovzduší. LED se v některých automobilových světelných technologiích používají již mnoho let, ale teprve v současné době jejich vývoj umožňuje zabudovat je do předních světel.

LED jako konkurent žárovky

Osvětlení s použitím LED nabízí nízkou spotřebu a dlouhou životnost, ale také vysoký jas a různé tvary zdrojů i barvy světla. LED jsou až desetkrát účinnější při vyzařování světla než obyčejné žárovky a dvakrát účinnější než klasické zářivky. Porovnání základních vlastností klasických světelných zdrojů a OLED (hodnoty odpovídají prototypům) je uvedeno v tab. 1.

Co se týče bílého světla potřebného pro vnitřní umělé osvětlení, není ovšem tak snadné dosáhnout přijatelnosti pro naše oči, ani peněženky. Lze jej docílit potažením UV LED luminoforem, ale tato metoda není dostatečně účinná, neboť 80 % generovaných fotonů zůstává „uvězněno“ podložkou a luminoforem. Lepších vlastností se dosáhne optimalizací vazby mezi vrstvami luminoforu a polymerů; tím se získá systém uvolňující více fotonů do prostoru pro vlastní osvětlení.

Život LED pracujících v domácích teplotních podmínkách může dosahovat až 50 000 h. Obecně to závisí nejen na teplotě okolí, ale také na barvě LED; červené, oranžové a žluté LED stárnou pomaleji než zelené a modré, tedy i bílé. Původně hojně zveřejňovaný údaj o životě LED až 100 000 h byl ovšem pouhým mýtem. Světelná dioda sice může po této době ještě pracovat, ale se ztrátou původní účinnosti, takže není v podstatě použitelná. V průběhu času se totiž světelný tok LED postupně snižuje.

Podle specifikace amerického sdružení ASSIST (*Alliance for Solid-State Illumination Systems and Technologies*) se hodnota LED jako nezpůsobit při snížení hodnoty osvětlení o 30 %. Tato hodnota totiž odpovídá vnímání člověka: naše oko je schopno zareagovat na nepříznivé snížení úrovně osvětlení až při 70 % původní účinnosti měřené v luxech, takže snížení o 30 % je i pro osvětlení vnitřních prostor ještě přijatelné.

Výhodou LED je přímý charakter vyzařování světla na rozdíl od běžných světelných zdrojů, které vyzařují světlo na všechny strany. Čím přímější vyzařování, tím větší počet lumenů (lm) osvětluje užitečnou plochu (pracovní stůl, par-

jejich svítící povrch byl co nejlépe vlastního zdroji světla. Tepelné nevyzařování činí LED velmi zajímavými pro uplatnění např. na oblečení, nábytku či kobercích. LED mohou bez problémů pracovat i v extrémních teplotních podmínkách (od -40 do +70 °C), ale výrazné kolísání okolních teplot zkracuje jejich život.

LED negenerují téměř žádný šum, proto jsou velmi příjemné pro vnitřní osvětlení. Další důležitou vlastností je jejich odolnost: jsou v podstatě nezníčitelné (na rozdíl od známých nebezpečí hrozcích u žárovek či zářivek). Polovodičový krystal LED je umístěn v plastovém obalu, který jej chrání před jakýmkoliv typem šoku i vibracemi. Právě proto

Tab. 1. Porovnání bílých OLED s konkurenčními světelnými zdroji

Ukazatel	Obyčejná žárovka	Klasická lineární zářivka	Kompaktní zářivka (přímá náhrada žárovky)	Bílá OLED (WOLED)
příkon (W)	75	20	20	0,08 až 0,18
cena (USD)	0,65	4,75	12,75	-
život (h)	750	10 000	8 000	20 000+
měrný výkon (lm/W)	16	60	60 až 90	44 až 100 (potenciál 250)
likvidace po skončení života	běžný odpad	nebezpečný odpad	nebezpečný odpad	recyklace (např. zlato a stříbro)

zdroj: NanoMarkets, 2008; *The Quintessence of LEDs*, EBV, 2007/2008

kovací místo), a tím méně světla se ztrácí.

Pro stabilní hodnotu osvětlení s použitím LED je především nutné udržovat konstantní proud. Typická úroveň proudu je 20 až 350 mA, ale VV LED (1 až 5 W) potřebují větší hodnotu proudu, až 1 A.

Výkonnost komerčních LED zatím nepřekročila 50 % hodnoty vývojových vzorků. Přestože se totiž 70 % elektrické energie na světlo přemění, většina generovaného světla nikdy neopustí LED z důvodu vnitřního odrazu na rozhraní mezi materiálem s relativně vysokým indexem lomu (především GaN) a okolním materiálem s nižší hodnotou tohoto indexu. Pro větší účinnost, aby se dosáhlo požadované úrovně světelného toku, je třeba použít celou sadu LED. S tím však také roste složitost i cena celého systému a snižuje se jeho spolehlivost. Ke slovu se proto v LED i dalších prvcích (senzory, lasery, komunikační prvky) dostávají fotonické krystaly, které mají velmi dobrou schopnost ovlivňovat průchod světla. Tyto fotonické struktury v nanoměřítku umožňují uvolnit veškeré světlo z povrchu LED do prostoru, a to bez ohledu na velikost čipu.

Generované teplo se u LED neuvolňuje do prostoru jako u žárovky, ale do materiálu pod diodou (silné zdroje světla do ruky, baterky, vybavené LED jsou toho dobrým důkazem). Proto jsou čipy s LED velmi malé (méně než 1 mm²), aby

jsou LED mimořádně vhodné pro mobilní zařízení či do automobilů, čemuž ještě napomáhá jejich schopnost okamžitého zapnutí (během několika milisekund), takže třeba brzdová světla vybavená LED zareagují na sešlápnutí pedálu okamžitě a potenciálně zabrání nárazu zezadu. Navíc se může uplatnit i zde praktické ztlumování či zesilování svítivosti (0 až 100 %), takže prudší sešlápnutí brzdového pedálu může okamžitě generovat výraznější červené zadní světlo jako jasnou výstrahu.

Žádná žárovka není tak malá jako LED, což přináší nejen značnou pružnost při navrhování osvětlení a dalšího uplatnění, ale také je lze umístit do velmi malých prostor. Doba života LED přesně vyhovuje potřebám automobilových světel a panelů, kde může být zabudováno více LED (pro málo pravděpodobný případ výpadku některé z nich), přičemž v praxi se po dobu života automobilu nikdy nebudou vyměňovat. Pro použití v automobilech je rovněž zajímavá kombinace barev LED, což lze účinně využít. Menší velikost a tloušťka LED jsou i v tomto případě výhodou.

K charakteristickým vlastnostem LED vhodným zejména pro vnitřní osvětlení patří teplota chromatičnosti T_c v kelvinech. Menší T_c znamená, že bílé světlo je teplejší a obsahuje více červené, zatímco větší T_c označuje bílé světlo s modrým od-

stínem, které se jeví studenější. Světelné diody lze stmívat bez nepříznivého dopadu na teplotu chromatičnosti, a moduly LED dokonce dovolují měnit u vyzářovaného světla jeho barvu.

Diody LED určené k osvětlování by měly splňovat následující požadavky: vyzářovaný světelný tok minimálně 80 lm při proudu 350 mA, měrný výkon minimálně 75 lm/W, život přesahující 40 000 h (podle IESNA LM-80) a náhradní teplota chromatičnosti (T_{cp}) od 2 700 do 7 000 K. Prioritou výrobců světelných diod je nejen dosáhnout těchto hodnot, ale zejména snížit celkové náklady (především měrné, tj. vztažené na 1 lm vyzářovaného světla).

Výzkum a vývoj LED pokračuje

Vývoj postupuje v oblasti zvyšování účinnosti LED (lm/W): v laboratorních podmínkách bylo dosaženo 150 lm/W při nízké úrovni proudu (20 mA). Vývoj bílých LED (WLED) a zejména jejich výroby trvá již téměř deset let a stále pokračuje. Nově se zkoumají monolitické bílé LED využívající kombinaci modrého a žlutého zdroje světla na bázi nových materiálů ((GaIn)N/GaN), které by mohly překonat WLED, závislé na hybridních technologiích, a konečně poskytnout náhradu běžných žárovek či zářivek. Monolitické WLED se vyrábějí v jediném kroku na rozdíl od běžnějšího, dvoustupňového procesu výroby konvenčních WLED s využitím luminoforu. Díky tomu se snižují náklady na jejich výrobu a současně vzroste jejich spolehlivost.

Novinkou je také mikroLED, pole složené z tzv. mikropixelových LED, kde oblast vyzářující světlo sestává z (desítek) tisíc prvků o velikosti mikronu (až 1 000 LED na jeden mm^2) a které lze účinně využít v zobrazovací optice či biofotonic (senzory přímo na těle člověka, sledující různé chemické či biologické veličiny). Jejich malá velikost přispívá nejen ke kompaktnosti (např. pole 64×64 mi-

kroLED se vejde na miniplochu čtverce o straně 2,3 mm), ale i k vyšší účinnosti a kvalitě paprsku.

Evropa podporuje výzkum OLED

Cílem projektu www.brighter.eu (<http://www.ist-brighter.eu/>), částečně financovaného z evropských zdrojů, je zvýšit kvalitu paprsku výkonné laserové diody, což by umožnilo vyrábět levné světelné zdroje s vysokou svítivostí pro nejrůznější barvy (vlnové délky) a využít je pro efektivnější vstup světelného toku do optických vláken o malém průměru, které by se uplatnily ve zdravotnictví či optických zesilovačích v komunikačních sítích.

V rámci projektu **ROLLED** byla vyvinuta nová metoda výroby flexibilních organických LED. Technologie tiskání na role konečně umožňuje masovou, tedy levnější výrobu pružného prvku OLED. Flexibilita znamená, že obrazové body (pixels) mohou nabýt libovolného tvaru a velikosti. Náklady na výrobu pružných OLED jsou nižší, a rychlost výroby je přitom vyšší než u běžných výrobních postupů. Ve výsledku výroba jednoho prvku OLED přijde na několik desítek eurocentů, přičemž se stále pracuje na dalším snižování nákladů.

Na starší evropský projekt **OLLA** (*OLEDs for ICT and Lighting Applications*) navázal **OLED100.eu** s plánovaným dokončením v roce 2011. Jeho cílem je zvýšit účinnost OLED (100 lm/W), prodloužit jejich život (minimálně 100 000 h), zvětšit velikost (do plochy 1×1 m) a snížit výrobní náklady pod 100 eur na čtvereční metr.

Světlo včera a dnes

Umělé osvětlení již dávno neslouží pouze k náhradě přírodního osvětlení vnitřních prostor, ulic či budov. Moderní koncepce osvětlení je mnohem složitější, ale současně také ekonomičtější. Systémy re-

gulace a řízení osvětlení se přizpůsobují konkrétní situaci osvětlovaného prostoru a změnám souvisejícím např. se změnami jasu v průběhu dne. Osvětlení přímo ovlivňuje psychologické a fyziologické vnímání člověka: studené barvy ho mohou ovlivnit při nákupech. Prodejci začínají experimentovat s barevnými LED pro snazší přesvědčení svých zákazníků o vhodnosti koupě, např. osvětlení domodra snižuje vnímanou teplotu, takže i v létě může vést zákazníky k nákupu zimní výbavy.

Rozvoji využití LED napomáhá zejména jejich energetická nenáročnost a rostoucí světelný výstup, což spolu s barevnou škálou v nabídce otevřelo cestu pro nové pojetí světla a osvětlení nejen v domácnostech a veřejných prostorech, ale i v průmyslu. Fasády a poutače získávají další doslova nový rozměr díky uplatnění LED, ale důležitější než estetickou funkci úspěšně LED plní v automobilech, kde napomáhají nejen k úsporám, ale i ke zvýšení bezpečnosti silničního provozu.

Současný vývoj bílých LED již naznačuje, jak výrazné energetické úspory přinese jejich využití pro běžné osvětlení, kdy postupně nahradí klasické žárovky a lineární i kompaktní zářivky. Příspěvek k úsporám (nízké energetické náklady na provoz, snížené náklady na klimatizaci díky nulovému generovanému tepelnému záření, bezúdržbovost – žádné čištění ani pravidelná výměna) a snížení zátěže životního prostředí (včetně možnosti recyklace, bez nebezpečného odpadu) dělají z LED nejčistší způsob osvětlení i z ekologického hlediska.

Další informace:

The LED's Dark Secret <http://www.spectrum.ieee.org/semiconductors/optoelectronics/the-leds-dark-secret>

Flexible Inorganic LED Display <http://www.spectrum.ieee.org/semiconductors/devices/flexible-inorganic-led-displays>

(rita@ieee.org)



Inteligentní digitální domácnost





st
Sdělovací technika
telekomunikace
multimédia
elektronika

Inteligentní digitální domácnost

Konference se koná 24. září 2009 v Praze – doprovodná konference veletrhu FOR ARCH 2009

Cílem konference je informovat o moderních technologiích propojení zařízení a systémů v moderní domácnosti, jejich dopadu na plánování a realizaci stavebních řešení a podpořit jejich implementaci v bytové výstavbě. Upozornit uživatele na to, že vysokorychlostní přístup k Internetu se stává nezbytností a síťové propojení domovních a bytových funkcí a systémů znamená velkou perspektivní flexibilitu. Zdůraznit, že při progresivním plánování moderní realizace domácnosti je nutné mít na zřeteli i požadavky a potřeby uživatele ve stáří – možnost asistenčních služeb, jednoduché ovládání, apod. Životnost domu nebo bytu a jeho hodnota, se díky základnímu modernímu technickému vybavení patřičnou infrastrukturou podstatně zvýší, zátěž životního prostředí a provozní náklady se sníží. Konference se zaměří na perspektivní architektonická a technologická řešení interiéru a interierů.

Informace o možnostech partnerství na této konferenci získáte na tel.: +420 603 417 948, e-mail: benes@stech.cz
Informace o programu a podmínkách účasti získáte na www.stech.cz, nebo si je můžete vyžádat na adrese konference@stech.cz