

Je LED univerzálne a konečné riešenie?

Nové princípy svetelných zdrojov

prof. Ing. Alfonz SMOLA, PhD., STU FEI v Bratislave

ÚVOD

Svetelné zdroje sú základným prvkom osvetľovacích sústav. Z umelých zdrojov majú pre osvetľovanie najväčší význam zdroje napájané elektrickou energiou, teda *elektrické* svetelné zdroje.

Vo všeobecnosti môžeme elektrické svetelné zdroje rozdeliť do troch základných skupín a to **teplotné** (žiarovka), **výbojové** (žiarivka či výbojka) a **luminiscenčné**.

V *teplotných* svetelných zdrojoch dochádza prechodom elektrického prúdu k zahriatiu vodivej látky (kovu) na vysokú teplotu a táto látka vysiela v dôsledku tepelného pohybu optické žiarenie. *Výbojové* svetelné zdroje sú založené na princípe elektrických výbojov v plynach a parách rôznych kovov a využívajú premenu elektrickej energie na kinetickú energiu elektrónov, ktorá sa pri zrážkach s atómami plynov mení na optické žiarenie. *Luminiscenčné* svetelné zdroje pracujú na princípe vyžarovania energie v podobe fotónov pri samovoľnom návrate elektrónov zo vzбудeného stavu do základného stavu.

Hoci aj po roku 1998 môžeme pozorovať pokrok v inováciách svetelných zdrojov, najrýchlejší rozvoj zaznamenali najmä LED. V poslednom období sa však objavili aj principiálne iné svetelné zdroje o ktorých pojednáme neskôr.

Aký je súčasný stav a perspektívy vývoja známych a používaných svetelných zdrojov?

V EU sa prevažná väčšina typov **žiaroviek** už nepoužíva. Napriek tomu v iných krajinách sa stále používajú aj vyvíjajú.

Trendy vývoja žiaroviek možno charakterizovať nasledovne:

- *zvýšenie merného výkonu*
- *zvýšenie životnosti*
- *vylepšenie emisie špirál povlakmi z hafnia*
- *reflektorové multivrstvy (spätný odraz vyhrieva špirálu)*
- *reflektorové žiarovky s priemerom 51 mm na sieťové napätie*
- *vylepšenie mechanických vlastností špirál pre lepšiu stabilitu vlákna*

Napriek uvedenému sa nedá predpokladať renesancia používania žiaroviek.

Trendy vývoja možno v oblasti halogénových žiaroviek charakterizovať nasledovne:

- ***IČ multivrstvy na spätný odraz žiarenia na vlákno – zvýšenie merného výkonu***
- ***dávkovanie xenónu***
- ***dotácie „certit“-u do kremenného skla banky na potlačenie UV žiarenia***
- ***HŽ na sieťové napätie***
- ***rôzne tvary baniek pre rôzne aplikácie***
- ***zmena Tk (cca 4000 K)***
- ***nízkotlakové halogénové žiarovky***
- ***miniaturizácia***

Napriek uvedenému sa ani v tomto prípade nedá predpokladať širšie používanie halogénových žiaroviek v budúcnosti.



Obr. 1 Miniatúrne halogénové žiarovky

Trendy vývoja v oblasti žiaroviek sú nasledovné:

- ***znižovanie množstva ortuti***
- ***vývoj bezortuťových technológií***
- ***program T5 je dominantný. Existujú už aj žiarivky T5 s Ra=90***
- ***vývoj nových typov luminoforov***
- ***vyššie teploty chromatickosti (napr. 8000 K)***
- ***vyššia životnosť***

Žiarivka v blízkej budúcnosti zostane často používaným svetelným zdrojom.

Trendy vývoja v oblasti kompaktných žiaroviek sú nasledovné:

- *preberanie nových technológií platných pre žiarivky*
- *amalgámové technológie*
- *tvarované KŽ*
- *KŽ s reflektorom či difúzorom*
- *zvyšovanie merného výkonu*
- *znižovanie príkonu*
- *zvyšovanie životnosti*

Ani v tomto prípade neočakávame ich ďalší rozvoj a ich uplatnenie bude čoraz menšie.

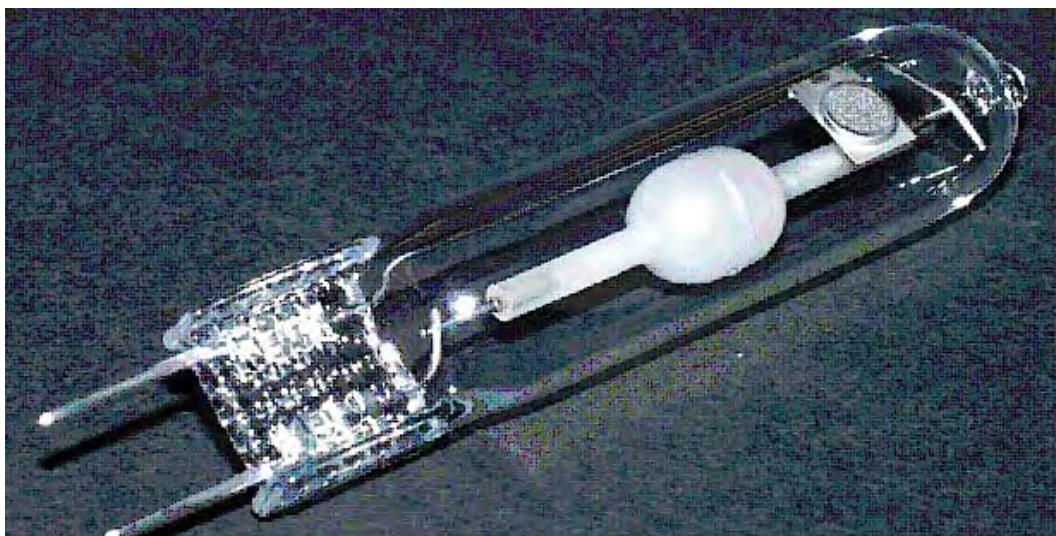
Nízkotlakové sodíkové výbojky

Sodíkové nízkotlakové výbojky sa u nás už nevyrábajú a ani nepoužívajú. Majú veľmi zlé podanie farieb (žiadne). V zahraničí sa používajú na osvetlenie komunikácií, najmä križovatiek a diaľnic.

Vysokotlakové ortuťové výbojky

Je to svetelný zdroj, ktorý je už dlhodobo na ústupe. Používame ich predovšetkým na osvetľovanie ulíc, ciest, v priemysle a pod. V súčasnosti sa často nahradzujú sodíkovými alebo halogenidovými výbojkami, no najčastejšie LED svietidlami.

Halogenidové výbojky vznikli z vysokotlakových ortuťových výbojok tak, že sa do horáka pridali rôzne halogenidy kovov alebo vzácnych zemín. Halogenidy dodávajú tie farby svetla, ktoré vysokotlaková ortuťová výbojka neobsahuje. Možno ich vyrobiť s ľubovoľnou farbou svetla (denné, biele, teplobiele). Z celého spektra svetelných zdrojov (snáď okrem LED) zažívajú v súčasnosti najväčší rozmach.



Obr. 2 Miniatúrna halogenidová výbojka 20W s keramickým horákom

Trendy vývoja v oblasti halogenidových výbojok sú nasledovné:

- ***keramický horák ako všeobecné riešenie***
- ***dávkovanie Na – zblížovanie vlastností***
- ***nové plynové náplne***
- ***miniaturizácia príkonov***

Vysokotlakové sodíkové výbojky sa používajú predovšetkým na osvetlenie ulíc, komunikácií, tunelov, letísk, priemyselných hál, športovísk.

Trendy vývoja tohto svetelného zdroja sú:

- ***ekologické bezortuťové výbojky***
- ***dávkovanie iných prvkov na zlepšenie farebného podania***
- ***viachorákové výbojky***
- ***možnosti prepínania farby svetla alebo príkonu***
- ***miniaturizácia príkonov***
- ***nasadzovanie v interiéroch***

Xenónové výbojky sú výbojové svetelné zdroje, v ktorých výboj prebieha v parách xenónu. Nemajú väčší význam pre bežné osvetlenie. V súčasnosti sa používajú najmä v automobilových svetidlách, kde ich však tiež úspešne začínajú nahradzovať LED.

Indukčné výbojky pracujú na inom princípe, ako ostatné výbojové svetelné zdroje. Základ tvorí vysokofrekvenčný zdroj (20-50MHz) elektromagnetického poľa. Vzhľadom na to, že tento svetelný zdroj je bezelektrodový, vyznačujú sa veľmi dlhou životnosťou. Dajú sa aplikovať najmä v priestoroch so sťaženým prístupom k svetidlám .

LED – ZDROJE

V svetelnej technike pred niekoľkými rokmi nastal zvrät, keď sa navrhli a následne začali vyrábať svetelné diódy, ktoré mali podstatne vyšší jas ako ich predchodcovia. Začalo sa nielen s narastaním hodnoty jasu, ale začali sa vyrábať aj iné farby týchto polovodičových diód. Nové technológie umožnili vyrábať diódy s bielym svetlom. Postupne sa vylepšujú technológie výroby LED a začínajú otvárať nový obzor osvetľovacím zariadeniam.

Luminiscenčné diódy predstavujú v súčasnosti najperspektívnejšiu oblasť svetelných zdrojov. Enormný nárast merného výkonu v poslednom období pri zachovaní dlhej životnosti a extrémne nízkej spotrebe, ako aj veľké výskumno-vývojové pracoviská svetových výrobcov, ktoré sa orientujú na LED technológie dávajú tušiť, že práve tento svetelný zdroj sa stane dominantným pre systémy núdzového, orientačného, automobilového osvetlenia ale bude dominantným aj v interiérovom a exteriérovom osvetľovaní. Je veľmi vhodný ako dekoratívny doplnok rôznych priestoroch ako sú napr.

obchodné domy, schodištia a chodby v kinách i divadlách, rodinné domy, kde sa používajú ako svietidlá do stien, osvetlenie schodísk a iných priestorov domu, kde sa dá svetlom vytvoriť pohodlné prostredie príbytku. Svetelné diódy sa začínajú stále viac používať všade tam, kde ich vynikajúce vlastnosti prispievajú k efektívnemu využitiu svetla pri maximálnej bezpečnosti.

LED zdroje sú založené na princípe rekombinácie elektrónov a dier, pri ktorej dochádza k vyžarovaniu fotónov. Pre výrobcov LED je veľmi zložitý udržať krok s ostatnými výrobcami na trhu a vyrovnať sa, či už s osvetľovacími nárokmi alebo nárokmi zákazníka. Pokrok v tejto oblasti je tak rýchly, že predajcovia nestíhajú vymieňať vzorky pri prezentáciách pre potenciálnych zákazníkov. Výrobcovia sa totiž neustále snažia zlepšovať hodnoty svetelnotechnických a elektrických parametrov. Súčasne pracujú aj na vytváraní nových fosforových vrstiev, puzdier, optických a iných riešení, ktoré neustále zvyšujú kvalitatívny štandard komponentov alebo svetelnotechnických parametrov. Koncom roka 2014 prišlo k objavu, ktorý bol ohodnotený Nobelovou cenou za fyziku, a to práve v oblasti LED. Podarilo sa totiž zmeniť dlho zaužívané princípy LED, že biele svetlo nevieme vytvoriť bez fosforovej konverzie alebo zmiešaním farieb. Táto zmena pomôže vyrábať ešte úspornejšie a šetrnejšie svetelné zdroje k životnému prostrediu a posunúť tak LED na úplne inú úroveň. Pre bežných zákazníkov je však technológia LED stále pridrahá, aj keď si začínajú uvedomovať jej výhody. Konvenčné zdroje svetla sú postupne nahradzované LED zdrojmi, nielen kvôli výborným svetelnotechnickým parametrom, ktoré môžeme v súčasnosti ľahko meniť bez mechanického zásahu aj pomocou mobilných aplikácií, ale najmä kvôli úsporám elektrickej energie, stále novým inovačným možnostiam a mnoho ďalším. **Základný princíp činnosti** je všeobecne známy a preto sa s ním nebudeme bližšie zaoberať.

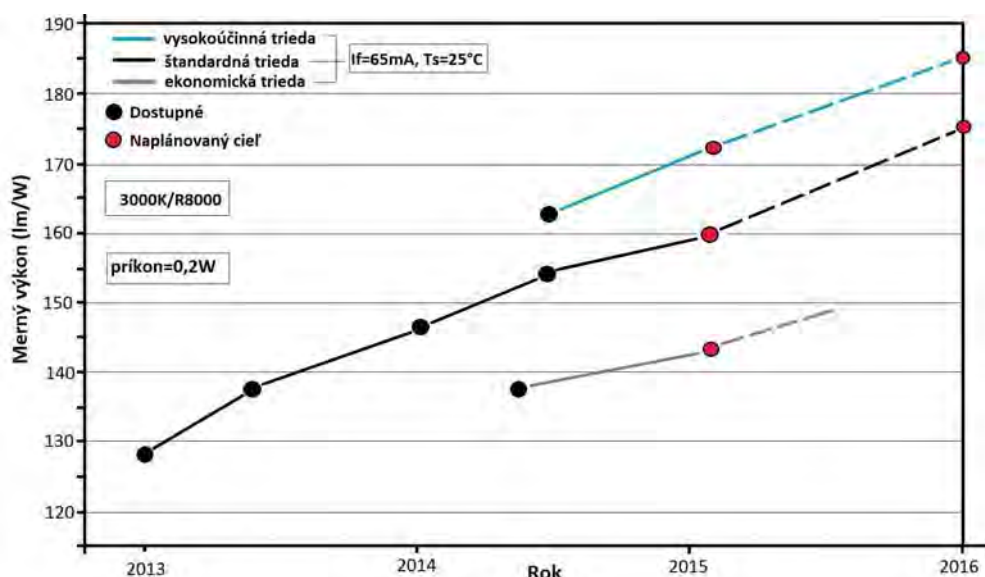
Merný výkon LED

Energetická efektívnosť LED je charakterizovaná ako merný výkon. Merný výkon svetelných LED zariadení je pomer medzi svetelným tokom v lumenoch (lm) a elektrického príkonu vo wattoch (W). LED, ktorú tvoria jednotlivé časti, má svoj vlastný merný výkon, ktorý je odlišný od merného výkonu integrovaných LED svietidiel. Pokles merného výkonu závisí od strát v predradníku, tepelných a optických strát. Merný výkon LED, aj celkového produktu, je závislý od rôznych faktorov, ktorých rozsah siaha od elektrickej účinnosti až po spektrálnu účinnosť. Zvyšuje sa neustále a veľmi rýchlo. Firme Cree sa v laboratórnych podmienkach podarilo ako prvej prekročiť hranicu 300 lm/W v marci roku 2014. Cree udáva, že nameraný merný výkon bol 303 lm/W pri CCT (correlated color temperature), t.j. teplote chromatickosti 5150K a pretekajúcim prúdom 350mA. Meranie bolo uskutočnené pri izbovej teplote. V reálnych podmienkach musíme však brať do úvahy niekoľko faktorov ako sú výkon predradníku, optické straty, straty v riadení a ostatné straty, ktoré redukujú celkový merný výkon systému [5].

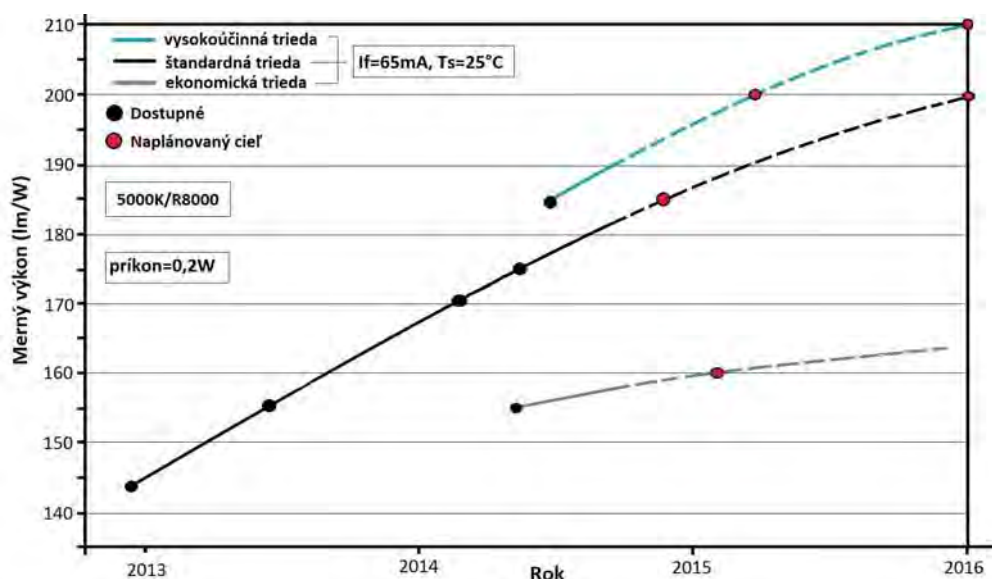


Obr 3: Porovnanie merného výkonu vybraných svetelných zdrojov v roku 2012 [5]

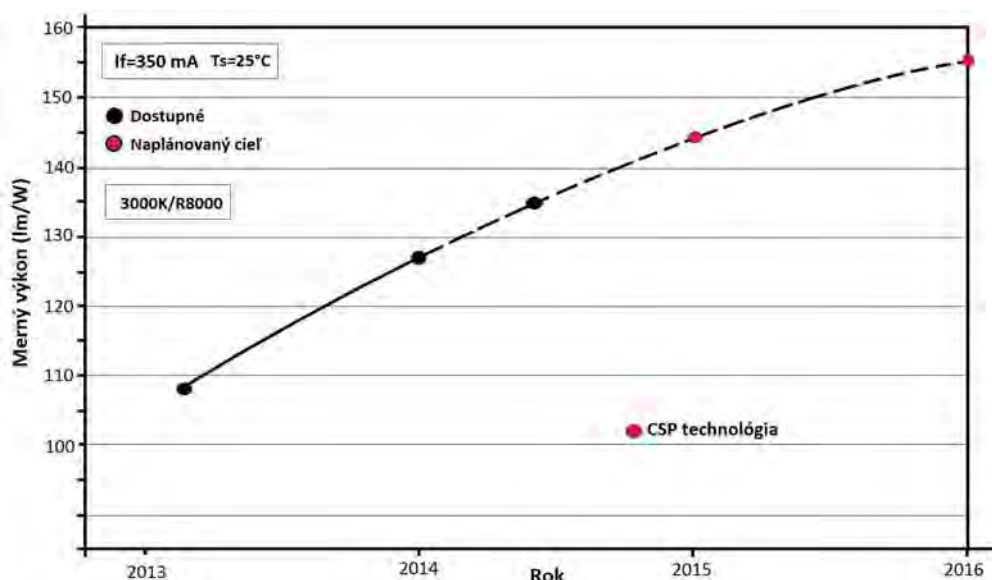
V septembri roka 2014 firma *Nichia* predstavila nové a taktiež vylepšené LED, ktoré prídu na trh v termíne od konca roka 2014, až júla 2015. U série LED 757 s rozmerom čipu 3,0x0,52mm sa podarilo zvýšiť merný výkon od 5 lm/W do 14 lm/W, pričom výsledný dosahuje až 175 lm/W. Pri nových modeloch dosahuje až 200 lm/W. Séria LED 757 sa rozdeľuje podľa CCT teploty na “chladnú” bielu a “teplú” bielu, a ďalej podľa príkonu 0,2W, 0,5W, a 1W. Pri nižšom príkone LED, konkrétne s 0,2W u NFSW757D-V1 bol merný výkon zvýšený na 175 lm/W z pôvodných 170 lm/W. Pri vyššom príkone, konkrétne 1W u NFSW757DR-V1, bolo zvýšenie merného výkonu rovnaké ako u NFSW757D-V1, ale celkový merný výkon bol nižší, iba 140 lm/W. Séria 757 má 3 základné triedy: ekonomickú, štandardnú, vysokoúčinnú. Porovnanie merných výkonov LED s príkonom 0,2W môžeme vidieť na grafoch nižšie, kde I_f je prúd v priepustnom smere, a T_s je teplota púzdra udávaná výrobcom. Čiernou bodkou sú naznačené LED, ktoré sú už na trhu, červenou LED, ktorých merný výkon by chceli dosiahnuť do daného obdobia roka [13].



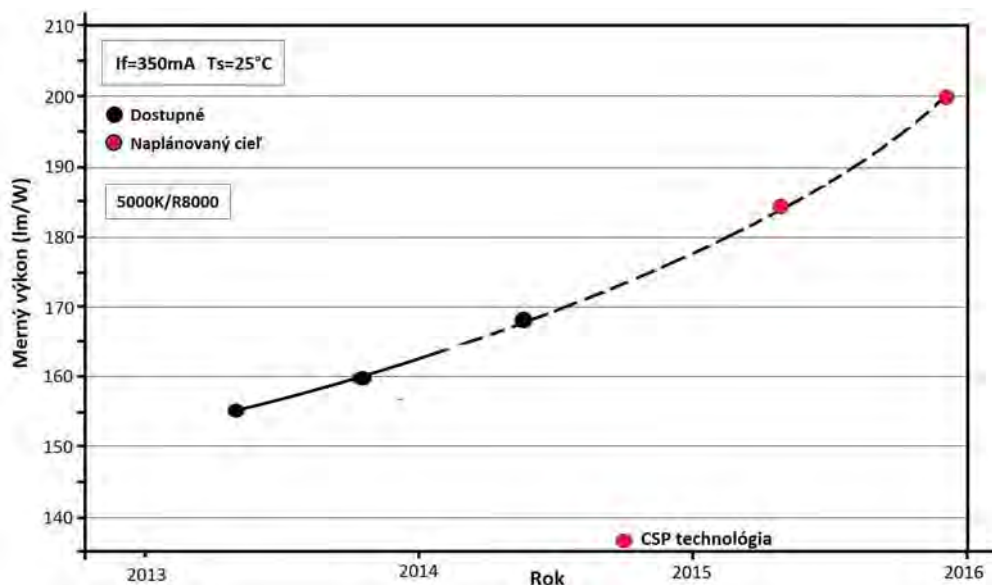
Obr. 4 Rast merného výkonu u série 757 pri CCT 3000K (13)



Obr. 5: Rast merného výkonu u série 757 pri CCT 5000K [13]



Obr. 6 Rast merného výkonu u série 119/219(x19) pri CCT 3000K [13]

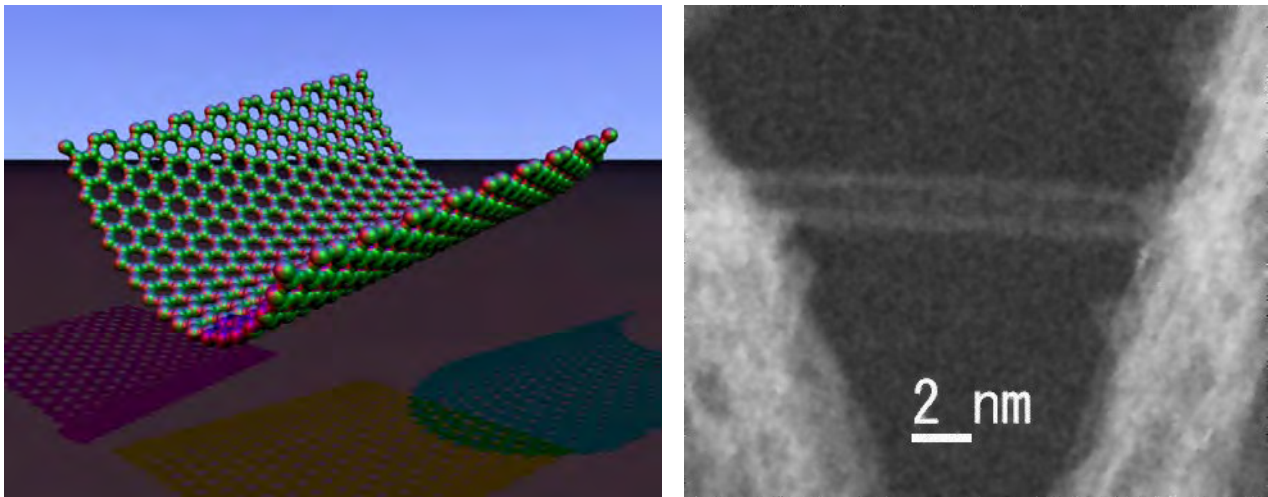


Obr. 7 Rast merného výkonu u série 119/219(x19) pri CCT 5000K [13]

Inovácie v oblasti svetelných zdrojov sa netýkajú iba veľmi dynamicky sa rozvíjajúcich polovodičových LED a OLED svetelných zdrojov, ale nové riešenia sa objavujú aj u výbojok. Americká firma Luxia, uviedla v roku 2007 na trh nový typ výbojového svetelného zdroja označovaného **LEP - light emitting plasma (plazma emitujúca svetlo)** - pod názvom LIFI, ktorý vďaka svojim vlastnostiam našiel uplatnenie v niekoľkých odvetviach svetelnej techniky.

Základom tohto svetelného zdroja je kremenný horák, ktorý je svojím tvarom i veľkosťou podobný známej cukrovine tic-tac. Horák je zatmelený v dielektriku valcového tvaru, ktorý je vďaka svojej konštrukcii využívaný na dva účely: ako vlnovod vysokofrekvenčnej energie a zároveň ako koncentrátor, ktorý energiu sústreďuje do vnútra horáka. Tento systém tak umožňuje ionizovať náplň horáka za účelom generovania svetelnej energie bez toho, aby bolo nutné do horáka umiestniť elektródy, ako je tomu u klasických výbojok. Potrebnú energiu na ionizáciu zmesi inertného plynu a pár vhodných kovov dodáva elektronicky ovládaný vysokofrekvenčný mikrovlnný zdroj.

Zásľuhou bezelektrodovej konštrukcie vykazuje plazmový zdroj dlhú životnosť. Podľa modelu zdroja môže dosahovať až 50 000 h. Náhradné teplotu chromatickosti rovnako ako index podania farieb možno ovplyvniť náplňou horáka. V súčasnej dobe firma ponúka niekoľko modelov zdrojov s teplotou chromatickosti od 5 300 do 7 350 K, s Ra od 80 do 95. Plazmový zdroj je možné vďaka digitálnemu ovládaniu stmievať na 20% nominálnej hodnoty svetelného toku, ktorý sa pohybuje v rozmedzí 1 950 až 23 000 lm, s merným výkonom až 85 lm / W, podľa modelu zdroja. Relatívne nízke hodnoty svetelného toku sú vykompenzované možnosťou účinne prerozdeľovať svetlo optickými časťami svietidla. Podobne ako u diódy LED je svetelný tok plazmového zdroja usmernený len do jednej hemisféry, a preto možno v kombinácii s malým horákom použiť ako reflexnú, tak refrakčnú optiku. Tým sa dosiahne vysoká účinnosť svietidla. Svietidlá s plazmovým zdrojom je možné po vypnutí znovu zapnúť po 60 s. Uvedené svetelnotechnické parametre predurčujú tento svetelný zdroj na použitie v širokej oblasti svetelnej techniky. Výrobca jednotlivé modely optimalizuje pre ich použitie, a preto sú svetelné zdroje rozdelené do niekoľkých kategórií. Produktový rad STA je určená na osvetľovanie vonkajších priestorov, infraštruktúry alebo priemyselných objektov. Zdroje z produktovej rady ENT sú úspešne používané v efektovom osvetlení. Zdroj PRJ je konštrukčne prispôbený na použitie v premietacej technike a rad INT sa využíva v lekárstve ako intenzívny svetelný zdroj v mikroskopii. (14)



Obr. 8, 9 CNT technológie (nielen) na výrobu svetla

V poslednom období sa pozornosť vedcov sústreďuje čoraz viac na **CNT technológie**. Svetelný zdroj postavený na základe uhlíkových nanotrúb (CNT) má mať veľmi malé tepelné straty. Základom je fosforová vrstva a jednostenné uhlíkové nanotrúbice, ktoré fungujú ako elektródy v štruktúre diódy. V súčasnosti dosahujú merný výkon asi 80 lm/W. Napriek tomu, že nový CNT svetelný zdroj má štruktúru podobnú dióde, v skutočnosti nie je postavený na diódovom systéme. Pozostáva z vrstiev polovodičov, ktoré sú akousi membránovou medzi vodičom a izolantom. CNT funguje skôr ako katódová trubica, teda klasická obrazovka. Lenže s tým rozdielom, že katódu zastupujú uhlíkové nanotrúbice a fosforová vrstva vo vákuu slúži ako anóda. Pod silným elektrickým poľom katóda vyžaruje fotóny (svetlo), ktoré preletia cez vákuum a rozžiaria fosforovú vrstvu. Uhlíkové nanotrúbice sú sľubným materiálom pre vyvinutie nového svetelného zdroja. Majú ihlovitý tvar, vysokú chemickú stabilitu, tepelnú vodivosť a mechanickú pevnosť. Vďaka tomu dochádza len k minimálnym energetickým stratám v porovnaní so súčasnými svetelnými technológiami. CNT technológia má veľkú budúcnosť, pretože jej výroba je pomerne jednoduchá a lacná s využitím lacných materiálov a vďaka nízkej spotrebe a vysokému mernému výkonu umožní znížiť emisie skleníkových plynov, ktoré sú zodpovedné za prebiehajúce klimatické zmeny.

ZÁVER

LED bude zrejme v blízkej budúcnosti dominantným svetelným zdrojom. Niet oblasti osvetlenia, kde by sa nedala aplikovať. Ak však máme odpovedať na otázku: Je LED univerzálne a konečné riešenie? Musíme na ňu odpovedať nie. Existujú nové princípy výroby svetla a vedci v budúcnosti určite objavia iné, ktoré nahradia aj v súčasnosti „nenahraditeľnú“ LED.

ZOZNAM POUŽITEJ LITERATÚRY

- [1] SCHUBERT, E. Fred, Light-emitting diodes, Second edition, Cambridge university press., 2006, ISBN 13 978-0-521-86538-8
- [2] LED-Professional, Review, 05/2009, Dostupné na internete:
<http://www.nuventix.com/files/uploaded_files/LED%20Professional%20Article%20-%20Passive%20vs%20Active%20Cooling.pdf>
- [3] Solid-state lighting technology fact sheet, 03/2013, Dostupné na internete:
<http://apps1.eere.energy.gov/buildings/publications/pdfs/ssl/led_energy_efficiency.pdf>
- [4] LED lighting systems, 2003, Dostupné na internete:
<<http://www.lrc.rpi.edu/programs/nlpip/lightinganswers/led/whiteLight.asp>>
- [5] OMS, LED guide, 2012, project number: SUSPP-0008-09
- [6] Prenos tepla, Dostupné na internete: <<http://mkp-fem.sk/STRA02/D16A.pdf>>
- [7] The Nobel prize in physics 2014, Dostupné na internete:
http://www.nobelprize.org/nobel_prizes/physics/laureates/2014/popular-physicsprize2014.pdf>
- [8] Mechatronix, IceLED Modular active LED Cooler, Dostupné na internete: <<http://www.led-heatsink.com/products>>
- [9] Indium Corporation®, Controlling junction temperature of LEDs with thermal management materials, Dostupné na internete:
<<http://blogs.indium.com/blog/amanda-hartnett/controlling-junction-temperature-of-leds-with-thermal-management-materials>>
- [10] OMS, LED basics, Dostupné na internete:
<<http://rl.omslighting.com/ledacademy/571/1-leds-basics/12-led-basic-parametres>>
- [11] GreenCreative, Critical LED standards, Dostupné na internete:
<<http://www.gc-lighting.com/led-education/lm-80>>
- [12] Cree, Xlamp XT-E 1060 lm/\$ promotion, 2013, pdf
- [13] Nichia, Nichia lighting LED technical roadmap for OMS, 18.sep. 2014
- [14] Parma, M.: Indukční výbojky, tzv. plazmové světelné zdroje. Světlo 5/2011 str. 38. ECC Public 2011
- [15] Vajs, M.: LED sú minulosťou. Prichádza CNT. Pravda, 15.10.2014
- [16] Carbon Nanotube. Dostupné na internete: https://en.wikipedia.org/wiki/Carbon_nanotube

This paper is supported by the agency VEGA MŠVVaŠ SR under Grant No.

VEGA 1/0988/12 „Energy efficiency of lighting systems in buildings“