

# Světelné zdroje – lineární zářivky

Ing. Vladimír Dvořáček, S Lamp s. r. o. Panenské Břežany

Zářivka je nízkotlaká rtuťová výbojka, v níž je hlavní část světla vyzařována jednou nebo několika vrstvami luminoforu buzeného ultrafialovým zářením výboje. Tyto světelné zdroje jsou většinou trubkové, jde o tzv. lineární zářivky, nebo je jejich trubice různě tvarovaná (např. zářivky kruhové nebo tvaru U apod.). Do této skupiny patří i zářivky kompaktní, které se vyznačují velkou tvarovou rozmanitostí. Nové možnosti v konstrukčních materiálech, zejména v luminoforech, a v elektronické součástkové základně vedly k významnému zvýšení hospodárnosti zářivkového osvětlení, značnému rozšíření vyráběného sortimentu a ke vzniku již zmíněných kompaktních zářivek, které se postupně rozvinuly do samostatné skupiny nízkotlakých světelných zdrojů. V závislosti na typu použitého luminoforu lze dosáhnout různého spektrálního složení vyzařovaného světla, různého měrného výkonu a všeobecného indexu podání barev  $R_a$ . Významné úspěchy ve vývoji luminoforů dovolily konstruovat velmi účinné světelné zdroje při zachování velmi dobré kvality vyzařovaného světla. Další významný pokrok v produkci zářivek byl podmíněn úspěchy v elektronice, které umožnily dále optimalizovat podmínky funkce rtuťového výboje, realizovat provoz při vysoké frekvenci, dále zmenšit rozměry zářivek, a uvést tak na trh novou generaci zářivek s měrným výkonem vyšším než 100 lm/W při  $R_a$  převyšujícím hodnotu 80. Tento článek je věnován zářivkám lineárním.

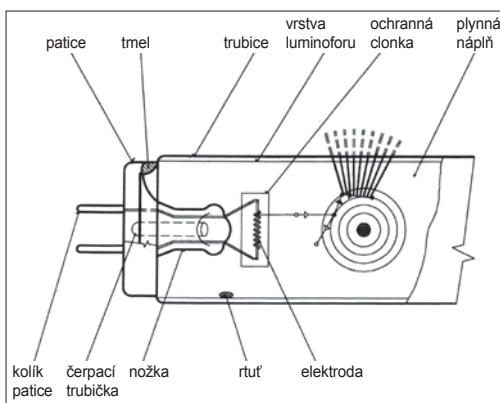
## Lineární zářivky

Konstrukce zářivky je ukázána na obr. 1.

Trubice je zhotovena z měkkého skla, na její vnitřní stěnu je nanášena jedna, u speciálních typů dvě vrstvy luminoforu, které transformují ultrafialové záření kladného rtuťového sloupce na viditelné záření. Na obou koncích trubice je zatavena wolframová elektroda, na níž je nanášena emisní hmota na bázi oxidů barya a vápníku. Okolo elektrod je na neutrálním přívodu umístěna ochranná kovová clonka, která zabraňuje usazování vypařující se a rozprašující se emisní hmoty na vrstvě luminoforu. Omezuje tak neestetické černání konců zářivek

a přispívá ke stabilizaci světelného toku během svícení.

Vlastní výboj probíhá v nasycených parách rtuti při tlaku (asi 0,8 Pa) odpovídajícím teplotě nejnižšího místa zářivky (asi 42 °C) a v inertním plynu (obvykle argon nebo směs argonu s kryptonem), který snižuje zápalné napětí výboje a zabraňuje rychlému rozprašování emisní hmoty. Na obou koncích trubice běžných typů je přitmelena patice typu G13 (u nové generace lineárních zářivek G5) se dvěma kolíčky zajišťujícími zároveň elektrický



Obr. 1. Konstrukce lineární zářivky

kontakt s objímkami svítidla a předřadným a startovacím obvodem.

Velmi důležitou operací je dávkování rtuti. Pro správné fungování postačuje pouze nepatrné množství rtuti. Vzhledem k tomu, že během svícení z různých důvodů rtuť ubývá (např. v důsledku reakce rtuti s alkáliemi obsaženými ve skle trubice), je do zářivky dávkována v přebytku. Toxicita rtuti a s ní související problémy při výrobě i při likvidaci vyhořelých zářivek nutí výrobce používat pouze minimální nezbytné množství. Při zvládnutém postupu spolehlivého dávkování malých množství rtuti (v čisté formě nebo ve formě amalgámu) a při dokonalé čistotě dalších vstupních materiálů, účinném procesu čerpání zářivek a využití ochranné vrstvy mezi luminoforem a sklem lze vystačit pouze se 3 mg rtuti. Výsledkem těchto opatření a při použití kvalitních moderních luminoforů vznikne ekologická zářivka s vynikající stabilitou světelného toku během jejího života.

Poznámka: V zahraniční odborné literatuře i ve firemních katalozích se průměr zářivkové trubice uvádí v osminách palce za písmenem T, takže zářivky o průměru

38 mm se označují T12, podobně průměru 26 mm odpovídá označení T8, průměru 16 mm T5 atd.

## K hlavním přednostem zářivek patří:

- vysoká účinnost přeměny elektrické energie na světelnou, dosahující při vysokofrekvenčním napájení až 104 lm/W, při současném vysokém všeobecném indexu podání barev  $R_a$  dosahujícím hodnoty až 80,
  - vhodné geometrické parametry, umožňující konstruovat materiálově úsporná svítidla s jednoduchou optikou s možností sestavovat je do estetických spojitých svítících pásů nebo velkých ploch,
  - velmi široký sortiment příkonů od 4 do přibližně 200 W,
  - velmi široký sortiment barev vyzařovaného světla, charakterizovaný náhradní teplotou chromatičnosti 2 700 až 17 000 K,
  - u speciálních typů lze získat  $R_a$  až 98 při velmi dobrém měrném výkonu,
  - vysoce produktivní výrobní linky, jejichž kapacita dosahuje až 4 000 ks/h, při vysoké výtěžnosti výrobního procesu; z toho vyplývá trvale nízká cena základního sortimentu zářivek,
  - dlouhý život, dosahující u některých speciálních typů více než 20 tisíc h při dobré stabilitě světelného toku v průběhu svícení (obr. 2).
- Parametry zářivek lze zlepšit jejich provozem na vysoké frekvenci, který byl umožněn zavedením elektronických předřadníků, spojujících funkci zapálení výboje i jeho stabilizaci během provozu. Vysoká frekvence (u moderních předřadníků převyšující 30 kHz) má vedle větší účinnosti (až o 10 %) i další významné přednosti:
- rychlý start bez blikání, navíc šetrný ke katodě,
  - stabilní svícení bez míhání, na které může být lidské oko při frekvenci napájecího napětí 50 Hz ještě citlivé,
  - úplné potlačení stroboskopického jevu,
  - menší energetické ztráty v předřadníku i jeho menší hmotnost,
  - menší průměr trubice i délka, umožňující konstruovat menší a materiálově úspornější svítidla s optickou částí přesněji přerozdělující světelný tok zářivky v prostoru, přičemž účinnost svítidel se zářivkou o průměru 16 mm

je min. o 5 % větší v porovnání s účinností zářivky o průměru 26 mm.

Tyto úspěchy jsou podmíněny zejména vývojem nových luminoforů, dalším zlepšením jejich tepelné odolnosti a zdokonalováním a zlevňováním elektronických součástek. Výsledkem jsou zářivky s postupně se zmenšujícím průměrem trubice z původních 38 na 26 mm, u nejděrnějších typů na 16 a 7 mm.

K nedostatkům zářivek patří:

- závislost jejich světelného toku na teplotě okolního prostředí (obr. 3),
- potřeba předřadných a startovacích obvodů, které částečně snižují měrný výkon osvětlovací soustavy jako celku,
- vliv počtu zapnutí na život zářivky (je významnější u zapojení s tlumivkou a doutnavkovým startérem, méně významné u bezstartérových zapojení a zejména u kvalitních elektronických předřadníků zajišťujících dostatečné předžhavení elektrod před zapálením výboje),
- obsah toxické rtuti, pro niž nelze zářivky po ukončení jejich života odkládat do komunálního odpadu, ale je nutné je likvidovat u pověřených organizací.

Negativní vliv okolní teploty vyspělí výrobci řeší používáním amalgámů vhodných kovů, které rozšiřují teplotní interval, v němž si světelný tok zářivek udržuje hodnotu blízkou optimální, anebo vytvořením tzv. umělého chladného bodu, jehož teplota určuje tlak nasycených par rtuti na hodnotě, při níž je výstup rezonančního UV záření výboje, a tedy následně i světelný tok zářivky, maximální. Druhý uvedený způsob byl využit při výrobě nejmodernějších zářivek T5, jejichž jedna elektroda je vysunuta blíže ke středu trubice, takže chladný bod vznikne v oblasti za touto elektrodou. Tento konec je zřetelně označen; při použití několika zářivek v jednom svítidle je nutné takto označené konce shodně orientovat. V opačném případě se sníží účinnost zářivek.

Sortiment zářivek vyráběných v současné době je velmi široký jak z hlediska příkonu, rozměrů a tvarů, tak z hlediska barevných odstínů vyzářovaného světla a kvality podání barev osvětlovaných předmětů. Sortiment záři-

Tab.1. Elektrické a světelnotechnické parametry základních skupin lineárních zářivek

Průměr zářivky (mm)	Jmenovitý příkon (W)	Všeobecný index podání barev $R_a$	Měrný výkon bez předřadníku (lm/W)
7	6, 8, 11, 13	70 až 79	52 až 72
16	8, 13	80 až 89	56 až 73
	6, 8, 13	>90	37 až 46
	4, 6, 8, 13	70 až 79	30 až 54
	14, 21, 28, 35	80 až 89	79 až 94 <sup>*)</sup>
	24, 39, 49, 54, 80	80 až 89	67 až 77 <sup>**)</sup>
26	15, 18, 30, 36, 58, 70	51 až 63	64 až 75
		64 až 72	55 až 69
		85	67 až 90
	18, 36, 58	95 až 98	48 až 66
38	20, 40, 65	51 až 70	53 až 73

<sup>\*)</sup> Provoz výhradně s vysokofrekvenčním elektronickým předřadníkem. Při dosažení teploty ve svítidle optimální pro tento typ zářivky (+35 °C) jsou uvedené hodnoty ještě vyšší (96 až 104 lm/W).

<sup>\*\*)</sup> Provoz výhradně s vysokofrekvenčním elektronickým předřadníkem. Při dosažení teploty ve svítidle optimální pro tento typ zářivky (+35 °C) jsou uvedené hodnoty ještě vyšší (79 až 87,5 lm/W).

vek podle základních parametrů je uveden v tab. 1.

Základní sortiment zářivek podle chromatičnosti vyzářovaného světla je v tab. 2.

### Speciální zářivky

Kromě základního sortimentu uvedeného v tab.1 je ve výrobním programu významných firem ještě množství dalších typů. Kromě již vzpomínaných kruhových zářivek a zářivek tvaru U se vyrábějí i zářivky nízkoteplotní se zapalovacím páskem nebo s tepelnou izolací tvořenou další ochrannou trubicí, umožňující jejich

Tab. 2. Základní druhy zářivek podle chromatičnosti světla

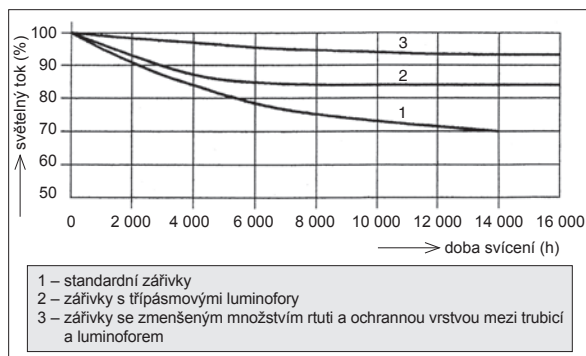
Zářivka podle barevného odstínu světla	Náhradní teplota chromatičnosti (K)
teple bílá	2 000 až 3 500
neutrálně bílá	3 500 až 5 300
chladně bílá	5 300 až 6 500

efektivní provoz i při nízkých venkovních teplotách, reflektorové, šterbinové, barevné, jednokolíkové zářivky do svítidel určených do prostředí s nebezpečím výbuchu atd.

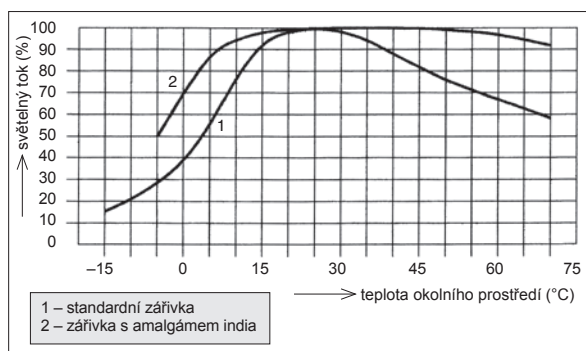
V poslední době se objevily zářivky s vysokými hodnotami náhradní teploty chromatičnosti (8 000, 13 000, nebo dokonce 17 000 K), jež jsou označovány názvy např. Skywhite, ActiVivaActive nebo ActiVivaNatural. Vyznačují se zvýšenou složkou světla v modré oblasti spektra a pro své stimulující účinky na člověka jsou určeny do provozů s nedostatkem denního světla. Vedle těchto zářivek se vyrábějí i barevné zářivky (modré, zelené, červené aj.), které se kromě dekorativního osvětlení uplatňují i v soustavách s dynamickým řízením světla s využitím počítačů, umožňujících vytvářet téměř nekonečný počet barevných odstínů vydávaného světla.

### Označování zářivek podle jakosti podání barev a barevného tónu světla

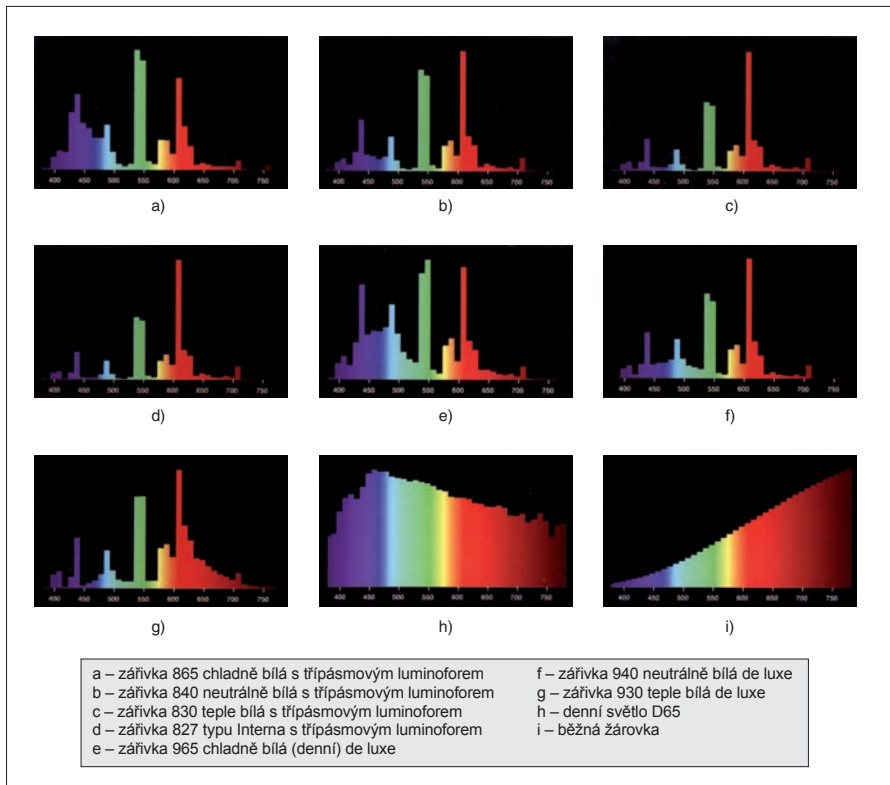
Pro lepší orientaci ve stále širším sortimentu zářivek se mnozí výrobci sjednotili na označování vlastností svých výrobků, alespoň co se týče barevných vlastností vyzářovaného světla. Do obchodního názvu tedy vedle svého interního označení jednotlivých typů číselně zakódovali kvalitu podání barev (charakterizovanou všeobecným indexem podání barev  $R_a$ ) a barevný odstín (charakterizovaný náhradní teplotou chromatičnosti  $T_{cp}$  vyjádřenou v Kelvinech).



Obr. 2. Pokles světelného toku zářivek v průběhu svícení



Obr. 3. Závislost světelného toku zářivky na teplotě okolního prostředí



Obr. 4. Poměrné spektrální složení vybraných typů světelných zdrojů podle katalogu Osram v závislosti na vlnové délce v nanometrech

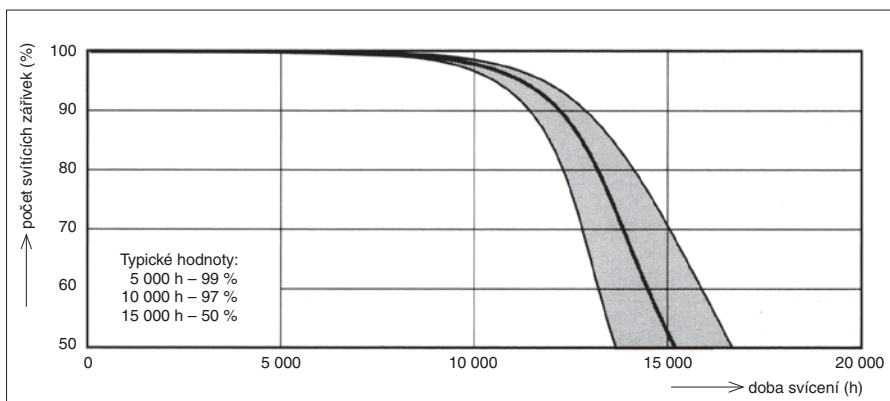
Příkladem může být označování firem Philips nebo Osram, kde za uvedením příkonu zářivky následuje trojčíslí, v němž první číslice charakterizuje  $R_a$  v desítkách (např. číslice 8 znamená, že  $R_a$  se nachází v rozmezí 80 až 89, číslice 9 znamená  $R_a > 90$ ), následující dvojčíslí představuje náhradní teplotu chromatičnosti  $T_{cp}$  ve stovkách Kelvinů (např. dvojčíslí 29 znamená  $T_{cp} = 2\,900$  K, dvojčíslí 65 znamená  $T_{cp} = 6\,500$  K atd.).

Tyto dva údaje jsou plně postačující pro kvalifikovanou volbu typu zářivky vhodného pro uvažovanou oblast použití. U zářivek starší výroby nebo u speciálních zářivek je tento kód většinou dvoumístný a jeho význam je třeba konzultovat s dodavatelem nebo výrobcem, popř. vyhledat v příslušném katalogu.

Uvedené značení již bylo popsáno v časopisu Světlo 3/1998 na str. 33 až 34. Na obr. 4 jsou s laskavým svolením společnosti Osram spol. s r. o. vyobrazena spektrální složení vybraných druhů zářivek s tímto kódovým značením, žárovky a standardního denního světla D65.

### Život a křivka vyhoření světelných zdrojů

Důležitou kvalitativní charakteristikou zářivek (to ovšem platí obecně pro všechny světelné zdroje) je křivka jejich vyhoření, která graficky znázorňuje podíl svítících zářivek k celkovému počtu současně instalovaných zdrojů osvětlovací soustavy v závislosti na počtu odsvitčených hodin. Na základě této závislosti se definuje běžně udávaný život (tzv.



Obr. 5. Křivka vyhoření zářivek T8

střední) jako doba svícení, při níž zůstane 50 % zdrojů ještě funkčních z jejich celkového množství provozovaného stejným způsobem. Tvar této křivky poskytuje informaci o technické vyspělosti výrobce, o úrovni technologie jeho výroby i o úrovni kontrolní činnosti při výrobě. Na obr. 5 je uvedena typická křivka vyhoření zářivek T8, vydaná předním světovým výrobcem světelných zdrojů pro jeho zářivky. Představuje údaje o výrobcích vysoké kvality (dlouhý střední život, malý rozptyl v individuálních životech jednotlivých zářivek, bez předčasných výpadků v průběhu prvních hodin svícení, což svědčí o stabilizované technologii výroby). Znalost uvedené křivky pomáhá provozovateli osvětlovací soustavy optimalizovat režim její údržby, rozhodnout, zda zvolit individuální výměnu vadných zdrojů, nebo skupinovou výměnu všech zdrojů v osvětlovací soustavě bez ohledu na to, že některé zářivky jsou ještě provozuschopné. V případě skupinové výměny umožňuje stanovit ekonomicky nejvýhodnější interval výměny, vyplývající z konkrétních technických (stabilita světelného toku v průběhu svícení, střední život, vlastnosti okolního prostředí apod.) a ekonomických parametrů (pořizovací cena celé soustavy i jednotlivých zářivek, náklady na výměnu vadného zdroje aj.). Bližší informace k této problematice lze nalézt v Publikaci CIE 97.2-2005, vydané ČNI v českém překladu jako TNI 36 0451 Údržba vnitřních osvětlovacích soustav.

### Závěr

Významní výrobci kladou důraz na ekologičnost výroby zářivek. Výrazným snížením množství jedovaté rtuti používané v zářivce až na hodnoty přibližně 3 mg splňují nově vyráběné zářivky nové přísné mezinárodní hygienické normy, a tak přispívají k ochraně životního prostředí při vlastní výrobě i při likvidaci vyhořelých zdrojů. Některé typy zářivek jsou opatřeny ochranným průhledným obalem po celé délce trubice, který se ani při náhodném rozbití zářivky neporuší a zabraňuje rozptýlení rtuti a stěrů do okolního prostředí. Ekologicky šetrný přístup ke konstruování a výrobě nejen zářivek, ale v podstatě všech světelných zdrojů je zdůrazňován téměř všemi významnými výrobci. Stejně tak každé zvýšení měrného výkonu světelného zdroje nebo prodloužení jeho života je prezentováno jako příspěvek ke snížení emisí oxidu uhličitého, souvisejícího s úsporou elektrické energie při jeho provozu nebo výrobě.

☒