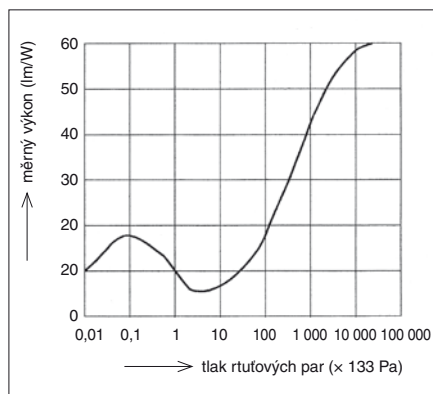


Světelné zdroje – vysokotlaké rtuťové výbojky, směšové výbojky

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

Obě skupiny těchto výbojek patří do kategorie vysokotlakých výbojových zdrojů využívajících zajímavé vlastnosti výboje v parách rtuti při zvýšeném tlaku. V předcházejících článcích byli čtenáři seznámeni s nízkotlakými rtuťovými výbojkami (lineárními a kompaktními zářivkami), v nichž největší část energie je vyzařována rezonančními ča-



Obr. 1. Závislost měrného výkonu rtuťové výbojky na tlaku rtuťových par

rami v ultrafialové oblasti spektra, která je s využitím vrstvy luminoforu transformována do viditelné části, zatímco vlastní viditelné záření výboje dosahuje úrovně pouze několika procent přiváděné energie. U vysokotlakých výbojek je mechanismus vzniku světla odlišný. Při postupném zvyšování tlaku rtuťových par a zvyšování proudové hustoty se totiž posunuje vyzařovaná energie směrem k větším vlnovým délkám, roste měrný výkon a vzniká spojité spektrum, jehož intenzita s narůstajícím tlakem rtuťových par rovněž roste (obr. 1). Hlavní podíl záření připadá na nerezonanční čáry, z nichž část leží v ultrafialové a čtyři velmi intenzivní ve viditelné modro-zelené oblasti spektra (404 až 407, 436, 546 a 577 nm). Přes poměrně velký měrný výkon (50 až 60 lm/W) však takový zdroj není vhodný pro všeobecné osvětlení, protože ve spektru jeho světla zcela chybí červená složka. Podání barev osvětlovaných předmětů a zejména lidské pokožky je tudíž naprosto nevyhovující.

Proto se hledaly způsoby, jak odstranit zmíněný nedostatek a zlepšit spektrum

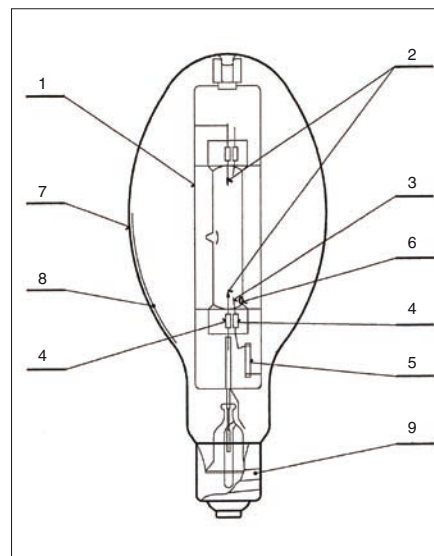
vyzařovaného světla. Lze k tomu využít tyto možnosti:

- Transformace bohatého ultrafialového záření vysokotlakého rtuťového výboje vhodným luminoforem na chybějící záření v červené oblasti spektra. Tento způsob se využívá u vysokotlakých rtuťových výbojek s luminoforem (spektrální složení světla viz obr. 6a, b).
- Kombinace modro-zeleného záření vysokotlakého rtuťového výboje se světlem žárovek. Tím lze dosáhnout, na úkor měrného výkonu, podstatného zvýšení obsahu červené složky. Tento způsob se využívá u směšových výbojek, u nichž se navíc využívá i záření luminoforu (spektrální složení světla viz obr. 6c).
- Přidání dalších vhodných svítících prvků do rtuťového výboje, jejichž záření vyplňuje mezery mezi viditelnými čárami rtuti. V šedesátých letech dvacátého století byl objeven nový způsob vnášení svítících přísad do rtuťového výboje v podobě příslušných halogenidů. Tento způsob se využívá u halogenidových výbojek.
- Náhrada rtuti jiným prvkem s vhodnějším spektrem ve viditelné oblasti. Zde se otevřelo široké pole působnosti zejména v souvislosti s vývojem dalších materiálů vhodných k výrobě hořáku výbojky (např. korundová keramika). Tento způsob je využit např. u vysokotlakých sodíkových výbojek a u halogenidových výbojek s hořákem z oxidu hlinitého.

Vysokotlakým sodíkovým výbojkám a halogenidovým výbojkám – s ohledem na jejich bouřlivý rozvoj a neustále rostoucí význam v osvětlovací technice – budou věnovány samostatné články v dalších číslech časopisu Světlo.

1. Vysokotlaké rtuťové výbojky

Vysokotlaké rtuťové výbojky jsou světelné zdroje, v nichž hlavní část světla



Obr. 2. Konstrukce vysokotlaké rtuťové výbojky
1 - nosný rámeček, 2 - hlavní elektrody, 3 - pomocná elektroda, 4 - molybdenová fólie, 5 - rezistor, 6 - rtuť, 7 - vnější baňka, 8 - vrstva luminoforu, 9 - patice

Tab. 1. Základní sortiment vysokotlakých rtuťových výbojek s luminoforem

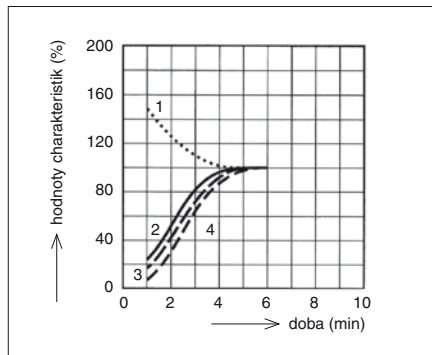
Jmenovitý příkon (W)	50	80	125	250	400	700	1 000
Jmenovitý světelný tok (lm)	1 800	3 800	6 300	13 000	22 000	38 500	58 500
Patice	E27	E27	E27	E40	E40	E40	E40
Provozní proud (A)	0,6	0,8	1,15	2,15	3,25	5,4	7,5
Měrný výkon (lm/W)	36	47,5	50,5	52	55	55	58,5
Příkon včetně předřadníku (W)	59	89	137	266	425	735	1 045

Tab. 2. Základní sortiment směšových výbojek

Jmenovitý příkon (W)	100	160	250	500
Jmenovitý světelný tok (lm)	1 100	3 200	5 500	13 000
Provozní proud (A)	0,5	0,7	1,2	2,3
Měrný výkon (lm/W)	11,0	20	22	26
Patice	E27	E27	E40	E40

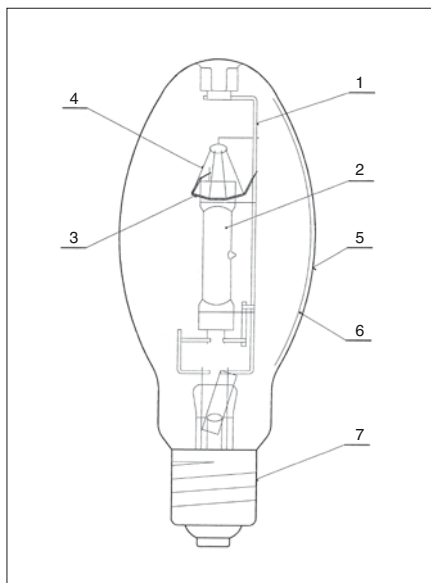
vzniká ve rtuťovém výboji při parciálním tlaku převyšujícím 100 kPa. Tato definice se vztahuje na výbojky s čirou vnější baňkou i s baňkou pokrytou luminoforem, v nichž část světla vzniká ve výboji a část ve vrstvě luminoforu vybuzeném ultrafialovým zářením výboje.

Konstrukce rtuťové výbojky je naznačena na obr. 2. Změněné podmínky výboje v porovnání se zářivkami, tj. podstatně vyšší pracovní tlaky a teploty a odtud vyplývající jiné geometrické a elektric-



Obr. 3. Náběhové charakteristiky vysokotlakých rtuťových výbojek
1 - proud výbojky, 2 - příkon, 3 - napětí výbojky, 4 - světelný tok

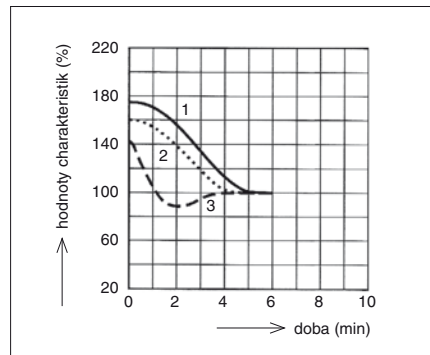
ké parametry, si vynutily i použití podstatně odolnějších materiálů na výrobu vlastní výbojové trubice – hořáku. Hořák je zhotoven z křemenného skla, do něhož jsou zataveny hlavní wolframové elektrody a zpravidla jedna pomocná elektroda. Na vakuově těsný zátav elektrod je využita molybdenová fólie. Elektroda je pokryta emisní hmotou na bázi



Obr. 4. Konstrukce směšové výbojky
1 - nosný rámeček, 2 - rtuťový hořák, 3 - wolframové vlákno, 4 - molybdenové háčky, 5 - vnější baňka, 6 - vrstva luminoforu, 7 - patice

oxidů barya a vápníku s přísadou oxidu yttritového, u starších konstrukcí s oxidem thoričitým. Do hořáku se dávkuje přesné množství rtuti a argon o tlaku asi 2,6 kPa. Argon usnadňuje zapálení výboje a zabraňuje zvýšenému odpařování emisní hmoty v počáteční fázi jeho rozvinutí, kdy hořákem prochází (při nízkém tlaku rtuťových par) proud převyšující jmenovitou hodnotu až o 50 %.

Po připojení napájecího napětí na výbojku nejdříve vzniká výboj mezi pomoc-



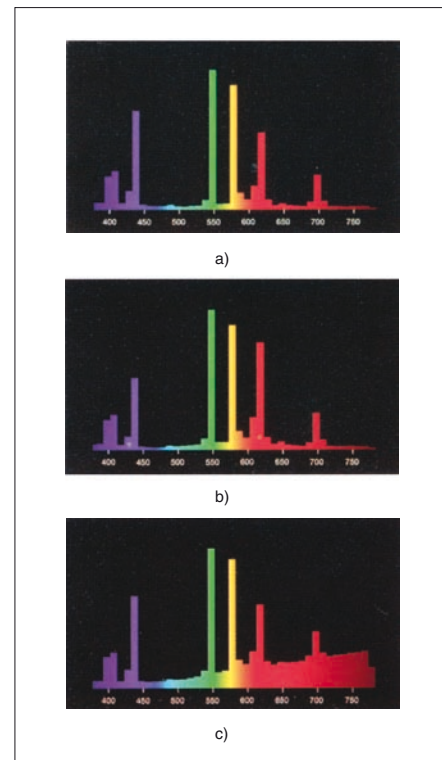
Obr. 5. Náběhové charakteristiky směšových výbojek
1 - příkon, 2 - proud výbojky, 3 - světelný tok

nou a nejbližší hlavní elektrodou. Tento výboj je stabilizován rezistorem, který je umístěn vně hořáku v baňce. Pomocný výboj způsobuje předběžnou ionizaci výbojového prostoru a usnadňuje rozvinutí výboje mezi hlavními elektrodami. K zapálení výboje tak postačuje s poměrně značnou rezervou napětí sítě a není zapotřebí používat přídavná zapalovací zařízení. Hořák je umístěn ve vnější baňce, která plní několik funkcí. Stabilizuje teplotní, a tedy i elektrický režim výbojky, a tím i její světelný tok, pohlcuje nežádoucí ultrafialové záření a funguje jako plocha k nanesení vrstvy luminoforu. Vnější baňka je zhotovena z měkkého sodno-vápenatého skla (u výbojek s příkonem do 125 W) anebo z tvrdého borito-křemičitého skla v případě příkonů vyšších než 125 W. Baňka je naplněna směsí argonu a dusíku o tlaku asi 50 kPa. Inertní atmosféra chrání nosný systém hořáku a především molybdenové fólie před oxidací. Na vnitřní stěnu baňky je nanese- na vrstva luminoforu, která transformuje část ultrafialového záření na viditelné světlo, zejména v červené oblasti spektra, a zajišťuje tak lepší podání barev. Luminofor, nejčastěji vanadičnan yttritový nebo vanadičnan-boritan-yttritový aktivovaný europiem, se na baňku nanáší suchou cestou v elektrostatickém poli. Výbojka je opatřena závitovou patičkou E27 nebo E40 podle příkonu.

Potřeba přesného dávkování rtuti do hořáku je dána výraznou závislostí tlaku nasycených rtuťových par na teplo-

tě. V tomto režimu i malé změny teploty stěn trubice vyvolávají značné změny tlaku, a tím i změny všech parametrů výbojky. S cílem snížit tuto závislost jsou vysokotlaké rtuťové výbojky plněny přesným množstvím rtuti tak, aby se v normálních pracovních podmínkách zcela odpařila, a výboj tak probíhal v režimu přehřátých par. Tlak je přitom dán množstvím dávkované rtuti a mění se úměrně k efektivní teplotě hořáku, tedy podstatně pomaleji než v oblasti nasycených par. Postupně vypařování rtuti v první fázi svícení výbojky po zapnutí má za následek odpovídající změny elektrických a světelných parametrů, takže ustálených hodnot se dosáhne po uplynutí asi 5 minut (obr. 3).

Vyráběný sortiment standardních vysokotlakých rtuťových výbojek stagnu-



Obr. 6. Poměrné spektrální složení světla vysokotlakých rtuťových a směšových výbojek
a) vysokotlaká rtuťová výbojka standard, b) vysokotlaká rtuťová výbojka se zlepšeným podáním barev, c) směšová výbojka

je a již delší dobu se ustálil na základní příkonové řadě 50, 80, 125, 250, 400, 700 a 1 000 W, vesměs v provedení s luminoforem. Základní parametry jsou uvedeny v tab. 1. Kromě toho se výbojky o příkonu 50 až 400 W vyrábějí i ve variantách označovaných „de luxe“, „super de luxe“ nebo „comfort“, které obsahují kvalitnější luminofor a vyznačují se vyšším světelným tokem (asi o 10 %) i větší červenou složkou při nižší náhradní teplotě chromatičnosti T_{cp} (2 900 až 3 500 K). Všeobecný index podání barev R_a těchto

typů výbojek dosahuje hodnoty 60. Výbojky (125 až 400 W) se vyskytují i v provedení s reflektorovou baňkou; jsou využívány v těžkých provozech se značným stupněm znečištění. Vysokotlaké rtuťové výbojky vyžadují pro svůj provoz tlumivky, jejichž spotřeba činí přibližně 10 až 45 W podle příkonu.

K výhodám vysokotlakých rtuťových výbojek patří:

- dlouhý život 12 000 až 16 000 h; přední výrobci zdůrazňují u vybraných typů nízký podíl vadných zdrojů po deklarováném životě (max. 10 % vadných), což usnadňuje obsluhu a údržbu osvětlovacích zařízení a umožňuje využívat skupinovou výměnu zdrojů,
- dobrá stabilita světelného toku v průběhu života – úbytek 20 % počáteční hodnoty (opět u výbojek od vybraných výrobců),
- libovolná poloha svícení,
- dobrá spolehlivost, daná jednoduchým schématem zapojení – pouze tlumivka bez zapalovače; z toho rovněž vyplývá jednodušší údržba osvětlovacích soustav,
- malý vliv okolní teploty na parametry výbojky,
- spolehlivý provoz i při nízkých teplotách (až do $-25\text{ }^{\circ}\text{C}$),
- nízká cena, vyplývající z vysokého stupně automatizace výroby a z jednodušší technologie výroby.

Nevýhody:

- poměrně malá účinnost v porovnání s moderními výbojovými zdroji, především u výbojek s malými příkony,
- horší podání barev, zejména u základního sortimentu,
- nemožnost – s ohledem na obsah rtuti – odkládat vyhořelé výbojky do komunálního odpadu,
- možnost výbojku po vypnutí zapnout až po jejím vychladnutí,
- materiálová náročnost, související s poměrně velkými rozměry svítícího povrchu výbojky,
- nevhodnost pro stmívání.

Výbojky s příkonem 125 W se vyrábějí rovněž v provedení bez luminofooru, s vnější baňkou z černého skla, které odfiltruje téměř veškeré viditelné záření a propouští pouze UV záření v oblasti 300 až 400 nm s maximem kolem 365 nm. Tyto výbojky nacházejí své uplatnění např. při luminiscenční analýze materiálů, v kriminalistice, při kontrole pravosti bankovek, v poštovním provozu, při vytváření různých světelných efektů v divadle aj. Schéma zapojení a elektrické parametry výbojky odpovídají výbojkám pro všeobecné osvětlení.

Kromě provedení s vnější baňkou nacházejí stále častější upotřebení vysokotlaké rtuťové výbojky bez vnější baňky používané jako zdroje UV záření pro

urychlení řady technologických procesů, např. při vytvrzování barev a laků ve výrobě CD, při moderních metodách lepení aj. Jde o poměrně velmi široký sortiment, a to jak z hlediska rozměrů (délka od několika centimetrů až po 1,5 m), tak i elektrických parametrů (hodnota příkonu od několika set wattů po více než 10 kW). Život těchto výbojek, s ohledem na jejich velké teplotní zatížení a provoz bez vnější baňky dosahuje hodnot v rozmezí 1 000 až 2 000 h podle výrobců a příkonu. Jsou vyráběny z běžného křemenného skla propouštějícího i krátkovlnné UV záření, které vyvolává vznik nežádoucího ozonu, i z křemenného skla speciálního složení, kdy se ozon netvoří. V prvním případě je nutné zajistit odsávání ozonu, což u moderních technologických zařízení je běžné. Výbojky pracují ve speciálních elektrických obvodech, které se vesměs odlišují od obvodů s předřadníky určenými pro běžný sortiment vysokotlakých rtuťových výbojek. Bližší informace o některých často používaných typech lze najít např. v [3].

Podíl vysokotlakých rtuťových výbojek určených pro všeobecné osvětlení na trhu soustavně klesá (na rozdíl od speciálních typů pro technologické účely zmiňované v předchozím odstavci, kde naopak dochází ke zřetelnému nárůstu); jsou postupně nahrazovány podstatně úspornějšími sodíkovými a halogenidovými výbojkami. Typům s nižšími příkony úspěšně konkurují i kompaktní zářivky s elektronickým předřadníkem a v současné době již i světelné diody. Rovněž vývoj nových vhodných svítidel stagnuje a předřadné obvody jsou zastoupeny pouze energeticky nevýhodnými tlumivkami, jejichž výroba v některých zemích bude právě z energetických důvodů ukončena. Vysokotlaké rtuťové výbojky se používají k venkovnímu osvětlení, osvětlení některých méně významných komunikací, dopravních značek, zvýšený podíl zeleného světla je činí vhodnými při osvětlení parkových ploch. V nových osvětlovacích soustavách jejich používání není žádoucí, a dokonce lze předpokládat – zejména ve vyspělých zemích – jejich omezení i legislativní cestou.

2. Směšové výbojky

Směšová výbojka je světelný zdroj, v jehož baňce jsou rtuťová výbojka a žárovkové vlákno zapojeny do série. Záření vlákna doplňuje spektrum rtuťového výboje zejména v červené oblasti, kde záření rtuti chybí. Konstrukce směšové výbojky je znázorněna na obr. 4. Do série s křemenným hořákem vysokotlaké rtuťové výbojky je zapojeno wolframové vlákno,

no, které současně plní i funkci předřadníku, takže není nutné používat tlumivku. Hořák, jehož konstrukce je obdobná jako u klasických vysokotlakých výbojek, i vlákno jsou namontovány do společné baňky s běžnou závitovou patičí. Baňka z měkkého skla je pokryta luminoforem (používá se vanadičnan yttritý aktivovaný europiem) a je plněna inertním plynem. Směšové výbojky s příkonem 160 W jsou k dispozici i ve verzi s reflektorovou baňkou. Výbojky jsou vyráběny na napájecí napětí 225 až 235 V.

Základní sortiment se ustálil na typech uvedených v tab. 2.

Výhody směšových výbojek:

- jednoduchý provoz nevyžadující použití předřadných zařízení,
 - výhodná náhrada žárovek s velkým příkonem 200, 300 a 500 W, při delším životě; v těchto případech se spoří elektrická energie, resp. roste osvětlenost na pracovní ploše,
 - příjemný teplý odstín světla s teplotou $T_{cp} = 3\ 300$ až $3\ 800\ \text{K}$,
 - dobré podání barev charakterizované $R_a = 60$ až 72 ,
 - $\cos \varphi \sim 1$,
 - téměř okamžité dosažení jmenovité hodnoty světelného toku (obr. 5).
- K nevýhodám především patří:
- nízký měrný výkon, který značně omezuje oblast použití,
 - nemožnost je stmívat.

Konstrukčně obdobně jako směšové výbojky jsou i výbojky používané k imitaci slunečního záření. Vnější baňka reflektorového typu je zhotovena ze speciální skloviny, která propouští převážně záření v UV-A a částečně i v UV-B oblasti spektra, vydávané rtuťovým hořákem, i infračervené záření wolframového vlákna, doplňujícího záření hořáku v oblasti IR-A. Tyto výbojky o příkonu 300 W – kromě použití ke kosmetickým účelům v domácnosti a fitcentrech – nacházejí rovněž uplatnění v technické oblasti při vytvrzování barev, laků a speciálních lepidel, při umělém stárnutí plastů, při zkouškách materiálů apod.

Podíl směšových výbojek v celkové spotřebě světelných zdrojů trvale klesá, v nových osvětlovacích soustavách nemají své opodstatnění.

Literatura:

- [1] HABEL, J. a kol.: *Světelná technika a osvětlování*. FCC Public, Praha, 1995.
- [2] Katalog firmy Osram 2008/2009.
- [3] S Lamp Panenské Břežany: Katalogový list Speciální vysokotlaké rtuťové výbojky – 2008.

Recenze: doc. Ing. Josef Linda, CSc. – Západočeská TU v Plzni

