

Světelné zdroje – vysokotlaké sodíkové výbojky

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

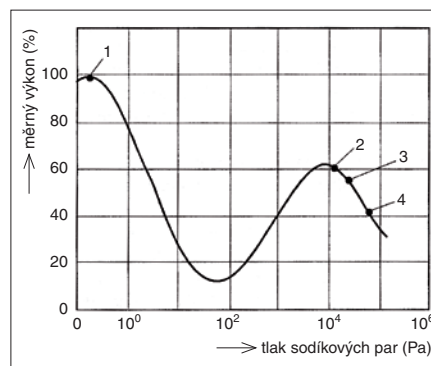
Vysokotlaké sodíkové výbojky jsou světelné zdroje, v nichž je světlo vyzařováno hlavně sodíkovými parami s provozním parciálním tlakem v rozmezí 3 až 60 kPa.

Výboj v parách sodíku je ze světelně-technického hlediska velmi zajímavý a již od třicátých let minulého století se využívá v nízkotlakých sodíkových výbojkách, v nichž tlak par sodíku při pracovní teplotě 270 °C dosahuje asi 0,5 Pa. Sodík se vyznačuje intenzivním rezonančním dubletem ve žluté části spektra s vlnovou délkou 589,0/589,6 nm, která se blíží maximu spektrální citlivosti lidského oka. Měrný výkon těchto výbojek od špičkových výrobců v současné době dosahuje až 200 lm/W. Přes své velmi špatné podání barev, kdy všechny barvy osvětlovaných předmětů, kromě oranžové, se jeví jako barvy šedé různé sytosti, nacházejí své použití, zejména při osvětlování dálnic. Tyto výbojky jsou nyní nejučinnější umělé světelné zdroje vůbec.

Při zvyšování tlaku par sodíku světelná účinnost klesá, prochází minimem a dále opět roste, takže při tlaku přibližně 10 kPa dosahuje druhého maxima (obr. 1) a v závislosti na dalších parametrech (složení amalgámu sodíku, druh, tlak plnicího plynu, geometrické parametry hořáku, výkon výbojky a kvalita použitého materiálu, z něhož je hořák vyroben apod.) může dosáhnout až 150 lm/W. Při rostoucím tlaku par sodíku se výrazně rozšiřují spektrální čáry a vzniká silné spojité záření při současném růstu absorpce rezonančního záření. S rostoucím tlakem je stále zřetelnější asymetrie rozšiřování rezonančních čar k oběma koncům spektra. Spektrum záření je bohatší, což má za následek i lepší podání barev osvětlovaných předmětů. S využitím výboje v parách sodíku lze tedy získat světelné zdroje, jejichž kvalita světla se pohybuje ve velmi širokém rozmezí, od nízkotlaké výbojky charakterizované $R_a = 0$ až po speciální typy vysokotlakých výbojek s $R_a > 85$.

Poznámka: Klasické vysokotlaké sodíkové výbojky se zlepšeným podáním barev, uváděné v textu obr. 1, jsou přes jejich relativní novost již postupně nahrazovány halogenidovými výbojkami s keramickým hořákem [1], které mají podstatně vyšší měrný výkon při stejných, popř. dokonce lepších vlastnostech z hlediska podání barev.

Zvyšování tlaku sodíkových par předpokládá velkou koncentraci výkonu, a tedy i růst pracovní teploty výbojové trubice na hodnoty, při nichž se hlinito-boritá skla, odolná proti působení sodíku a využívaná při výrobě nízkotlakých sodíkových výbojek, stávají nepoužitelnými. Vzhledem k nedostatečné odolnos-



Obr. 1. Závislost měrného výkonu na tlaku sodíkových par

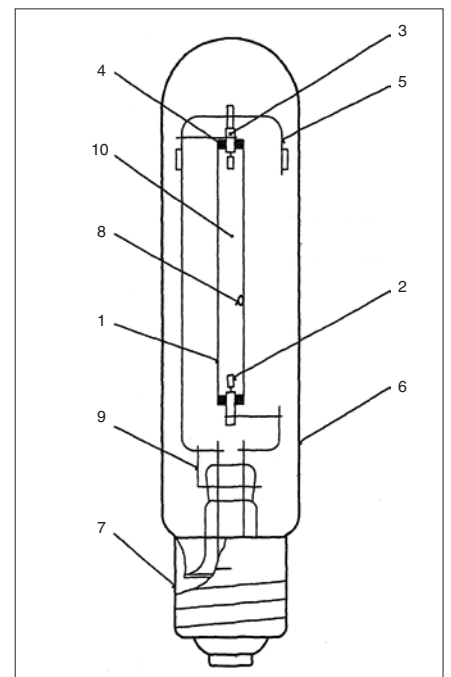
1 – nízkotlaké sodíkové výbojky $R_a \approx 0$, 2 – vysokotlaké sodíkové výbojky standardní $R_a \approx 25$, 3 – vysokotlaké sodíkové výbojky se zlepšeným podáním barev $R_a \approx 60$, 4 – vysokotlaké sodíkové výbojky s vynikajícím podáním barev $R_a > 85$

ti proti působení sodíku nelze použít ani teplotně odolnější křemenné sklo. Vlastnosti vysokotlakého sodíkového výboje mohly být plně využity v praxi teprve v polovině šedesátých let minulého století, kdy americká firma General Electric vyvinula průsvitný polykrystalický korund (Al_2O_3) s obchodním názvem Lucalox. Jeho vynikající optické, mechanické a fyzikálně-chemické vlastnosti vedly k výrazné změně sortimentu vysokotlakých sodíkových výbojek ve smyslu jeho významného rozšíření a dalšího zlepšení užitečných vlastností těchto zdrojů. Zásadní změna materiálu hořáku si vynutila použití nové technologie vakuově těsného uzavření hořáku, dávkování svíticích příměsí, čerpání hořáků, jakož i využití nových materiálů na výrobu systému elektrod.

Konstrukce vysokotlaké sodíkové výbojky je naznačena na obr. 2.

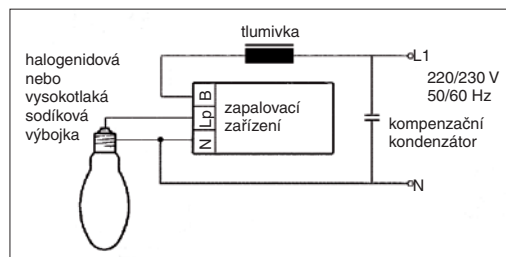
Hořák je zhotoven z průsvitného korundu (jsou publikovány i práce popisující použití průzračného korundu „vypěstovaného“ v podobě monokrystalu s ještě větší propustností). Trubice je na obou

koncích uzavřena proudovými průchodkami různého provedení (např. hluboký kalíšek, jeden nebo několik drátů), které jsou ke korundové trubici připájeny speciální skelnou pájkou. Kvalita pájky rozhodujícím způsobem ovlivňuje život výbojky. Místo spoje keramika-kov musí odolávat dlouhodobému působení sodíkových a rtuťových par při vysokých pracovních teplotách a velkým teplotním nárazům při zapínání a vypínání výbojky. Materiál průchodek rovněž musí odpovídat součiniteli teplotní roztažnosti korundu. Zatím se ukazuje, že jediný kov, který vyhovuje všem uvedeným požadavkům, je niob. K niobovému dílu je připájena nebo přivařena wolframová elektroda, na níž je nanesena emisní hmota např. na bázi oxidu barnatého s příměsí wolframového prášku. Polohou elektrody v hořáku lze regulovat teplotu prostoru za elektrodami; tato teplota určuje tlak par sodíku v hořáku, a tím i základní elektrické a světelné parametry výbojky. Vzhledem k tomu, že výboj pracuje v režimu nasycených par, je teplota nej-



Obr. 2. Konstrukce vysokotlaké sodíkové výbojky 1 – korundová trubice, 2 – elektroda, 3 – niobová průchodka, 4 – pájecí kroužek, 5 – nosný rámeček, 6 – vnější baňka, 7 – patice, 8 – amalgám sodíku, 9 – getr, 10 – plynná náplň

chladnějšího místa hořáku velmi důležitá. Rtuť se sodíkem se do hořáku dávkuje v podobě amalgámu příslušného složení, které se může u každého typu výbojky lišit. Hořák se plní inertním plynem, jehož funkce je stejná jako u jiných vysokotlakých výbojek, tj. usnadňuje zapálení výboje a zabraňuje zvýšenému odpařování emisní hmoty v počáteční fázi jeho rozví-



Obr. 3. Schéma zapojení halogenidové a vysokotlaké sodíkové výbojky

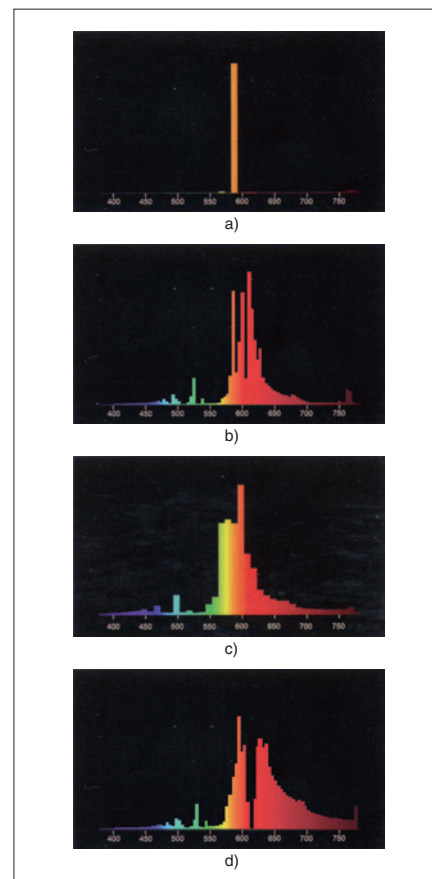
nutí, kdy výbojkou prochází proud převyšující jmenovitou hodnotu až o 40 %. Z hlediska účinnosti je nevhodnější xenon, protože se v porovnání s ostatními vzácnými plyny vyznačuje nejmenší tepelnou vodivostí, a tudíž zajišťuje nejvyšší měrný výkon výbojky. Hořák je vložen do vnější baňky vyčerpané na vysoké vakuum, které snižuje tepelné ztráty hořáku a současně chrání niobové průchodky před oxidací. Pro udržení vysokého vakua po celý život výbojky je do baňky umístěn vhodný getr (používá se odpařitelný baryový getr anebo getr na bázi slitiny Zr + Al aj.). Výbojka je opatřena běžnou závitovou patičí s keramickým kamenem nebo bajonetovou, popř. kolíkovou patičí pod-

le konkrétního typu. Výbojka má díky své náplni a konstrukci hořáku vyšší zápalné napětí, takže k jejímu zapálení je nutné používat zapalovací zařízení generující vysokonapěťový impuls s amplitudou 2,8 až 4,5 kV. Výjimkou je tzv. Penningova směs (Ne + 0,5 % Ar), která umožňuje zapálit výboj pouze působením síťového napětí a bez zapalovače, avšak měrný výkon je asi o 25 % nižší než při použití xenonu. Tato náplň našla své

použití v sodíkových výbojkách, které jsou určeny jako přímá náhrada rtuťových výbojek v již existujících starších instalacích bez nutnosti použít zapalovač a bez výměny tlumivky. Taková náhrada spoří až 15 % elektrické energie a zároveň vede i k 20% až 35% zvýšení hladiny osvětlenosti bez velkých investic. Jde však o výběhový typ, jenž není vhodný pro použití v nových osvětlovacích soustavách.

Tlak xenonu, nejpoužívanějšího plnicího plynu, rovněž ovlivňuje měrný výkon výbojky. Při jeho růstu z 1,3 na 28 kPa měrný výkon roste asi o 25 %. Je však třeba počítat s mírným zhoršením podání barev (snížení R_a o několik jednotek) a s vyšším zápalným napětím. V těchto případech se používají speciální zapalovací pomůcky (např. ve podobě wolframového vodiče umístěného v bezprostřední blízkosti podél hořáku anebo přímo nasintrovaného na hořák již při výrobě korundové trubičky) a výrobci jsou obvykle vyžadováni konkrétní typy zapalovacích zařízení s dostatečně vysokým zapalovacím impulzem. V souvislosti se zpřísněnými ekologickými požadavky je i u sodíkových výbojek vy-

výjena snaha zmenšit množství rtuti v hořáku. Přestože byl tento krok zpočátku spojen s určitými problémy se spolehlivostí zapálení výboje a se stabilitou parametrů výbojek během svícení, v současné době se již objevily vysokotlaké sodíkové výbojky od mnoha výrobců bez rtuti a lze očekávat, že se jejich podíl bude postupně mírně zvětšovat, i když za cenu menšího



Obr. 4. Spektrální složení světla vysokotlakých sodíkových výbojek

- a) nízkotlaká sodíková výbojka $R_a = 0$,
 b) vysokotlaká sodíková výbojka standardní $R_a \approx 25$, $T_{cp} = 2\,000\text{ K}$,
 c) vysokotlaká sodíková výbojka se zvýšeným měrným výkonem $R_a < 25$, $T_{cp} = 2\,000\text{ K}$,
 d) vysokotlaká sodíková výbojka se zlepšeným podáním barev $R_a = 60$, $T_{cp} 2\,150\text{ K}$

měrného výkonu (asi o 12 až 17 % podle typu výbojky).

Vysokotlaké sodíkové výbojky je nutné provozovat v obvodu s tlumivkou a vhodným zapalovacím zařízením, které vyhovuje mezinárodním normám IEC anebo s předepsaným elektronickým předřadníkem. V současné době jsou k dispozici elektronické předřadníky pro celý jejich sortiment. Schéma nejpoužívanějšího zapojení je uvedeno na obr. 3; je shodné se zapojením halogenidových výbojek. Je však třeba dbát na výběr správné tlumivky a správného typu zapalovacího zařízení předepsaných výrobcem pro konkrétní typ výbojky.

Tab. 1. Současný sortiment vysokotlakých sodíkových výbojek

Provedení výbojky	Jmenovité příkony (W)	Měrný výkon (lm/W)	Patice
standardní s eliptickou baňkou s rozptylnou vrstvou a vnitřním startérem	50, 70	70 až 84	E27
standardní s čírou válcovou baňkou	50, 70, 100, 150, 250, 400, 1 000	70 až 130	E27 E40
standardní s eliptickou baňkou s rozptylnou vrstvou	50, 70, 150, 250, 400, 1 000	70 až 130	E27 E40
se zvýšeným tlakem xenonu, s čírou válcovou baňkou	50, 70, 100, 150, 250, 400, 1 000	88 až 150	E27 E40
dvoupaticová s křemennou vnější baňkou	70, 150, 250, 400	97 až 100 102 až 120	RX7s, RX7s-24 Fc2
s Penningovou směsí, s eliptickou baňkou s rozptylnou vrstvou	110, 210, 350	73 až 97	E27 E40
se zlepšeným podáním barev $R_a > 60$, s čírou válcovou baňkou	150, 250, 400	87 až 95	E40
se zlepšeným podáním barev $R_a > 60$, s eliptickou baňkou s rozptylnou vrstvou	150, 250, 400	83 až 92,5	E40
s vynikajícím podáním barev $R_a > 80$, s křemennou válcovou vnější baňkou	50, 100	48	GX12-1
s vynikajícím podáním barev $R_a > 80$, s válcovou vnější baňkou	35, 50, 100	37 až 50	PG12-1

Při dodržování provozních podmínek (povolené kolísání napájecího napětí menší než 5 %, správně dimenzované tlumivky) dosahuje život výbojek předních výrobců 16 000 až 30 000 h. Ukončení života je dáno postupným nárůstem napětí na výbojce. Při překročení určitého poměru tohoto napětí vzhledem k napájecímu napětí sítě výboj zhasne. Po vychladnutí výbojka znovu zapálí a celý cyklus se opakuje. Periodické zhasínání výbojek je příznakem ukončení života a výbojku je nutné vyměnit. Přední výrobci však tento nežádoucí jev (tzv. cyklování) již odstranili vhodným zásahem do konstrukce hořáku. Rychlá výměna vadné výbojky je žádoucí i v případech, kdy nejsou použita zapalovací zařízení s odpojovačem, protože běžné zapalovače zůstávají při nefunkční výbojce v trvalém provozu, zkracují svůj život, namáhají izolaci přípojovacích vodičů a mohou být zdrojem rádiových poruch. V některých náročnějších aplikacích je důležité, aby se při krátkodobém výpadku napájení po připojení napětí výbojka co nejrychleji rozsvítila. Pro tyto účely je nutné použít dvoupatkové výbojky a speciální zapalovací zařízení se zvýšeným napětím, umožňujícím zapálení výbojky i v horkém stavu.

Sortiment vysokotlakých sodíkových výbojek doznal v posledních několika letech – zejména v souvislosti s intenzivním rozvojem halogenidových výbojek s kera-

mickým hořákem – některých změn, zejména ve směru omezení typů s vysokým indexem podání barev, jejichž parametry jsou již překonány a jejich další výroba začíná být neúčelná. Přesto jsou v katalogích předních firem některé typy ještě uváděny.

Základní sortiment vysokotlakých sodíkových výbojek lze rozdělit do několika základních skupin (tab. 1).

Kromě uvedeného základního sortimentu určeného pro všeobecné osvětlení se vyrábějí i některé další typy, např. výbojky o příkonu 400 a 600 W s upraveným zářením v modré části spektra, určené k osvětlení skleníků s intenzivní celoroční rostlinnou výrobou. Na trhu se rovněž objevily výbojky se dvěma paralelně zapojenými hořáky ve společné baňce. V provozu je vždy pouze jeden hořák, druhý se rozsvítí např. při krátkodobém výpadku sítě anebo při závadě prvního. Zmíněné řešení je vhodné zejména v obtížně přístupných svítidlech, protože život těchto výbojek může teoreticky dosáhnout až dvojnásobné hodnoty výbojek s jedním hořákem.

K hlavním přednostem vysokotlakých sodíkových výbojek patří:

- vysoký měrný výkon při přijatelném podání barev (standardní sortiment má R_a 20 až 25),
- dlouhý život dosahující až 30 tisíc hodin při dobré stabilitě světelného toku během života,

- spolehlivý provoz a snadná údržba,
- zvládnutá technologie hromadné výroby a z toho vyplývající přijatelná cena,
- kompaktní rozměry výbojky i hořáku, umožňující konstruovat materiálově úsporná svítidla s dobrou účinností,
- značný počet výrobců vytvářejících žádoucí konkurenci na trhu, což při vysokém stupni standardizace základního sortimentu vytváří silný tlak na jejich cenu.

Díky jejich příjemné teplé barvě světla v základním sortimentu ($T_{cp} = 2\,000$ až $2\,500$ K) a vysoké účinnosti zůstává hlavní oblastí použití popisovaných výbojek uliční světlení, osvětlení tunelů, náměstí, nádražních hal, průmyslových objektů, velkých prostranství, letišť, osvětlení fasád atd., kde nejsou kladeny příliš velké požadavky na jakost podání barev. Okruh jejich použití se však v souvislosti s bouřlivým rozvojem halogenidových výbojek s keramickým hořákem poněkud zužuje a očekává se, že budou částečně vytlačeny z veřejného osvětlení zejména v historických centrech měst.

Literatura:

- [1] DVOŘÁČEK, V.: *Světelné zdroje – halogenidové výbojky* (část 2). Světlo, 2009, roč. 12, č. 2, s. 48–49.
- [2] Katalog firmy Osram 2008/2009.
- [3] Katalog firmy Philips.

Odměny kvalifikovaných projektantů v roce 2009

Mgr. Ing. Milan Cikánek, analytik IC ČKAIT

Jednou z cest ke snížení nákladů a růstu efektivity, tedy i dráhou k překonání krize, jsou šikovně nastavené odměny nej kvalifikovanějším, tedy tak, aby systémem přinesl produktivitu podniku a podnikateli zisk. Zejména nyní, v nebezpečné fázi vývoje ekonomiky musí manažer a majitel firmy zacházet s kvalifikovanými odborníky v týmu „v rukavičkách“, neboť znalosti jsou nenahraditelné a mohou poskytnout konkurenční výhodu. Šéf udělá dobře, bude-li věnovat expertům více pozornosti než spokojenosti akcionářů. Zájemem vlastníků jsou dividendy. Ale šéfové musí dbát především o ty ze svých lidí, v nichž je náboj slibující získat

výhodu, schopnost najít prostředek k vyproštění se z nesnází. „Pokud se snažíš uprostřed potíží vždy najít výhodu, můžeš se dostat z nesnází,“ sliboval filozof Sun-c' ve svém spisku o válce, jejíž nevypočitatelný průběh lze jistě ke krizi přirovnat. Sun-c' pojednával o jednání strážníka v době tísně několik století před novým letopočtem.

Při omezování výroby a částečné nezaměstnanosti nelze jinak než propouštět, vyřazování musí být ale nadbytečné. Nouzi lze tedy využít ke zlepšení struktury zaměstnanců. Nechtě zůstanou ti, kteří mají předpoklady dosáhnout v krušných dobách výsledku. K výběru potřebných

konstruktérů elektrotechnických zařízení a systémů není jistě třeba najímat personální agentury. V současnosti, která se mění po dnech, je nutné selským rozumem obhlédnout situaci, analyzovat ji, shledat nutné omezení produkce a pak se soustředit na ty, co zůstanou k plnění plánu za obtížnější doby. S klíčovými zaměstnanci je nutné projednat jejich využití výhodné pro majitele. Experti se budou jednáním cítit preferováni, tedy z hlediska majitele jsou jednáním poněkud stabilizovanějšími kádry. A protože o peníze jde až v první řadě, je nutné odborníkovi nejen zalichotit rozhovorem, ale vhodným platovým ohodnocením.

^{*)} Kód profese KZAM-R – 2143 je uveden v šetřeních firmy Trexima s označením „2143, projektanti elektrotechnických zařízení, elektroinženýři“. Číslování je ve sdělení Českého statistického úřadu č. 492/2003 Sb. z 18. 12. 2003.