

## 6. SVĚTELNÉ ZDROJE

Zdroje, vysílající záření, které je určeno pro přeměnu ve světlo, se nazývají světelné zdroje. Mohou být buď **přírodní** (slunce, blesk apod.) nebo **umělé** (např. svíčka, plynová lampa, žárovka, výbojka).

Předmět, či jeho povrch vyzařující viditelné záření, jež vzniklo v něm samém, je **p r v o t n í** světelný zdroj. **D r u h o t n ý** světelný zdroj je pak předmět, nebo jeho povrch, který pouze odráží, popřípadě propouští světelné paprsky na něj dopadající. Světelné zdroje jsou základním prvkem osvětlovacích soustav.

Z umělých zdrojů mají pro osvětlování největší význam zdroje napájené elektrickou energií, tedy **e l e k t r i c k é** světelné zdroje.

### 6.1 Druhy elektrických světelných zdrojů

Podle vzniku světla se elektrické světelné zdroje dělí na zdroje:

- 1) teplotní (např. žárovky),
- 2) výbojové
  - a) nízkotlaké (např. zářivky, nízkotlaké sodíkové výbojky)
  - b) vysokotlaké (např. vysokotlaké rtuťové či sodíkové výbojky).

Vznik světla je podmíněn vybuzením, popřípadě až ionizací elementárních částic. U teplotních zdrojů dochází průchodem el. proudu k zahřátí vodivé pevné látky (kovu) na teplotu, při které potřebnou budící energii vytváří tepelný pohyb. Tato energie se předává částicím, které jsou schopny vybuzení či ionizace a které se pak stávají elementárními zdroji světla - látka (např. vlákno žárovky) vysílá optické záření. Spektrum teplotního záření je spojitě.

Výbojové světelné zdroje (výbojky) jsou založeny na principu elektrických výbojů v plynech a parách různých kovů a využívají přeměny el. energie na kinetickou energii elektronů, pohybujících se rychle mezi elektrodami. Při srážkách elektronů s atomy plynů kovových par se jejich energie mění na optické záření. Spektrum záření výbojových zdrojů je čárové. Rozložení spektrálních čar závisí na druhu výboje i na složení a tlaku plynné náplně. U řady výbojových zdrojů (např. u zářivek) se využívá luminiscence pevných látek a proto bývají tyto zdroje označovány jako luminiscenční zdroje.

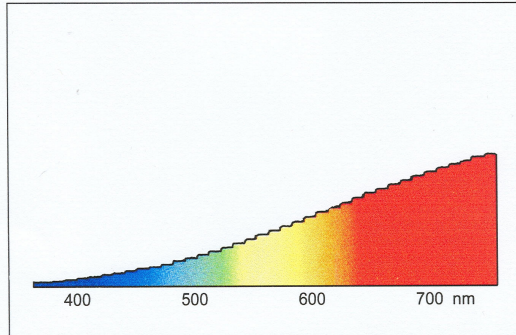
**Luminiscence** pevných látek je jev, při němž se z atomů, molekul či krystalů látky ve formě fotonů vyzařuje energie uvolněná při samovolném návratu elektronů do základní polohy z nestabilního vybuzeného stavu, kam se dostaly určitým vnějším vlivem. Je-li zmíněné vybuzení vyvoláno elektrickým polem, hovoří se o **elektroluminiscenci**, na jejímž principu jsou založeny svítící kondenzátory - elektroluminiscenční panely. Pokud je vybuzení způsobeno dopadajícím zářením, jde o **fotoluminiscenci**.

Např. u zářivek se převážně ultrafialové záření nízkotlakého výboje, probíhajícího uvnitř trubice ve rtuťových parách, transformuje v luminiscenční vrstvě nanesené na vnitřní stěně trubice na viditelné záření. Vzhledem k tomu, že elektrony mohou obíhat jen ve zcela určitých drahách, kterým odpovídá určitá energetická hladina, může mít foton vyzářený při luminiscenci též jen určité hodnoty energie. Luminiscenční záření obsahuje proto záření jen některých vlnových délek. Spektrum luminiscenčního záření je tedy čárové.

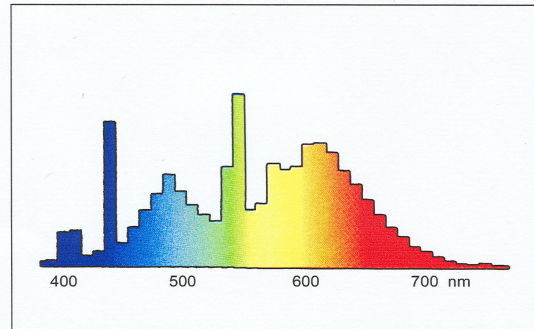
Příklady poměrného spektrálního složení záření hlavních představitelů světelných zdrojů užívaných pro všeobecné osvětlování jsou nakresleny na další stránce textu. Na svislou osu diagramů se obvykle vynášejí hodnoty poměrného zářivého toku ve watttech připadajících na oblast spektra o šířce 5 nm a tyto hodnoty jsou vztaženy na světelný tok  $10^6 \text{ lm}$ .

# Příklady poměrného rozložení zářivého toku v oblasti spektra viditelného záření pro vybrané druhy světelných zdrojů (na svislé ose grafů jsou vyneseny poměrné zářivé toky $[W / 5 \text{ nm} / 10^6 \text{ lm}]$ )

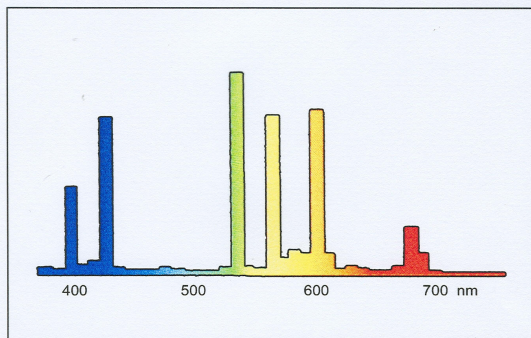
Barevné spektrum klasické žárovky  
CLASSIC



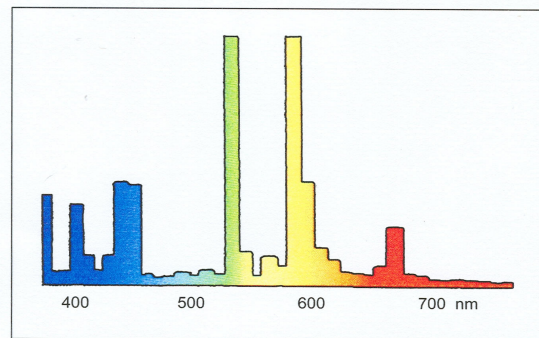
Barevné spektrum nízkotlaké rtuťové výbojky (zářivky)  
LUMILUX® DE LUXE 940



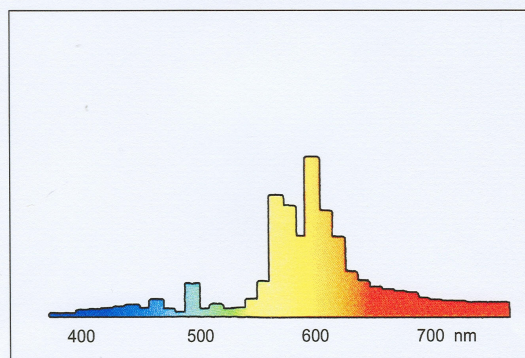
Barevné spektrum vysokotlaké rtuťové výbojky  
HQL® DE LUXE



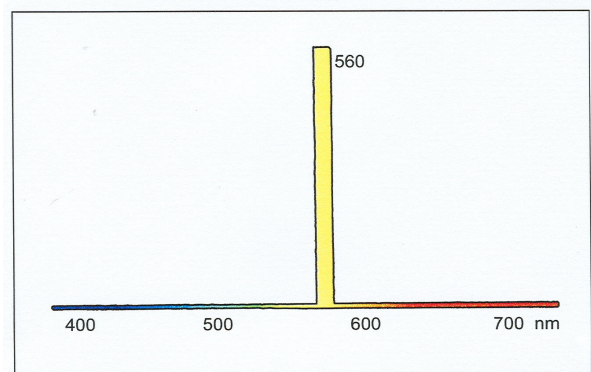
Barevné spektrum vysokotlaké halogenidové výbojky  
HQI® .../N



Barevné spektrum vysokotlaké sodíkové výbojky  
VIALOX®



Barevné spektrum nízkotlaké sodíkové výbojky  
SOX



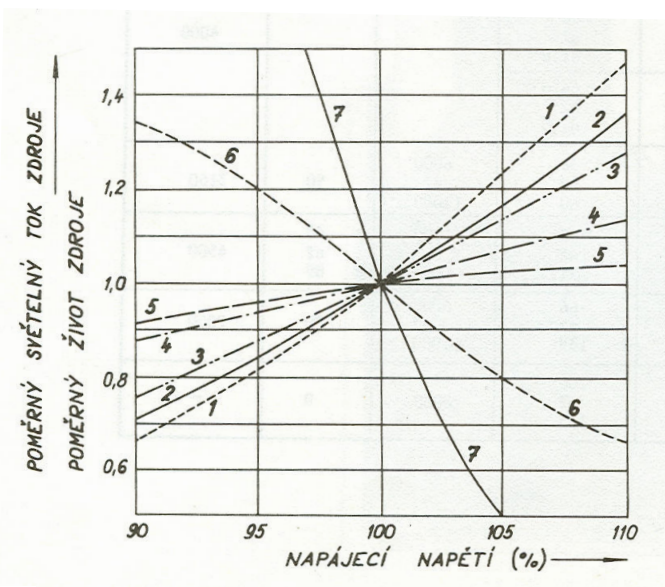
## 6.2 Ukazatele kvality světelných zdrojů

Jakost světelných zdrojů se posuzuje podle řady parametrů, k nimž náleží zejména :

- 1) elektrický příkon  $P_p$  (W),
- 2) vyzařovaný světelný tok ( $lm$ ),
- 3) měrný světelný výkon zdroje  $\eta_E = \frac{\Phi}{P_p}$  ( $lm \cdot W^{-1}$ ),
- 4) doba života  $T$  (h) zdroje,
- 5) barevná jakost (chromatičnost) vyzařovaného světla vyjádřená např. trichromatickými souřadnicemi  $x, y$  nebo teplotou chromatičnosti  $T_c$  (K), resp. náhradní teplotou chromatičnosti  $T_n$  (K),
- 6) kvalita vjemu barev předmětů ve světle daného zdroje charakterizovaná indexem podání barev  $R_a$ ,
- 7) stabilita světelného toku,
- 8) rozdělení světelného toku do prostoru,
- 9) provozní vlastnosti, např. závislost světelného toku na napájecím napětí, popřípadě na teplotě okolí, dále rychlost ustálení jmenovitých parametrů po zapálení výbojového zdroje, způsob zapalování výboje, dovolená pracovní polohy apod.,
- 10) geometrické rozměry, tvar a hmotnost,
- 11) výše pořizovacích a provozních nákladů, které hrají důležitou roli při hodnocení efektivnosti zdrojů.

Přehled o nejdůležitějších technických parametrech světelných zdrojů nejpoužívanějších pro všeobecné osvětlování poskytuje tabulka 6-1.

Porovnání poměrných změn světelného toku a života zdroje v závislosti na odchylkách napájecího napětí  $U$  od jmenovité hodnoty 240 V u některých zdrojů umožňuje obr.6-1.



Obr.6 - 1

Informativní průběhy změn poměrného světelného toku a života některých zdrojů v závislosti na napájecím napětí.

- 1 - poměrný světelný tok klasických žárovek
- 2-3 oblast změn poměrného toku výbojek vysokotlakých rtuťových a sodíkových, výbojek halogenidových a halogenových žárovek;
- 4 - poměrný tok zářivek;
- 5 - poměrný tok nízkotlakých sodíkových výbojek;
- 6 - poměrný život zářivek;
- 7 - poměrný život klasických žárovek

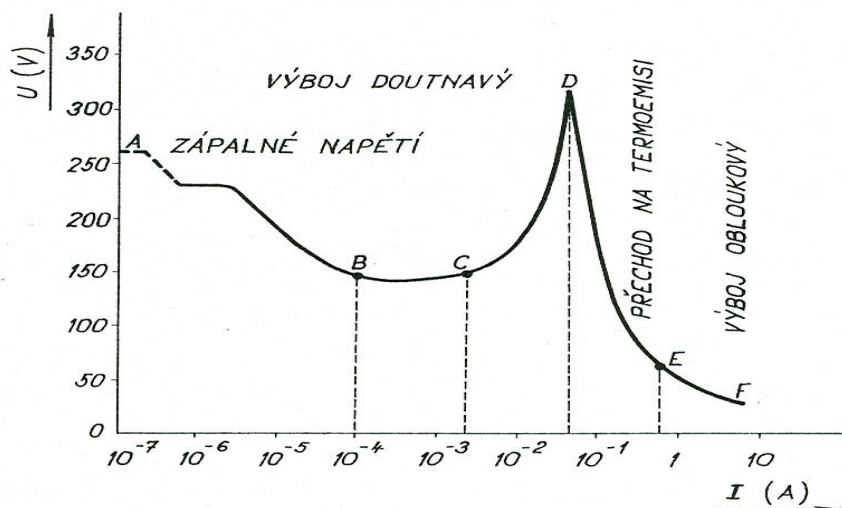


Tab. 6 – 1 Přehled hlavních ukazatelů jakosti základních typů světelných zdrojů

světelný zdroj		příkon (W)	měrný výkon ( $\text{l.m.W}^{-1}$ )	život (h)	index podání barev $R_a$	teplota chromatičnosti (K)
žárovka	klasická	25 až 300	9,2 až 17	1000	100	2500 až 3000
		500 až 2000	16,8 až 20			
	halogenová	100 až 300	16,5 až 18,7	2000	100	2900 až 3000
		500 až 2000	19,8 až 24,2			
zářivka o průměru (mm)	38	20 až 65	60 až 80	8000 až 16000	51 až 98	2900 až 6500
	26	15 až 58	60 až 90			
zářivka jednopaticová s předřadníkem	kompaktní s předřadníkem patice E27		7 až 25	45 až 65	5000 až 8000	3300  2700 až 4000
	se zapalova- vačem výbojové trubičky	dvě	5 až 11	50 až 82		
			10 až 26	60 až 69		
	bez zapalova- če výbojové trubičky	dvě	5 až 11  18 až 40	50 až 81,8  66,6 až 87,5		
rtuťová vysokotlaká výbojka	s lumi- noforem	50 až 400	36 až 60	6000 až 12000	50	3150
	haloge- nidová	250 až 3500	68 až 94,5	1000 až 8000	60 až 89	4500
sodíková výbojka	vysoko- tlaká	50 až 1000	66 až 139	6000 až 20000	20	2050
	nízko- tlaká	18 až 180	100 až 183	8000	0	

### 6.3 Stabilizace výboje výbojových zdrojů

Druh elektrického výboje u výbojových zdrojů je závislý nejen na druhu plynu a jeho tlaku, ale také na tom, zda jsou elektrody žhavené nebo studené, dále na parametrech napájecího obvodu a na dějích probíhajících na katodě. Je-li výboj podmíněn pouze vnějšími faktory, nazývá se nesamostatným. Naproti tomu samostatný výboj se udržuje vnitřními procesy vyvolanými elektrickým polem. Pro osvětlovací techniku mají význam především samostatné výboje v ohraničených prostorech, a to buď doutnavé, při nichž nad termoemisí převažuje sekundární emise, tj. emise způsobená dopadajícími ionty, nebo obloukové, kdy nad sekundární emisí převažuje termoemise a emise v silném elektrickém poli. Na obr.6-2 je naznačen průběh katodového úbytku v závislosti na proudu u výbojky s nežhavenými elektrodami. Je vidět, že v oblasti mezi body B a C je plně vyvinut doutnavý výboj a katodový úbytek má přibližně konstantní hodnotu. Obloukový výboj se vyznačuje velmi nízkým katodovým úbytkem a podstatně větším proudem výbojky. Výše zápalného napětí (bod A) závisí na druhu, tlaku a teplotě plynu, na tvaru a velikosti elektrod a na rozměrech výbojové trubice. Zápalné napětí roste s délkou trubice a se zmenšujícím se jejím průřezem.



Obr. 6 – 2

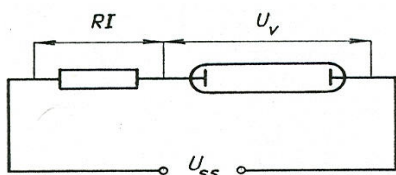
Po zapálení výboje se proud výbojky rychle zvětšuje vlivem nárazové ionizace, která se lavinovitě šíří a napětí na elektrodách polfebne k udržení výboje v trubici klesá. V ustáleném stavu je tedy pracovní napětí proti zápalnému nižší. To je nevýhodné nejen provozně, neboť vznikající napěťový rozdíl je třeba srazit na předřadníku, ale znamená to i snížení měrného výkonu zdroje. Proto se zápalné napětí různými prostředky snižuje. Např. přidáním malého množství inertního plynu (vzácné plyny mají nejnižší zápalné napětí) k náplni trubice, umístěním pomocné elektrody spojené s jednou elektrodou do blízkosti druhé hlavní elektrody, snížením výstupní práce potřebné k uvolnění elektronu z povrchu katody jejím předehřátím či trvalým žhavením apod.

Statická voltampérová charakteristika elektrického výboje v plynech a parách má záporný charakter ( $\frac{dU}{dI} < 0$ ), tzn., že s poklesem napětí na elektrodách vzrůstá proud procházející trubicí.

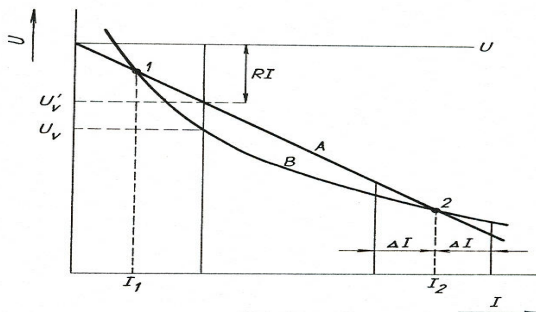
Při přímém připojení výbojky ke zdroji napětí by po zapálení výboje proud vzrostl z počáteční nulové hodnoty až téměř na hodnotu zkratového proudu, což by vedlo ke zničení výbojové trubice. Proto je nutno u výbojek omezit vzrůst proudu přidavným stabilizačním zařízením (předřadníkem) umístěným vně trubice, jehož voltampérová charakteristika má kladný charakter ( $\frac{dU}{dI} > 0$ ).

U výbojky připojené na stejnosměrné napětí se jako předřadník použije činného odporu. Do obvodu výbojek napájených střídavým napětím se do série s výbojkou zařazuje předřadník většinou induktivní, popřípadě kapacitní. Podle Kirchhoffova zákona se rozdělí napětí  $U$  zdroje na napětí  $U_v$  potřebné k udržení výboje ve výbojce a na napětí  $U_s$  na stabilizačním prvku ( $U = U_v + U_s$ ). Velikost stabilizačního prvku se volí tak, aby při daném proudu výbojky vzniklo na předřadníku napětí  $U_s = U - U_v$ .

Napětí  $U_v$  na svorkách výbojky napájené stejnosměrným napětím  $U$  a stabilizované činným odporem  $R$  podle schématu na obr.6-3 se mění lineárně s proudem  $I$  protékajícím obvodem ( $U_v = U - U_s = U - R \cdot I$ ), podle přímky A v obr.6-4. Přímka A protíná charakteristiku výboje (křivka B) ve dvou bodech (označených 1,2), ve kterých je napětí  $U_v$  na svorkách výbojky rovno napětí  $U_v$  potřebnému k udržení výboje. Bodem stabilního hoření výboje je však pouze bod 2.



Obr. 6-3



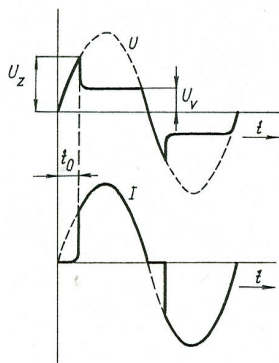
Obr. 6-4

Při stabilizaci činným odporem a střídavém napájecím napětím je situace v zásadě obdobná jako při stejnosměrném napájecím napětím, ale výbojka zapaluje a zhasíná v každé půlperiodě. Časový průběh střídavého napájecího napětí  $U$ , napětí na výbojce  $U_v$  a proudu výbojkou při stabilizaci činným odporem je znázorněn na obr.6-5.

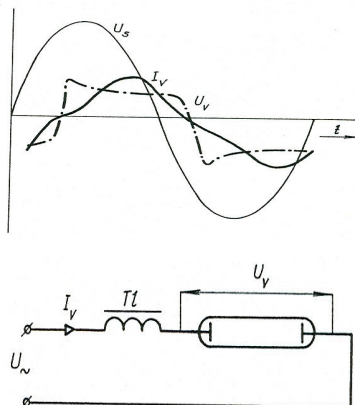
Stabilizace činným odporem je nevhodná, a proto je při střídavém napájecím napětím vhodnější stabilizace tlumivkou, popřípadě kondenzátorem. Schéma zapojení výbojky s indukčním předřadníkem a časový průběh napětí  $U_v$  na výbojce a proudu  $I_v$  výbojkou jsou nakresleny na obr.6-6. Při stabilizaci výboje tlumivkou je třeba vzniklý fázový posuv mezi napětím a proudem kompenzovat kondenzátory.

Stabilizace tlumivkou je výhodná i s ohledem na opakující se zapalování v každé půlperiodě střídavého proudu. Zapalování je totiž usnadněno jednak deformací napěťové křivky a jednak i fázovým předstihem napětí, takže časový interval nulového proudu je podstatně potlačen. Naopak je tomu při stabilizaci kondenzátorem, kdy se časový interval nulového proudu zvětšuje a vzrůstá i vliv stroboskopického jevu.

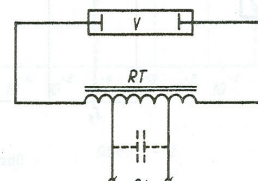
Je-li zápalné napětí výbojek vyšší než napětí síťové, je možno výbojku napájet z rozptylového transformátoru (viz obr.6-7), který zajišťuje nejen stabilizaci výboje, ale i potřebné vyšší zápalné napětí.



Obr. 6-5



Obr.6-6



Obr. 6-7

## 6.4 Luminofory

U některých světelných zdrojů hrají důležitou roli látky vyznačující se fotoluminiscencí, tj. látky, které mají schopnost pohlcovat záření určitých vlnových délek (např. ultrafialové záření) a v důsledku toho se stát zdroji optického záření (např. viditelného záření). Tyto látky se nazývají **luminofory**. Trvá-li fotoluminiscence pouze po dobu účinku budícího záření nebo přesněji, je-li doznívání emitovaného záření kratší než asi  $10^{-8}$  s, nazývá se tento jev **fluorescencí**. Pokud vybuzené záření trvá po zániku budícího záření déle než  $10^{-8}$  s, jde o **fosforescenci**.

Pro technickou aplikaci ve světelných zdrojích má význam fluorescenční typ fotoluminiscence. Vlnová délka emitovaného záření musí být v souladu se Stokesovým zákonem větší než vlnová délka budícího záření, neboť energie emitovaného fotonu musí být menší než energie absorbovaného kvanta záření. Zbytek energie se mění v krystalické mřížce látky na teplo.

Propracováno je zatím buzení luminoforu krátkovlnným ultrafialovým zářením, které vzniká v elektrickém výboji. Nízkotlaký rtuťový výboj, tak jak probíhá např. v zářivce, produkuje více než 50 % energie v UV oblasti (čára 253,7 nm a částečně i 185 nm). Transformace této energie na světlo umožnila zvýšit měrný výkon zářivek i nad  $80 \text{ lm} \cdot \text{W}^{-1}$ . U vysokotlakového rtuťového výboje je až 90 % celkového světelného toku vyzařovaného přímo výbojem. Nedostatek energie vyzářené ve vysokotlakém výboji v oblasti vlnových délek nad 700 nm se u výbojek s luminoforem kompenzuje tím, že energii emitovanou výbojem v ultrafialové oblasti spektra (např. při  $\lambda = 365 \text{ nm}$ ) luminofor transformuje přednostně do červené oblasti světelného záření.

Jako luminoforů se užívá křemičitanů, wolframů, siričků, selenidů, kysličníků některých kovů (např. hořčíku, stroncia, vápníku) apod. Do těchto látek se přidává velmi malé množství (do 1 %) příměsí (aktivátorů), jako zlato, stříbro, vizmut, mangan nebo vzácné zeminy. Změnou množství aktivátoru v základní látce je možno měnit chromatičnost emitovaného světla v poměrně širokém množství. Proto se většinou užívá směsi luminoforů. Vývoj luminoforů neustále pokračuje. Výroba luminoforů je jak materiálově, tak technologicky velmi náročná.

Látky vyznačující se fluorescencí, vykazují také určitou, i když obvykle malou fosforescenci. To je výhodné zejména u výbojových zdrojů napájených střídavým proudem, neboť se tím zmenšuje kmitání světla (a možnost vzniku stroboskopického jevu), způsobené zhasínáním výboje v každé půlperiodě střídavého napětí.

Podíl zářivého toku vyzářeného do infračerveného oblasti spektra je u všech zdrojů velký. Proto se usilovně vyvíjejí luminofory, které by využívaly několika-fotonové excitace spojené s transformací infračerveného záření na světlo. Tyto látky bývají nazývány anti-Stokesovy luminofory.

## 6.5 Doba života světelného zdroje

Světelný tok zdrojů klesá i během jejich života vlivem stárnutí zdrojů. U žárovek se sníží po 1000 h jejich jmenovitého života asi na 90 % počáteční hodnoty. U výbojových zdrojů se dříve většinou požadovalo, aby po uplynutí 70 % doby života nepoklesl jejich světelný tok  $\Phi$  pod 70 % hodnoty jmenovitého toku  $\Phi_n$ , tj. světelného toku po 100 h hoření. Život žárovek obvykle končí přepálením vlákna. U plynem plněných žárovek vzniká pak většinou elektrický oblouk a vyvinutý zkratový proud často přerušuje jisticí prvek elektrické instalace. Výbojové zdroje se nejčastěji vyměňují po uplynutí tzv. hospodárné doby života, kdy jejich světelný tok poklesne tak, že by jejich další provoz byl neefektivní a osvětlovací soustava by nezajišťovala potřebnou jakost osvětlení. Často se hovoří o tzv. **užitečném životě**, což je doba, po kterou jsou parametry zdroje v požadovaných mezích (např. již zmíněná podmínka u zářivek  $\Phi \geq 0,7 \cdot \Phi_n$ ). Pojmem **fyzický život** se označuje celková doba svícení až do úplné ztráty provozuschopnosti (přepálení vlákna žárovky, ztráta schopnosti zapálit výboj apod.).



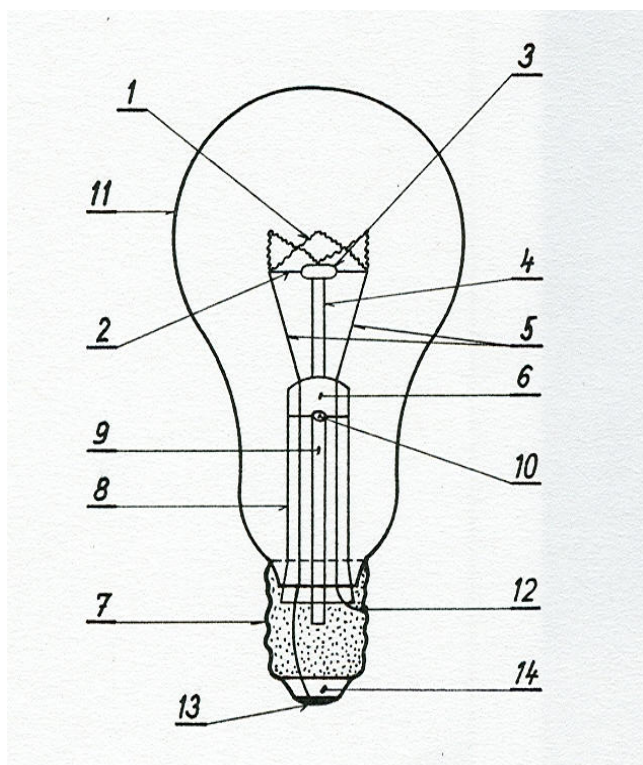
Podle slovníku CIE [6.5] představuje život světelného zdroje dobu jeho svícení do okamžiku, kdy je nepoužitelný nebo se za takový považuje podle stanovených kritérií.

V praxi se běžně pracuje s životem do X% (nejčastěji 50%) výpadku což je doba, při které dosáhne konce života X% ze souboru zkoušených zdrojů, svítících za stanovených podmínek, při čemž konec života se posuzuje podle předem stanovených kritérií. Někteří výrobci označují dobu, po které dojde k výpadku poloviny ze souboru zkoušených zdrojů, za střední dobu života.

## 6.6 Žárovky

Žárovky jsou nejobvyklejšími představiteli teplotních zdrojů. Pro svůj široký sortiment, malé nároky na instalaci a údržbu jsou i dnes nejrozšířenějšími zdroji světla. Obvyklé konstrukční provedení žárovky je znázorněno na obr.6-8.

Hlavní části žárovky jsou: vlákno, nosný systém vlákna, baňka a patice. Vlákno 1 je nejčastěji provedeno z tvrdého těžkotavitelného wolframu a má tvar jednoduché nebo dvojité šroubovice. Nosný systém vlákna se skládá z držáků 2 a skleněné nožky, vytvořené ze skleněné tyčinky 4, přívodních drátků 5, skleněné trubičky většího průměru nazývané talířek 8 a z čerpací trubičky 9. Skleněné části nožky jsou navzájem spojeny (stisknuty za horka) v horní části talířku nazývané stisk 6. Talířek 8 je na spodním konci

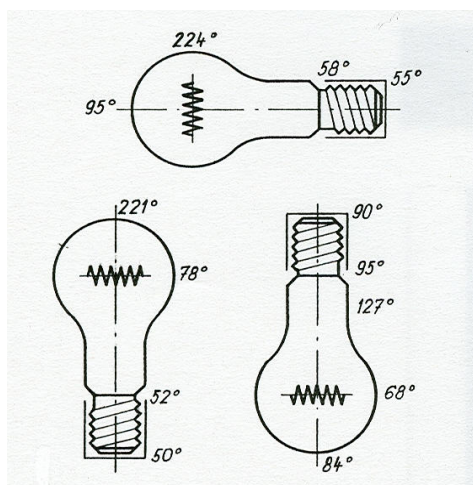


Obr. 6 - 8

kruželovitě rozšířen a přitaven ke krčku baňky 11. Čerpací trubička 9 ústí do baňky otvorem 10, kterým se z baňky vyčerpá vzduch a baňka se plní plynem. Tyčinka 4 je na horním konci zploštělá do tvaru čočky 3, do které jsou zataveny držáky 2. Držáky jsou z molybdenového drátku a na volných koncích jsou stočeny a do vzniklých smyček (oček) je zavěšeno vlákno. Konce vlákna jsou obvykle bodovým svarem připojeny k přívodním drátkům. Přívodní drátky jsou v místě stisku zataveny do skla. Vzduchotěsnost zátavu se zajišťuje buď přizpůsobením tepelné roztažnosti materiálu přívodů v místě stisku (např. slitina železa a niklu s přivařeným měděným pláštěm) roztažnosti skla nebo se pnutí rozkládá po větším povrchu při použití tenkých (0,03 mm) molybdenových folií jako proudových průchodek, popřípadě se přes řadu přechodových skel zvětšuje roztažnost skla apod. Po vyčerpání baňky - 11 a zatavení čerpací trubičky 9 se k baňce přitmelí patice a konce přívodních drátků 5 se v místech 12 a 13 připájí. Kontakt 12 je na plechovém plášti patice 7 a kontakt 13 je na spodku patice a je oddělen izolantem 14 z vitritu.

Jako materiál vlákna zatím nejlépe výrobně a technologicky vyhovuje wolfram, i když se u žárovek s tímto vláknem dosahuje měrného výkonu jen 8 až 20  $\text{l.m.W}^{-1}$  a jejich spínací proud je více než desetkrát větší než proud provozní. Baňky žárovek mohou být nejrůznějšího tvaru a jsou buď čiré, uvnitř mdlené, mléčné (opálová baňka je z homogenního nebo vrstveného skla opálového), opalizované (čirá baňka s vnitřním bílým minerálním povlakem) apod. V některých případech se využívá i žárovek se zrcadlenou baňkou. Určitého snížení vypařování wolframu z vlákna se docílí plněním baňek žárovek směsí inertního plynu (obvykle argonu, popřípadě kryptonu či xenonu) s dusíkem. U žárovek s kryptonem se dosahuje až o 25% vyšších měrných výkonů než při užití náplně s argonem. Vakuové žárovky se vyrábějí jen s příkony do 25 W.





Teplota vlákna obyčejných žárovek se podle příkonu žárovky (40 - 200 W) pohybuje v rozmezí 2000 až 2640 °C. Teplota na povrchu baňky a teplota patice jsou velmi závislé na poloze žárovky a dosahují v provozu přibližně hodnot uvedených v obr.6-9.

Obr. 6 - 9  
Rozložení teploty na povrchu baňky a na patici žárovky 100 W napájené jmenovitým napětím 240 V v různých provozních polohách

Světelný tok  $\Phi$ , příkon  $P$ , proud  $I$ , život  $T$  i měrný výkon  $\eta = \Phi / P_p$  jsou u žárovek značně závislé na změnách napájecího napětí  $U$ . Označí-li se jmenovité hodnoty uvedených veličin indexem  $n$ , lze zmíněné závislosti vyjádřit vztahy

$$\begin{aligned}
 I &= I_n \left( \frac{U}{U_n} \right)^{m_1} & \Phi &= \Phi_n \left( \frac{U}{U_n} \right)^{m_3} \\
 P_p &= P_{pn} \left( \frac{U}{U_n} \right)^{m_2} & T &= T_n \left( \frac{U}{U_n} \right)^{m_4} & \eta_z &= \eta_{zn} \left( \frac{U}{U_n} \right)^{m_5}
 \end{aligned} \quad (6-1)$$

Exponenty  $m_1$ ,  $m_2$ ,  $m_3$ ,  $m_4$  a  $m_5$  jsou závislé jak na druhu žárovky, tak na teplotě chromatičnosti. Průměrné hodnoty exponentů jsou přibližně tyto :

$$m_1 = 0,55 ; m_2 = 1,55 ; m_3 = 3,5 ; m_4 = -14 ; m_5 = 2 .$$

Graficky jsou popsány změny světelného toku a života žárovek znázorněny v obr.6-1. Z uvedeného plyne, že při zvýšení napájecího napětí o 5% stoupne sice světelný tok žárovek přibližně o 20%, ale jejich život klesá asi na 50%. Např. život žárovky provozované při napětí zvýšeném o 5% oproti jmenovité hodnotě bude pouze poloviční a naopak při napájení napětím sníženém o 5% v porovnání s napětím jmenovitým se život této žárovky zvýší cca na 240 %, ovšem při poklesu světelného toku přibližně o 20%.

Základní technické parametry a rozměry vybraných klasických žárovek pro všeobecné osvětlování jsou shrnuty v tab. 6-2. Kromě žárovek pro všeobecné osvětlování, k nimž patří např. žárovky iluminační, svíčkové, trubkové, hruškové, tvarované a další, se vyrábí i řada žárovek speciálních pro různé účely např. lékařské, telefonní, důlní, letištní, automobilové atd.

Dobu života žárovek nepříznivě ovlivňuje proudový náraz při zapnutí žárovky, k němuž dochází vlivem poměrně malého odporu studeného vlákna. V prvním okamžiku po zapnutí dosahuje proud mnohonásobně (cca 12 x) větší hodnoty než v ustáleném stavu. Tuto skutečnost je třeba respektovat při návrhu jistění obvodů se žárovkami. Jsou již vyvinuty elektronické regulační systémy, které po zapnutí žárovky zajišťují plynulé zvyšování proudu na provozní hodnotu. Takto lze dosáhnout i několikanásobného zvýšení doby života žárovky. Zatím však jsou taková zařízení poměrně drahá.

Tab. 6 – 2 Přehled základních parametrů obyčejných žárovek pro všeobecné osvětlování (jmenovité napětí 240 V)

Příkon žárovky (W)	15	25	40	60	75	100	150	200
Světelný tok ( <i>lm</i> )	90	230	430	730	960	1380	2200	3150
Měrný výkon ( <i>lm/W</i> )	6,0	9,2	10,75	12,2	12,8	13,8	14,8	15,75
Max. průměr baňky (mm)	61						81	162,5
Max. délka (mm)	104						81	162,3

Pozn. Baňka žárovek čirá nebo matovaná. Patice E27.

Průměrný život série žárovek pro všeobecné osvětlení nemá klesnout pod 1000 h.

Vyrábějí se též žárovky o příkonu 150 W s průměrem baňky 68,8 mm při délce 110,5 mm. Se sníženými světelnými toky se vyrábějí též žárovky 40 W až 100 W s dobou života 2500 h, resp. 5000 h. Někteří zahraniční výrobci produkují obyčejné žárovky i o příkonech 500 W (8400 *lm*) a 2000 W (40000 *lm*) s paticí E40.

S ohledem na nízký měrný výkon žárovek ve srovnání s ostatními druhy zdrojů se praktické využívání žárovek pro všeobecné osvětlování začíná i legislativně omezovat, a to jak ve výrobní sféře, tak i v obchodní síti. Nicméně se žárovky v určitých aplikačních oblastech (např. pro architektonické účely, ale i v některých společenských, popřípadě obytných prostorech) budou používat i v budoucnu, a to právě pro jejich jednoduchou konstrukci, montáž i provoz, pro jejich nízkou cenu, malé rozměry, malou hmotnost, velkou přizpůsobivost co do výkonu a rozměrů i proto, že nepotřebují žádná pomocná zařízení, mohou svítit v každé poloze a také díky tomu, že jejich světelný tok není závislý na okolní teplotě a je plynule regulovatelný změnou napájecího napětí. Významnou předností žárovek je spojitě spektrum vyzařovaného světla s příjemným teplým odstínem charakterizovaným teplotou chromatičnosti 2700 až 2900 K a rovněž skutečnost, že v jejich světle vnímáme věrně barvy osvětlovaných předmětů, což charakterizuje všeobecný index podání barev  $R_a = 100$ .

Výzkumy směřující ke zvýšení měrného výkonu žárovek jsou založeny na snaze využít velké ztrátové tepelné energie, např. použitím anti-Stokesových luminoforů nebo reflexních vrstev na baňce, propouštějících světlo, ale odrážejících teplo zpět na vlákno. Výraznějším technologicky zvládnutým pokrokem v teplotních zdrojích jsou halogenové žárovky.

## 6.7 Halogenové žárovky

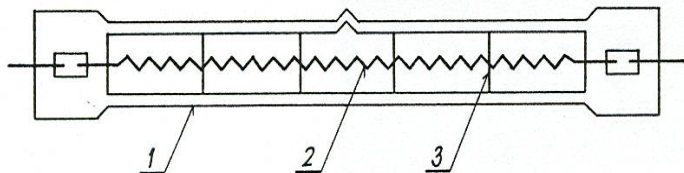
Halogenové žárovky představují významný vývojový stupeň teplotních zdrojů. V plynné náplni halogenové žárovky je příměs halogenů (obvykle jod, brom, chlor a jejich sloučeniny). Při určité teplotě a vhodném konstrukčním uspořádání probíhá v takové žárovce vratná chemická reakce mezi odpařeným wolframem a halogenem (halogenový regenerační cyklus). Molekuly odpařeného wolframu putující ke stěně baňky se v její blízkosti slučují na halogenid wolframu, který difunduje směrem k vláknu. Poblíž vlákna, v místě dosažení disociační teploty, se molekula halogenidu wolframu štěpí na wolfram a halogen. Halogen se vrací zpět ke stěně baňky. Wolfram přispívá ke zvýšení koncentrace jeho par poblíž vlákna, a tím snižuje rychlost vypařování wolframu z vlákna. Je-li rychlost rozkladu halogenidu stejná jako rychlost odpařování wolframu z vlákna, nemělo by vlákno ubývat. To však platí jen v radiálním směru u vlákna se stejnou teplotou po celé délce. Protože tato podmínka není splněna, přemísťuje se u cyklu s jodem, bromem či chlorem wolfram z relativně teplejších míst na místa chladnější a po určité době dojde pochopitelně k přerušení vlákna. Pouze cyklus s fluorem by teoreticky měl zajistit návrat molekul

wolframu tam, odkud byly odpařeny, a tím zajišťovat téměř nekonečnou dobu života. Fluor je však velmi korozivní, a proto jeho využití vyvolává značné, zejména technologické, problémy.

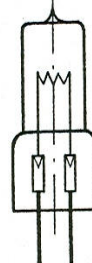
Stejně jako klasické žárovky plní se i žárovky halogenové inertním plynem, čímž se podstatně snižuje rychlost vypařování wolframu. Halogenový regenerační cyklus je zajištěn při teplotě baňky vyšší než 2500 °C a při vodorovné poloze žárovky ( $\pm 4^\circ$ ). Při dodržení správné polohy žárovky je v halogenovém cyklu odpařený wolfram vázán, baňka takové žárovky nečerná a její průměr je možno volit malý. Musí být ovšem vyrobena z tepelně odolnějších materiálů, např. z křemenného skla nebo z tvrdého skla s velkým obsahem SiO<sub>2</sub>. Malý objem halogenové žárovky dovoluje zvýšit tlak inertního plynu v žárovce, a tím bud prodloužit život zdroje nebo zvýšit jeho měrný výkon.

Malý objem halogenové žárovky umožňuje hospodárné využití kryptonové náplně a tedy další zvýšení měrného výkonu.

Halogenové žárovky se vyrábějí buď dvoupaticové (lineární) nebo jednopaticové. Lineární žárovka (viz obr.6–10) má baňku 1 ve tvaru válečku, v jehož ose je několika podpěrkami 3 uchyceno vlákno 2. U jednopaticového zdroje jsou přívody na jednom konci (viz obr.6-11), Tyto žárovky mají kompaktnější vlákno a v optických soustavách mohou být využity jako bodové zdroje (např. projekční žárovky). Rozšířeny jsou halogenové žárovky pro automobily, pro fotografické účely i pro osvětlování letištních přistávacích ploch. Ze širokého sortimentu halogenových žárovek pro všeobecné osvětlování je třeba jmenovat žárovky na síťové napětí zejména lineární dvoupaticové (přehled parametrů viz tab.6-3), ale i jednopaticové s patičí E27 (příkony 50 a 78 W, život 2000 h) a jednopaticové žárovky na malé napětí (příkony 5 až 75 W, život 2000 až 3000 h, měrný výkon 11 až 17 lm.W<sup>-1</sup>). Velké oblibě se těší jednopaticové halogenové žárovky s tzv. studeným světlem (20, 35 a 50 W; 12 V; 3000 až 4000 h; úhel vyzařování 10°, 24°, 38°, 60° apod.) opatřené dichroickým zrcadlem, které usměřňuje viditelné záření na osvětlovaný předmět a propouští infračervené záření směrem k objímce žárovky. Osvětlovaný předmět pak není vystaven tak velké tepelné zátěži. Reflektor tvoří se žárovkou kompaktní jednotku opatřenou patičí (např. dvoukolíkovou typu GU 5,3).



Obr. 6 – 10



Obr. 6 - 11

Tab.6 - 3 Parametry vybraných typů lineárních halogenových žárovek pro všeobecné osvětlování na síťové napětí <sup>1)</sup>

Příkon žárovky (W)	Světelný tok (klm)	Měrný výkon (lm.W <sup>-1</sup> )	Celková délka <sup>2)</sup> (mm)	Jmenovitý proud rychlé pojistky (A)
100	1,65	16,5	74,9	2
150	2,6	17,3	74,9	2
200	3,2	16	114,2	2
300	5,0	16,7	114,2	2
500	9,5	19	114,2	4
750	16,5	22	185,7	6,3
1000	22,0	22	185,7	6,3
1500	33,0	22	250,7	10
2000	44,0	22	327,4	10

Pozn.

1) Halogenové dvoupaticové žárovky (např. typu HALOLINE firmy Osram) s baňkou ve tvaru válečku o průměru 12 mm jsou opatřeny patičkami R7s. Provozní teplota baňky je až 800 °C. Max. teplota vakuového zátavu 350 °C. Střední život těchto žárovek je 2000 h. Poloha svícení halogenových lineárních žárovek o příkonu do 500 W je libovolná, o vyšších příkonech vodorovná ( $\pm 15^\circ$ ).

2) Uvažuje se vzdálenost mezi kontakty na patičkách

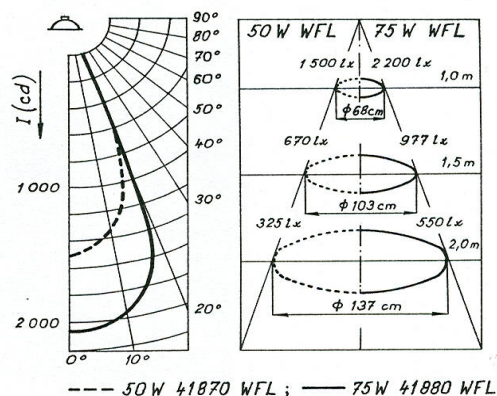
Usazené mastné látky na baňce halogenové žárovky mohou při vysokých teplotách způsobit porušení struktury křemenné baňky. Proto se musí zabránit znečištění povrchu baňky mastnotou, k čemuž může dojít i při dotyku žárovky holýma rukama.

Jednou z důležitých inovací halogenových žárovek je použití tzv. **IRC technologie**. Spočívá v napaření tenké kovové vrstvy na vnitřní povrch baňky žárovky. Zmíněná vrstva odráží tepelné (jinak ztrátové) záření zpět směrem k vláknu, takže k jeho vyžhavení na potřebnou provozní teplotu je zapotřebí méně energie. Tím roste měrný výkon zdroje až o 40%. Se zmenšováním rozměrů a výrobou reflektorových halogenových žárovek byl řešen i problém omezení infračerveného záření dopadajícího na osvětlované objekty využitím speciální vrstvy nanesené na vnitřní povrch reflektoru (dichroický reflektor - propouští část IR záření). Do baňky moderních halogenových žárovek z křemenného skla se dávkuje xenon, a to ke zlepšení měrného výkonu a dále certit, čímž se zásadně potlačuje zářivý tok těchto zdrojů v UV oblasti spektra.

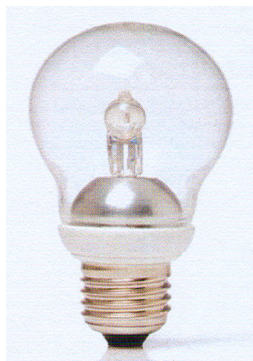
V posledních letech se zejména pro osvětlování různých společenských prostorů často využívá **halogenových žárovek 12 V** (popř. 6, či 24 V) o příkonech 10, 20, 35, 50, 75 i 100 W opatřených speciálními reflektory s úhly poloviční svítivosti obvykle v rozmezí 10° až 30° při výstupních otvorech o průměru 35, 48, 51 resp. 70 mm. Vyrábějí se též v provedení s dichroickými reflektory zajišťujícími omezení tepelné složky ve vyzařovaném záření asi na 66%, což je velmi žádoucí pro osvětlování předmětů citlivých na infračervené záření. Předností halogenových žárovek 12 V jsou miniaturní rozměry, které umožňují podstatně zmenšovat optické systémy svítidel. Moderní typy žárovek 12 V mají při tom život až 5000 h při měrném výkonu  $25 \text{ lm} \cdot \text{W}^{-1}$ . Nevýhodou je ovšem potřeba předřadného přístroje (transformátoru či měniče).

Pro porovnání inovované halogenové žárovky na napětí 240 V dosahují doby života 2000 h při měrném výkonu  $16 \text{ lm} \cdot \text{W}^{-1}$ .

Pro ilustraci je na obr.6-12 příklad rozložení svítivosti a hladin osvětlenosti u halogenových žárovek 50 a 75 W s tzv. studeným reflektorem o průměru 51 mm typu HALO STAR 41870 WFL a 41880 WFL firmy Osram. Doba života zmíněných halogenových žárovek 12 V bývá 2000 – 3000 h. Některé typy žárovek vyšších příkonů než 50 W vykazují život dokonce až 5000 h.



Obr. 6 – 12a Čáry svítivosti a rozložení osvětlenosti pro halogenové žárovky 50 W a 75 W (12 V) s dichroickým reflektorem ( $\phi$  51 mm) typu HALO STAR 50 W 41870 WFL a 75 W 41880 WFL Osram



Obr.6-12b Žárovka Master Clasic Philips

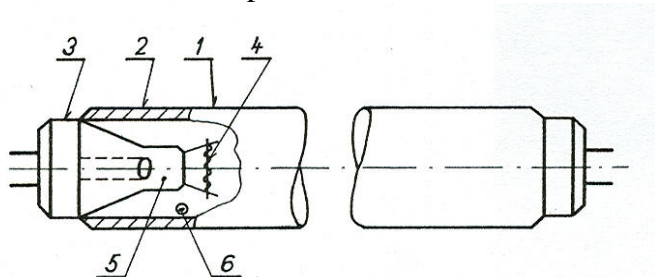
Zajímavou novinkou jsou halogenové žárovky o příkonech 18 až 105 W na síťové napětí (obr.6-12b) s integrovaným elektronickým transformátorem zabudované do čiré či matované baňky rozměrově a tvarově shodné s baňkou obyčejných žárovek. Baňka je opatřena patičkou E14 nebo E27. Vlastním světelným zdrojem je miniaturní halogenová žárovka na malé napětí, jejíž výroba je v porovnání s halogenovými žárovkami na síťové napětí jednodušší a levnější, vykazuje nižší spotřebu elektrické energie i při dvojnásobné až trojnásobné době života.

Náplň baňky halogenové žárovky dosahuje při provozu tlaku několika desetin MPa. Při přerušení vlákna může dojít k výboji, rychlému nárůstu proudu a zvýšení tlaku par v baňce. Ojedinele dochází dokonce k roztržení baňky. Doporučuje se proto jednotlivé žárovky jistit pojistkou.



## 6.8 Zářivky

Zářivky jsou nízkotlaké rtuťové výbojky se žhavenými elektrodami. Nízkotlaký výboj v parách rtuti vyzařuje jen asi 2% přivedené energie v oblasti viditelného záření a více než 60% v oblasti ultrafialového záření. Část ultrafialového záření odpovídající asi 19% příkonu tohoto výboje se v zářivce (viz obr.6-13) transformuje ve viditelné záření luminoforem 2, který je v tenké vrstvě nanesen na vnitřním povrchu skleněné trubice 1.



Obr. 6 - 13

Trubice je na obou koncích opatřena elektrodou 4, nosným systémem 5 a kolíčkovou patičkou 3. Trubice je naplněna rtuťí 6 a vzácným plynem (např. argon, popříp. směs argonu 5 neónem).

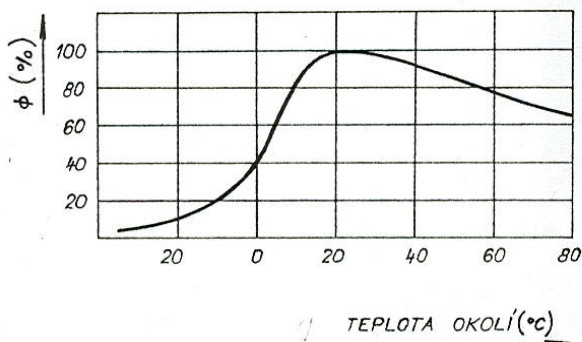
Tlak vzácného plynu v zářivce je přibližně 4.102 Pa, přičemž optimální tlak par rtuti je asi 0,6 Pa.

Vzácný plyn snižuje zápalné napětí, zabraňuje rozprašování materiálu elektrod a zvyšuje intenzitu vyzařování v okolí rezonančních čar rtuti (253,7 nm a 185 nm). S rostoucím tlakem vzácného plynu roste výrazně život zářivky (emisní hmota elektrod ubývá pomaleji), ovšem zapalování je obtížnější a v důsledku vyššího gradientu na trubici klesá měrný výkon. Při nižším tlaku plynu zapalují zářivky snáze (i při nižších teplotách), jejich život je ovšem kratší. Elektrody zářivek jsou z dvojité vinutého wolframového drátku a pokrývají se vrstvou kysličníků (např. barya, stroncia, vápníku), čímž se dosahuje velké emisní schopnosti při malém výstupním potenciálu elektronů a usnadňuje se tak zapalování.

Světelný tok zářivek během prvních 100 h provozu poklesne asi o 10%, potom již klesá pomaleji. Proto se jmenovitý světelný tok  $\Phi_n$  zářivek udává právě po 100 h hoření. Po zažehnutí vyzařuje zářivka jen asi 90% toku. Plné hodnoty se dosahuje asi po 3 minutách provozu. Podle předpisů Mezinárodní komise pro osvětlování nesmí světelný tok kterékoliv zářivky po 2000 h provozu klesnout pod 75% jmenovité hodnoty toku  $\Phi_n$  (u bílých zářivek dokonce pod 85%  $\Phi_n$ ). Během 170% života zářivek nemá tok klesnout pod 70%  $\Phi_n$ . Příčinou poklesu světelného toku během života zářivek (tj. stárnutí zářivek) je postupná ztráta účinnosti luminoforu, zčernání vnitřního povrchu trubice rozprášeným materiálem elektrod (tmavý prstenec v prostoru elektrod), popřípadě i usazováním jemných částí rtuti a rovněž absorpce plynné náplně materiálem elektrod a rtuti. Mnohem rychleji než při svícení zářivky se materiál elektrod rozprašuje při zažehování (zvláště v zapojení s běžně využívaným doutnavkovým zapalovačem). Proto má na celkovou dobu života zářivky rozhodující vliv doba svícení připadající na jedno zažehnutí (obvykle se za srovnávací hodnotu považují 3 h provozu na jedno zažehnutí). Každým zažehnutím se život zářivky provozované s indukčním předřadníkem a s doutnavkovým zapalovačem zkracuje asi o 1,5 h. Proto se takto zapojené zářivky nehodí tam, kde se osvětlení často vypíná a zapíná. Při tříhodinovém cyklu dosahuje život zářivek i 16000 h. Elektrody se rychleji opotřebovávají, zažehuje-li zářivka s nedostatečně nažhavenými elektrodami (asi 700 °C). Proto zářivka, která snadno zapaluje, má pravděpodobně kratší život. Je-li v předřadném obvodu zářivky kromě tlumivky ještě kondenzátor, je život této zářivky kratší, než zářivky, napájené pouze přes tlumivku.

Život zářivky končí rozprášením aktivní emisní vrstvy elektrod, protože zářivky s dezaktivovanými katodami již nezapálí, takže nastává období opakovaného "blikání", tedy pokusů nastartovat zářivku. To trvá tak dlouho, dokud se nepoškodí zapalovač. Jedinou možností, jak odstranit tuto závadu, je vyměnit zářivku. Žhaví-li však elektrody na obou koncích zářivky a zářivka nezapaluje, pak postačí vyměnit zapalovač.

Nevýhodou zářivek je, že jejich světelný tok závisí na teplotě trubice, resp. na teplotě jejího okolí (viz obr.6-14). Standardní zářivky vyzařují maximum světelného toku při teplotě okolo 40 °C na povrchu trubice, tj. při teplotě okolí okolo 25 °C.



Obr. 6 – 14

Při nižších teplotách je světelný tok nižší vlivem nedostatečného tlaku rtuťových par a při vyšších teplotách je snížení toku způsobeno menší účinností luminoforu. Proto standardní zářivky nejsou v našich klimatických podmínkách vhodné pro osvětlování venkovních prostorů.

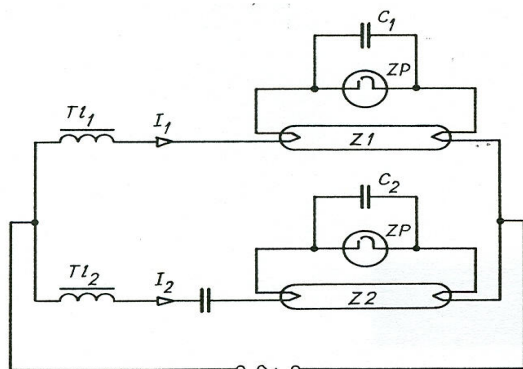
Pro provoz při vyšších teplotách se vyvíjejí zářivky, u nichž je zajištěno účinnější odvádění tepla, např. zářivky s tvarovaným nekruhovým průřezem, zářivky s kovovou tyčí přitlačenou pružinou na trubici nebo zářivky amalgamové (místo rtuti je použito amalgamu india). Maximum toku amalgamových zářivek je při teplotě trubice okolo 65 °C.

Zářivky pro nízké teploty okolí (až do -20 °C) se plní s ohledem na snazší zapalování na nižší tlak argonu ( $2,66 \cdot 10^2$  Pa) a pro udržení dobrého měrného výkonu se opatřují dvojím pláštěm (např. trubice o průměru 38 mm má plášť o průměru 45 mm). Spektrální složení záření a tedy i chromatičnost světla zářivek jsou určovány druhem použitého luminoforu. Barevná jakost obvykle vyráběných typů zářivek s příklady jejich použití je uvedena v tab.6-4.

Tab.6-4  
Příklady použití různých typů zářivek

Barevný tón světla zářivky	Náhradní teplota chromatičnosti	Index podání barev	Příklady použití
teple bílý	2700 K	$R_a > 80$	zasedací místnosti, posluchárny, školy, mateřské školky, knihovny, čítárny, obchody (potraviny, sýry, pečivo, ovoce, zelenina, ryby, textil, kožené zboží, nábytek, koberce, květiny), kadeřnictví, restaurace, hostince, hotely, divadla, koncertní sály, foyer, galerie, muzea, nemocnice (pokoje pacientů, čekárny), byty (obývací pokoje, kuchyně, koupelny), obchodní domy, velkoobchody
	3000 K	$R_a > 80$	zasedací místnosti, haly, kanceláře, laboratoře, školy, mateřské školky, knihovny, čítárny, obchody (potraviny, textil, kožené zboží, nábytek, hračky, papírnictví, foto, hodiny), obchodní domy, velkoobchody potravin, restaurace, společenské prostory, výstavní haly
		$R_a > 90$	obchody (textil, kožené zboží, nábytek, koberce, hračky, sport. potřeby, foto, hodiny, papírnictví, květiny, šperky), kosmetika, kadeřnictví, obchodní domy, velkoobchody, muzea, nemocnice (pokoje pacientů, čekárny), byty (obývací pokoje, kuchyně, koupelny)
bílý	4000 K	$R_a > 80$	kanceláře, průmysl (strojírenský, elektrotechnický, textilní, konfekční, dřevozpracující, laboratoře, sklady, expedice), dílny, posluchárny, učebny, knihovny, čítárny, obchody (potraviny, sportovní potřeby, hračky, papírnictví), restaurace, společenské sály, výstavní haly, pavilony, sportovní a víceúčelová zařízení, nemocnice, byty (kuchyně, koupelny, sklepy)
		$R_a > 90$	průmysl (textilní, konfekční, tiskařský, grafický), obchody (textil, kožené zboží, galanterie, sportovní potřeby, hračky, knihy, papírnictví, květinářství), kosmetika, kadeřnictví, obchodní domy, velkoobchody potravin, nemocnice, byty (kuchyně, koupelny, dílny), sportovní haly
denní	5400 K	$R_a > 90$	průmysl (textilní, konfekční, tiskařský, grafický, dřevozpracující, laboratoře, kontrola barev, sklady), obchody (textil, oděvy, kožené zboží, knihy, foto, hodiny, šperky, sklo, porcelán, květiny), galerie, muzea, zdravotnictví (vyšetřovny, ordinace, léčebny), sportovní haly
	6000 K	$R_a > 80$	průmysl (textilní, konfekční, tiskařský, dřevozpracující, laboratoře, sklady), obchody (oděvy, textil, kožené zboží, foto, hodiny, šperky, sklo, porcelán, potraviny, chladičové pulty, vitríny), galerie, muzea, zdravotnictví (vyšetřovny, ordinace, léčebny), sportovní haly

U různých typů zářivek napájených střídavým proudem nekolísá světelný tok v průběhu jedné periody stejně a proto není stejně výrazný ani stroboskopický jev. Světlo denních zářivek míhá mnohem zřetelněji než zářivek bílých a růžových. Nejlepší ochranou proti vzniku stroboskopického jevu je rozdělení zářivek do různých fází instalace tak, aby každý pohybující se předmět byl osvětlen alespoň dvěma zářivkami napájenými z různých fází. U svítidel se dvěma zářivkami se vzniku stroboskopického jevu brání fázovým posunutím proudů v obvodu obou zářivek, a to zařazením kondenzátoru C do série k jedné zářivce (obr.6-15).



Obr.6 - 15

Schéma zapojení svítidla se dvěma zářivkami Z1 a Z2

$Tl_1$  a  $Tl_2$  - stabilizační tlumivky;

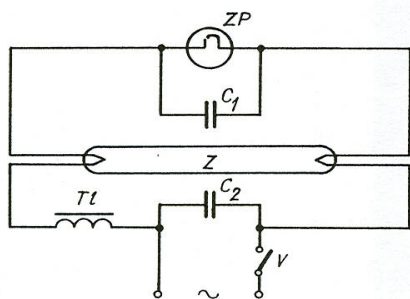
ZP - zapalovač;

$C_1, C_2$  - odrušovací kondenzátor;

C - kondenzátor zajišťující fázový posuv mezi proudy

$I_1$  a  $I_2$  i kompenzaci účinníku svítidla

Zapálení výboje v zářivce při studených elektrodách je nesnadné. Proto se většinou před zapálením výboje zajišťuje vhodným elektrickým zapojením nažhavení elektrod. Nejčastěji se využívá doutnavkového zapalovače (viz obr.6-16), který je proveden jako doutnavka s bimetalovou elektrodou. Doutnavkový zapalovač musí mít zapalovací napětí nižší než zářivka s nenažhavenými elektrodami, ale současně vyšší než je pracovní napětí zářivky. Po připojení zářivky Z na síťové napětí se zapálí mezi elektrodami zapalovače ZP doutnavý výboj.



Obr.6 - 16

Obvyklé schéma zapojení zářivkového svítidla s jednou zářivkou a induktivním předřadníkem

Z - zářivka;  $Tl$  - tlumivka;

ZP - doutnavkový zapalovač;

$C_1$  - odrušovací kondenzátor;

$C_2$  - kompenzační kondenzátor;

V - vypínač

Tím se ohřívá elektroda z dvojkovu a postupně se ohne tak, že se spojí s druhou elektrodou doutnavky. Tím se připojí elektrody zářivky přes tlumivku  $Tl$  na síťové napětí a začnou se žhavit. Současně však spojením elektrod v zapalovači ZP uhasne mezi nimi výboj a elektroda z dvojkovu se ochlazuje až se po určité době odkloní od druhé elektrody a tak přeruší okruh žhavení elektrod zářivky. Přerušením tohoto obvodu se mezi elektrodami zářivky objeví napětí zvýšené vlivem přechodného děje na tlumivce  $Tl$  a dojde k zapálení výboje. Protože pracovní napětí na výboji v zářivce je nižší než je zápalné napětí zapalovače, výboj v zapalovači už nezapálí. Pokud zářivka při prvním pokusu nezapálí, celý postup se opakuje. Pro snadnější rozpínání kontaktů na elektrodách zapalovače ZP a pro odrušení se zapalovač překlenuje kondenzátorem  $C_1$ . Kondenzátor  $C_2$  slouží ke kompenzaci účinníku.

U zářivek pro rychlý zápal (Rapid start) se elektrody žhaví z malého transformátoru a podél zářivky je umístěn uzemněný zemní pásek. Zářivky pro okamžitý zápal mají na vnitřní straně trubice vodivý pásek spojený s jednou hlavní elektrodou a využívají ke startu doutnavého výboje.

Sortiment zářivek vyráběných v současné době je velmi široký, a to jak z hlediska příkonů, tak z hlediska barevného tónu vyzařovaného světla. Pro vybranou skupinu lineárních zářivek jsou hlavní technické parametry sestaveny v tab. 6 – 5.

Tab.6 - 5 Přehled technických dat vybraných typů lineárních zářivek

Průměr zářivky (mm)	Jmen.příkon zářivky (W)	Světelný tok (lm)	Barevný tón <sup>1)</sup>	Délka zářivky (mm)
7 [ T2 ] <sup>4)</sup>	6	310	d	218,5
		330	b,tb	
	8	500	d	320
		540	b,tb	
	11	680	d	471,6
		750	b,tb	
13	860	d	523	
	930	b,tb		
16 [ T5 ] <sup>4)</sup>	4	140	b	136
	6	280	b,tb	212
	8	450	b,tb	288
	13	1000	b,tb	517
	14 <sup>2)</sup>	1350	b,tb	549
	21 <sup>2)</sup>	2100	b,tb	849
	28 <sup>2)</sup>	2900	b,tb	1149
	35 <sup>2)</sup>	3650	b,tb	1449
26 [ T8 ] <sup>4)</sup>	15	950	b,tb	438
	16	1250	b	720
	18 (24,5) <sup>3)</sup>	1300	d	590
		1350	b,tb	
	36 (42) <sup>3)</sup>	3250	d	1200
		3350	b,tb	
	58 (66) <sup>3)</sup>	5000	d	1500
5200		b,tb		

Pozn.: 1) označení barevného tónu vyzařovaného světla:

d - denní (teplota chromatičnosti cca 6000 K)

b - bílý (teplota chromatičnosti cca 4000 K)

tb - teple bílý (teplota chromatičnosti cca 3000 K)

2) zářivky o průměru 16 mm s příkony 14, 21, 28 a 35 W jsou určeny jen pro provoz s elektronickými předřadníky

3) v závorce je uveden příkon zářivky včetně indukčního předřadníku se sníženými ztrátami

4) v hranatých závorkách za písmenem T je uvedeno označení průměru zářivky v osminách palce.

Nahradí-li se indukční předřadníky zářivek **předřadníky elektronickými**, je provoz svítidel bezhlučný, není nutné instalovat zapalovače a kompenzační kondenzátory, zářivky zapalují bez blikání, vlivem napájení zářivek proudem vysoké frekvence (30 až 40 kHz) je zabráněno možnosti vzniku stroboskopického jevu, prakticky je odstraněno rušivé kolísání světelného toku, v porovnání s provozem s indukčními předřadníky se docílí až 25% úspory energie, výrazně se zpomaluje pokles světelného toku během života zářivky (např. u některých typů lineárních zářivek po 12000 h provozu klesne světelný tok na 90% jmenovité hodnoty, zatímco při provozu s indukčními předřadníky za stejnou dobu asi na 80% jmenovité hodnoty), křivka úmrtnosti zářivek klesá na 50% po odhoření 13000 až 15000 h (u indukčních předřadníků po 8000 až 11000 h), takže doba života zářivek vzrůstá až o 30 - 50%, čímž se prodlužují intervaly výměny zářivek, je zajištěno automatické odpojení vadné zářivky od napájecí sítě, stabilita provozních parametrů zářivek je zabezpečena i při poměrně velkém kolísání napájecího napětí (např. mezi 198 - 254 V při  $U_n = 240$  V) a kromě toho se asi o třetinu snižuje tepelné zatížení prostoru.



Pokud jde o chromatičnost světla zářivek a kvalitu vjemu barev v jejich světle, lze zářivky členit do tří kategorií :

- zářivky standardního provedení s klasickými halofosfátovými luminofory s měrnými výkony 57 až 68  $\text{lm.W}^{-1}$  a indexy podání barev  $R_a = 40 \div 59$  (při teple bílém barevném tónu světla), resp.  $R_a = 60 \div 79$  (při denním nebo bílém barevném tónu světla),
- zářivky se zlepšeným podáním barev s třípásmovými luminofory s měrnými výkony 72 až 83  $\text{lm.W}^{-1}$ , resp. u zářivek nové generace s průměrem 16 mm 96 až 106  $\text{lm.W}^{-1}$  a indexy podání barev  $R_a = 80 \div 89$ ,
- zářivky s vynikajícím podáním barev se speciálními, obvykle pětípásmovými, luminofory s indexem podání barev  $R_a \geq 90$  ovšem s nižšími měrnými výkony 52 až 55  $\text{lm.W}^{-1}$ .

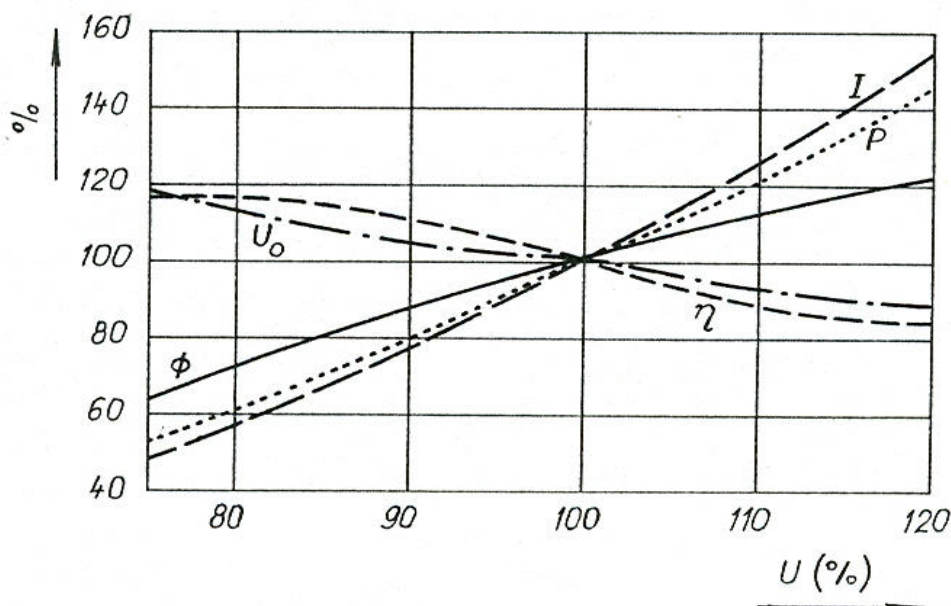
Přehled o elektrických parametrech obvodů se zářivkami provozovanými s indukčním předřadníkem a zapalovačem poskytují údaje v tab.6-6. Světelně technické a elektrické parametry zářivek v uvedeném běžném zapojení jsou závislé na změnách napájecího napětí. Pro ilustraci jsou pro tento případ obvyklé průběhy zmíněných závislostí světelného toku  $\Phi$ , příkonu  $P$ , měrného výkonu  $\eta$ , napětí na oblouku  $U_0$  a proudu  $I$  na změnách napájecího napětí nakresleny na obr.6-17.

**Tab.6 - 6**

**Příklady elektrických parametrů obvodů se zářivkami zapojenými s indukčními předřadníky <sup>1)</sup>**

Jmenovitý příkon zářivky (W)	Příkon včetně indukčního předřadníku (W)	Jmenovitý proud (A)	Napětí na zářivce po zapálení ( $\pm 10\%$ ) (V)	Impedance indukčního předřadníku ( $\Omega$ )	Kompenzační kondenzátor ( $\mu\text{F}$ )	Max.žhavicí proud (při žhavení 2 s) (A)
18	30	0,37	57	155	4,5	0,55
36	46	0,43	103	240	4,5	0,65
58	71	0,67	110	165	7,0	1,0

Pozn. 1) Jmenovité napájecí napětí 240 V.



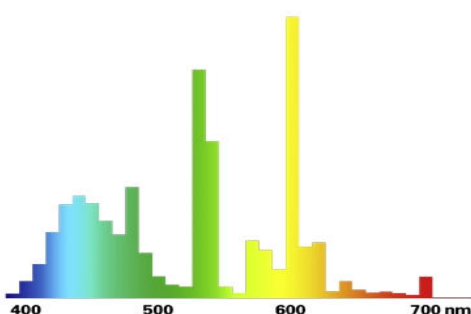
Obr.6-17

Jak vyplývá z předchozího výkladu je jakost luminoforu jedním z činitelů rozhodujících o kvalitě zářivek. Např. u tzv. úzkopásmových (obvykle třípásmových nebo pětípásmových) zářivek se využívá speciálních luminoforů, které obsahují určité vzácné zeminy a které zajišťují transformaci UV záření do vhodně vybraných úzkých pásem spektra viditelného záření. Využití zmíněných speciálních luminoforů umožňuje u některých typů zářivek dosahovat měrných výkonů převyšujících  $95 \text{ lm.W}^{-1}$  i při vysokém indexu podání barev  $R_a > 80$ .

Významným pokrokem ve vývoji zářivek byl přechod na výrobu zářivek o průměru 26 mm (tj. v osminách palce T8) a posléze též zavedení výroby zářivek o průměru 16 mm (T5) a 7 mm (T2). Zmenšování průměru zářivek z původní hodnoty 38 mm přináší úspory skla i luminoforu, zvyšuje využití luminoforu a umožňuje snížit příkon zářivek při zachování, popřípadě i zvýšení světelné technických parametrů, zvláště světelného toku a indexu podání barev (např. zářivce 38 mm s příkonem 40 W odpovídá zářivka 26 mm s příkonem o 10% nižším, tj. 36 W). Využití elektronických předřadníků, umožňujících provoz zářivek v optimálních pracovních podmínkách, vyvinutí nových typů luminoforů, speciálních ochranných vrstev pro výbojovou trubici i pro luminofor, upravené konstrukce elektrod – to vše dovoluje u nových typů zářivek dosahovat při indexu podání barev  $R_a \geq 90$  měrného výkonu i  $100 \text{ lm.W}^{-1}$  a doby života až 20.000 h (v některých případech dokonce až 50.000 h).

Pro zlepšení orientace o barevných vlastnostech světla vyzařovaného zářivkami doplňují výrobci zdrojů v posledních letech svá typová označení o údaje, které informují o kvalitě vjemu barev v jejich světle (index podání barev  $R_a$ ) a o barevném odstínu vyzařovaného světla (náhradní teplota chromatičnosti v Kelvinech  $T_c$  [K]). Např. firmy Philips a Osram za příkonem zářivky udávají trojčíslí (např. 36 W 845), v němž první číslice charakterizuje  $R_a$  v desítkách (např. číslice 8 znamená, že  $R_a$  se nachází v rozmezí 80 až 89, resp. kdyby první číslice byla 9 značilo by to, že  $R_a > 90$ ) a následující dvojčíslí představuje teplotu chromatičnosti ve stovkách Kelvinů (např. 45 znamená  $T_c = 4500 \text{ K}$ ; resp. kdyby dvojčíslí bylo 29 označovalo by to teplotu chromatičnosti  $T_c = 2900 \text{ K}$  apod.). Zmíněné dva údaje  $R_a$  a  $T_c$  již plně postačují pro kvalifikovanou volbu vhodného typu zářivky pro konkrétní oblast použití.

Přední světoví výrobci produkují kromě běžných typů zářivek řadu dalších výrobků, např. zářivky kruhové, zářivky ve tvaru písmene U, zářivky se zapalovacím páskem nebo s tepelnou ochrannou trubicí pro efektivní provoz při nízkých teplotách, zářivky reflektorové a další. Novinkou jsou též zářivky s vysokou náhradní teplotou chromatičnosti (8000 až dokonce 17000 K) označované např. Skywhite (obr.6-18a, 6-18b), ActiVivaActive, ActiVivaNatural, které mají zvýšený podíl záření v modré oblasti spektra. Vyznačují se stimulačními účinky na cirkadiánní systém člověka, který je obdobný vlivu oblohového denního světla. Proto jsou tyto zářivky určeny především pro osvětlování prostorů s nedostatkem denního světla.



Obr. 6-18a

Poměrné spektrální složení zářivého toku zářivky Skywhite firmy Osram



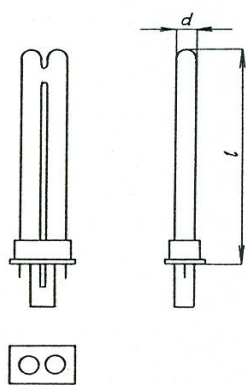
Obr.6-18b

Lineární zářivka  
Skywhite firmy Osram

Běžné jsou i zářivky barevné (modré, zelené, červené aj.), které se využívají nejen pro dekorativní osvětlení, ale v posledních letech i v soustavách dynamického osvětlení řízeného počítačem a umožňujícího v osvětlovaném prostoru vytvářet nejrůznější psychologicky velmi působivé barevné scény.

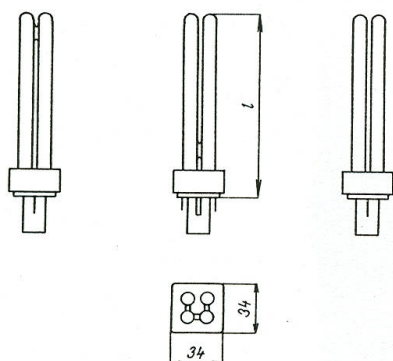
Všeobecnou snahou je, aby zářivky v co nejširší aplikační oblasti, např. také v domácnostech, postupně nahradily žárovky. Toho zdaleka nelze dosáhnout pouze rozměrnými lineárními zářivkami se dvěma dvoukolíkovými paticemi. Nejprve bylo proto nutno vyvinout jednopaticové zářivky malých rozměrů a nízkých příkonů se světelnými toky odpovídajícími světelným tokům nejběžněji užívaných žárovek o příkonech 25 až 100 W. Dnes je k dispozici několik typů jednopaticových zářivek. Mohou být v provedení bez předřadníku a bez zapalovače s paticí se čtyřmi kontaktními kolíky. Např. v provedení se dvěma paralelními a vzájemně spojenými výbojovými trubicemi (tzv. provedení „dvoutrubičkové“) o příkonech 5, 7, 9 a 11 W s průměrem výbojové trubice 12 mm o délkách 85, 114, 144 a 214 mm se světelnými toky 250, 400, 600 a 900 *lm* nebo s příkony 18, 24, 36, 40 a 55 W o délkách do 225, 320, 415, 535, 535 mm při průměru trubice 17,5 mm se světelnými toky 1200, 1800, 2900, 3500 a 4800 *lm*, popřípadě v plošném provedení (dvě dvoutrubičky vedle sebe) o příkonech 18, 24, 36 W o délkách do 122, 165 a 217 mm se světelnými toky 1100, 1700 a 2800 *lm*.

Jiné konstrukční řešení představují zářivky se zapalovačem vestavěným do pouzdra patice se dvěma kontaktními kolíky. Tento typ zářivek se vyrábí např. s dvojnásobným výbojovým prostorem v tzv. „dvoutrubičkovém“ provedení o příkonech 5, 7, 9 a 11 W s průměrem výbojové trubice 12 mm o délkách 85, 114, 144 a 214 mm se světelnými toky 250, 400, 600 a 900 *lm* (které přibližně odpovídají světelným tokům 230, 430, 730 a 960 *lm* obyčejných žárovek o příkonech 25, 40, 60 a 75 W). Náčrt zmíněného konstrukčního uspořádání je nakreslen na obr. 6-19a.



Obr.6 – 19a

Náčrt konstrukce jednopaticové zářivky se zapalovačem vestavěným do pouzdra patice se dvěma kontaktními kolíky. Délka zářivky 9 W (11 W) je maximálně  $l = 145$  mm (215 mm) při průměru výbojové trubice  $d = 12$  mm



Obr.6 – 19b

Běžný je však zmíněný typ zářivek i s čtyřnásobným výbojovým prostorem v tzv. „čtyřtrubičkovém“ provedení, jehož konstrukce je naznačena na obr.6-19b. Např. jde o zářivky s vyššími příkony, a to 10, 13, 18, 26 W o délkách  $l = 87, 115, 130$  a 149 mm se světelnými toky 600, 900, 1200 a 1800 *lm*.

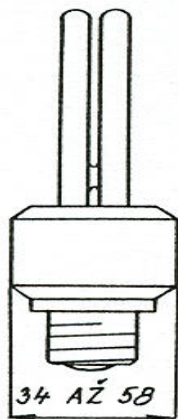
Doba života popsaných jednopaticových zářivek je dnes již běžně 8000, ale i 12000 h v závislosti na kvalitě použitých materiálů, zejména luminoforu, a na typu předřadníku. Jednopaticové zářivky se zapalovačem vestavěným do patice již někteří autoři zařazují do skupiny tzv. kompaktních zářivek. K nim však patří především zářivky s paticí E27, popříp. E14, se zabudovaným předřadníkem, kterými lze v řadě svítidel bezprostředně nahradit žárovky.

Kompaktní zářivky je možno opatřit také vnější skleněnou, např. opalizovanou, či tvarovanou baňkou. Vnější baňka může být buď válcová o průměru např. 64 mm, popřípadě kulová o průměru např. 100 mm. Při praktické aplikaci je nicméně zapotřebí vzít v úvahu, že vnější baňka, obdobně jako indukční předřadník, podstatně zvětšuje váhu světelného zdroje. Např. kompaktní zářivka o příkonu 18 W s konvenčním indukčním předřadníkem opatřená zmíněnou vnější baňkou váží 420 g. V porovnání s tím kompaktní zářivka s elektronickým předřadníkem bez vnější baňky o příkonu 20 W váží jen 110 g. Kvalitní luminofory využívané u kompaktních zářivek zajišťují při obvykle teple bílém barevném tónu světla vysoký měrný výkon těchto světelných zdrojů a také velmi dobré podání barev předmětů pozorovaných v jejich světle, charakterizované indexem podání barev  $R_a > 80$ .

Prudký rozvoj poznatků a nových technologií v elektronice a polovodičové technice umožnil, že byly pro kompaktní zářivky vyvinuty speciální miniaturní elektronické předřadníky. Využití elektronických předřadníků příznivě ovlivňuje provozní parametry kompaktních zářivek. Zvyšuje se jejich měrný výkon (i  $80 \text{ lm.W}^{-1}$ ), prodlužuje se jejich život (i 12.000 h) a výrazně se z hospodárňuje jejich provoz. Vzhledem k tomu, že cena elektronických předřadníků je zatím poměrně vysoká, je vysoká i pořizovací cena kompaktních zářivek vybavených elektronickými předřadníky. Nicméně podrobnější rozborů ukazují, že při ceně elektrické energie vyšší než 3 Kčs/kWh (což je už běžné i u podnikatelů v kategorii malooběratelů C2) se zvýšené investice v některých případech vrátí vlivem nižších výdajů za spotřebovanou elektrickou energii již po 3000 h, to znamená asi po roce provozu.

Na trhu jsou k dispozici také elektronické předřadníky bez pevně vestavěných zářivek. Horní část pouzder s takovými předřadníky je konstrukčně upravena a opatřena objímkou s kontaktními prvky umožňujícími snadnou výměnu samotných jednopaticových zářivek (v některých případech jde i o několik typů).

Kompaktní zářivky v provedení s několika paralelními a vzájemně propojenými výbojovými trubicemi s elektronickými předřadníky bez vnější baňky (příklad možného konstrukčního uspořádání je nakreslen na obr. 6-20) se běžně vyrábějí o příkonech 5, 7, 11, 15, 20 a 23 W se světelnými toky 200, 400, 600, 900, 1200 a 1500  $\text{lm}$ , takže dosahují měrných výkonů 60 až  $65 \text{ lm.W}^{-1}$ . Včetně patice E27 jsou délky uvedených zářivek, např. firmy Osram  $l = 121, 130, 139, 143, 156$  a 176 mm.



Obr.6- 20

Náčrt konstrukčního uspořádání kompaktní tzv. „čtyřtrubičkové“ zářivky bez vnější baňky. Elektronický předřadník je zabudován v pouzdře, které je zakončeno paticí se závitem E27 .

Produkují se i zářivky s paticí E14, a to o příkonech 5, 7 a 11 W s toky 200, 400 a 600  $\text{lm}$ . Vnější rozměr pouzdra předřadníku se obvykle pohybuje v rozmezí 34 až 58 mm. Pro porovnání

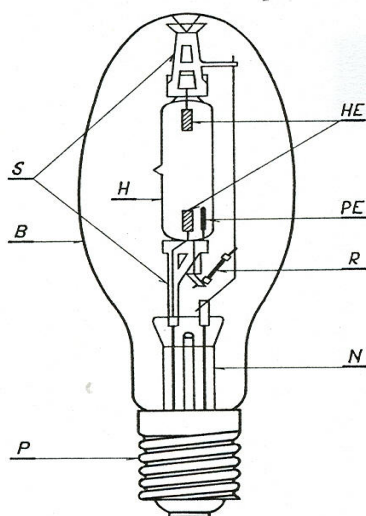


připomeňme, že baňka obyčejné žárovky do příkonu 100 W má průměr 60 mm a její délka (včetně patice) je 105 mm. Snaha po zkrácení délky kompaktních zářivek 15, 20 a 23 W vedla k zajímavé konstrukci výbojových trubic ve tvaru tří obrácených písmen U. Firma Philips tak zkrátila délku kompaktních zářivek uvedených příkonů na 124, 143 a 158 mm. Doba života kompaktních zářivek s elektronickými předřadníky je v současnosti již desetinásobkem doby života klasických žárovek.

V porovnání s osvětlovacími soustavami se žárovkami je možno při dosažení stejného světelného toku v soustavách s kompaktními zářivkami s elektronickými předřadníky uspořit až 80 % elektrické energie při  $R_a > 80$ . Kompaktní zářivky vybavené elektronickými předřadníky spolehlivě zapalují i při teplotách do  $-30^{\circ}\text{C}$  (u zářivek o příkonu 23 W do  $-20^{\circ}\text{C}$ ) a poloha jejich provozu je libovolná. Tyto zářivky lze zapínat jako žárovky (pokud nebudou pravidelně spínány v intervalech kratších než 1 minuta), aniž by se tím snižovala doba jejich života. Výrobci je testují na více než 500.000 zapínacích cyklů (60 s zapnuto, 150 s vypnuto). Závislost světelného toku kompaktních zářivek na teplotě okolí je obdobná jako u zářivek lineárních. Obsah toxické rtuti je u těchto zářivek snížen na nejnižší míru (2 mg). Předností kompaktních zářivek je rovněž dlouhý život (přední výrobci u některých typů dosahují až 20 tisíc hodin). Tyto zářivky lze provozovat se stmívači (běžně zářivky s příslušným elektronickým předřadníkem, ale i některé nejnovější typy zářivek s integrovaným elektronickým předřadníkem). Kompaktní zářivky s elektronickými předřadníky se s výhodou používají jako bezprostřední náhrada za žárovky, a to všude tam, kde tomu nebrání jejich geometrické rozměry, odlišné rozložení svítivosti či konstrukční řešení svítidel.

## 6.9 Rtuťové vysokotlaké výbojky

Viditelné záření vzniká u těchto výbojek zářením výboje v parách rtuti o tlaku obvykle vyšším než 0,1 MPa. Konstrukce rtuťové vysokotlaké výbojky je schematicky načrtnuta na obr.6-21.



Výbojová trubice (hořák) **H** provedená z křemenného skla je nosným systémem **S** upevněna na nožce **N**. Hlavní elektrody **HE** jsou ze svinutého wolframového drátu a pokrývají se emisní vrstvou kysličníků barya, stroncia nebo vápníku. Zapalovací molybdenová elektroda **PE** je zapojena přes rezistor **R** (10 až 25 k $\Omega$ ) k protilehlé hlavní elektrodě. Vnější baňka **B** má většinou eliptický (izotermický) tvar, je z tvrdého borosilikátového skla (u výbojek nad 250 W) a opatřuje se patičí **P** buď typu E27 (do 125 W) nebo E40 (od 250 W výše). Vnější baňka **B** se plní směsí argonu a dusíku na tlak 45 až 52 kPa a chrání nosný systém před oxidací, nepropouští ultrafialové záření a tvoří dobrou tepelnou izolaci pro udržení tlakových podmínek v hořáku. Hořák se plní rtutí (provozní tlak 0,2 až 0,9 MPa) a pro usnadnění zápalu ještě argonem (obvykle na tlak 2 až 3 kPa). Teplota v ose výboje bývá asi 5500 K a teplota stěny hořáku asi 600 až 800 °C.

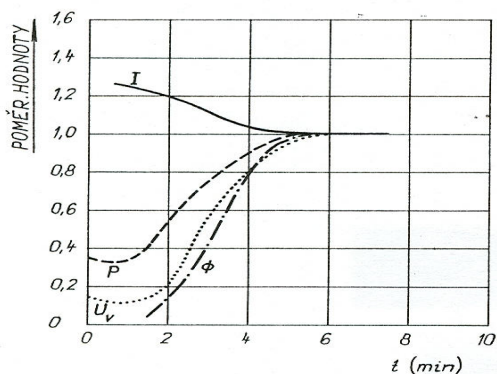
Obr.7 - 21

Konstrukční uspořádání rtuťové vysokotlaké výbojky s elipsoidní vnější baňkou

Rtuťové vysokotlaké výbojky vyzařují do viditelné části spektra téměř 15% přivedené energie. Jejich světlo je modrozelené až modrobílé. Chybí v něm červená složka (zvláště v oblasti nad 600 nm). To je z hlediska osvětlování nevhodné, neboť vnímání barev je velmi zkresleno. Proto se na vnitřní stěnu baňky nanáší luminofor, který část UV záření transformuje do červené oblasti

spektra, čímž se podíl červené složky zvýší na 6 až 12%. Tak vznikne rtuťová vysokotlaká výbojka s luminoforem, pro níž se u nás dříve užívalo označení RVL.

K ustálení výboje ve rtuťových parách dochází u rtuťových vysokotlakých výbojek asi po 5 min. provozu. Příklad náběhových charakteristik příkonu **P**, proudu **I**, napětí na výbojce  $U_v$  a světelného toku  $\Phi$ , je nakreslen na obr.6-22.

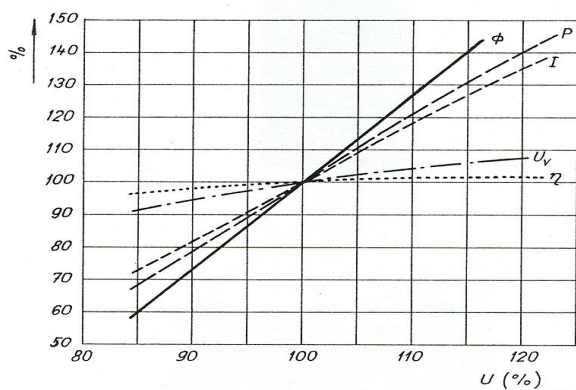


Obr. 6 – 22

Po krátkodobém přerušení napájení výbojky zapálí výbojka znovu až po snížení tlaku rtuťových par (cca po 3 až 7 minutách).

Obvyklé závislosti světelného toku  $\Phi$ , příkonu **P**, měrného výkonu  $\eta$ , napětí na výboji  $U_v$  a proudu **I** vysokotlaké rtuťové výbojky na změnách napájecího napětí jsou nakresleny na obr.6-23.

Výhodou rtuťových vysokotlakých výbojek je relativně malý pokles světelného toku v průběhu života i odolnost proti větším změnám teploty a proti otřesům.



Obr. 6 – 23

Orientační hodnoty elektrických a světelně technických parametrů standardních vysokotlakých rtuťových výbojek s luminoforem jsou shrnuty v tab.6-7.

Tab.6 – 7 Základní parametry vybraných typů vysokotlakých rtuťových výbojek

Jmenovitý příkon (W)	Příkon včetně předřadníku (W)	Světelný tok (lm)	Měrný výkon (lm.W <sup>-1</sup> )	Délka max. (mm)	Průměr baňky (mm)	Jmenovitý proud (A)	Kompen. kondenz. (μF)
50	59	1800	36	130	55	0,6	7
80	89	3800	48	156	70	0,8	8
125	137	6300	50	170	75	1,15	10
250	266	13000	52	226	90	2,15	18
400	425	22000	55	290	120	3,25	25
700	735	38500	52	330	140	5,4	40
1000	1045	58000	58	390	165	7,5	60

Pozn. U vysokotlakých rtuťových výbojek ve standardním provedení (např. firma Osram typ HQL) je využito luminoforu na bázi yttriumvanadátu. Výbojky o příkonu 125 W jsou opatřeny patičí E27, výbojky vyšších příkonů pak patičí E40. Po zapálení dosahují výbojky plného světelného toku asi po 5 minutách provozu. Náběhový proud výbojek je podle typu výbojky a předřadníku o 40 až 90 % vyšší než proud jmenovitý.

Pravděpodobnost poruchy je u výbojkového osvětlení menší než u instalací se zářivkami, neboť na jednu výbojku připadá poloviční počet kontaktů v napájecím obvodu. Výbojek RVL lze použít ve vnitřním i venkovním průmyslovém osvětlení, při osvětlování komunikací, sportovišť i při slavnostním osvětlování významných objektů. V průmyslových provozech je z bezpečnostních důvodů osvětlovací soustavu s vysokotlakými rtuťovými výbojkami většinou nutno doplnit náhradní soustavou se zářivkami či žárovkami. Výbojky RVL se nehodí pro osvětlování prostorů s vysokými nároky na barevné podání (např. obrazárny, muzea, společenské místnosti, byty apod.). Postupně jsou však výbojky RVL v různých aplikacích nahrazovány efektivnějšími výbojkami halogenidovými.

Opatří-li se rtuťová vysokotlaká výbojka baňkou ze speciálního černého (Woodova) skla propouštějícího pouze UV záření v oblasti vlnové délky 365 nm, získá se zdroj (typové označení RVU vyráběný o příkonu 125 W) pro fluorescenční analýzu a buzení fluoreskujících umělých látek užívaný ve vědě, průmyslu, v kriminalistice i v černém divadle.

Hořák rtuťové vysokotlaké výbojky opatřený vhodným krytem může sloužit jako zdroj UV záření např. pro horská slunce (dříve se užívalo označení RVK; obvykle se vyrábí o příkonech 125, 250 a 400 W). Nejčastěji se provozuje s odporovým předřadníkem (90 Ω u RVK 125 W, 30 Ω u RVK 400W) provedeným ve tvaru kantalové šroubovice v křemenné trubici. Předřadník plní současně funkci infrazářiče s vhodnou spektrální charakteristikou. Doba života zdroje je 1000 h.

## 6.10 Halogenidové výbojky

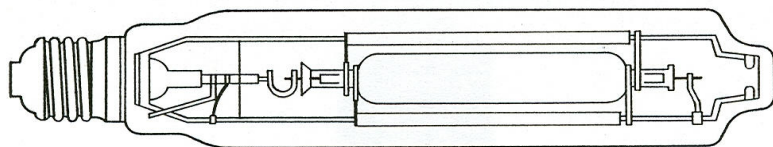
Halogenidové výbojky jsou vysokotlakové rtuťové výbojky, u nichž viditelné záření vzniká nejen zářením par rtuti, ale převážně zářením produktů štěpení halogenidů, tj. sloučenin halových prvků např. s galiem, thaliem, sodíkem apod. Získá se tím podstatně zvětšení měrného výkonu při dobrém podání barev a zůstává zachována výhoda vysokotlakých rtuťových výbojek, tzn. malé rozměry a velký výkon v jednom světelném zdroji.

Minimální provozní teplota hořáku výbojky je 700 až 750 °C, která je nezbytná pro vypařování příměsí. Provozní tlak rtuťových par bývá asi 0,5 MPa a tlak příměsí vyšší než  $1,33 \cdot 10^2$  Pa. Zapálení výboje usnadňuje náplň argonu (u bezrtuťových výbojek xenonu), ale spolehlivě se ho dosahuje jen vnějším zapalovačem (doutnavkovým, tyristorovým, vysokonapěťovým či impulzním). Amplituda napěťových impulzů bývá 1,8 až 5 kV. Výbojky pracují při teplotě okolí v rozmezí od -25 °C až do +60 °C.

Po zapálení probíhá výboj nejdříve v parách rtuti a inertního plynu. S nárůstem teploty se zvyšuje koncentrace halogenidů ve výboji. Při pracovní teplotě se v oblasti osy hořáku s vysokou teplotou halogenidy štěpí na atomy halogenu a příslušného kovu, které se vybudí a září. Současně se vytváří gradient koncentrace těchto atomů v radiálním směru. Atomy následně difundují ke stěnám hořáku s nižší teplotou, kde opět slučují na původní sloučeniny. Vzniká tak uzavřený cyklus, jehož existence je nezbytným předpokladem dosažení vysokého měrného výkonu, požadovaného spektrálního složení záření i dostatečně dlouhého života výbojky.

Halogenidové výbojky vyzařují dostatek energie i v červené oblasti spektra a mají tudíž poměrně vysoký index barevného podání ( $R_a = 65$  až 90). Vyšších hodnot indexu podání barev a tedy i věrnějšího vjemu barev se dosahuje u halogenidových výbojek, které v hořáku obsahují kromě obvyklých složek ještě dysprosium. Světelné spektrum a chromatičnost světla těchto výbojek vyhovuje i nejnáročnějším požadavkům v osvětlovacích soustavách pro snímání barevného televizního obrazu.

Konstrukce halogenidových výbojek je až na určité úpravy v zásadě podobná konstrukci obyčejných vysokotlakých rtuťových výbojek. Vnější čírá baňka výbojky je z tvrdého borosilikátového skla a má buď obvyklý elipsovitý tvar (u některých typů výbojek se pak pokrývají luminoforem nebo rozptýlnou vrstvou), nebo se provádí ve tvaru trubice (obr. 6-24). Pro speciální účely je možno výbojky provést v tzv. lineárním tvaru, kdy vnější křemenná trubice je na obou koncích opatřena zvláštní patičí. Hořák halogenidové výbojky je buď z křemenného skla nebo v současnosti nejčastěji z keramického materiálu (např. průsvitný polykrystalický oxid hlinitý – tzv. umělý korund, oxid yttritý aj.).



Obr. 6 – 24  
Náčrt konstrukčního uspořádání  
halogenidové výbojky s čírou  
válcovou baňkou



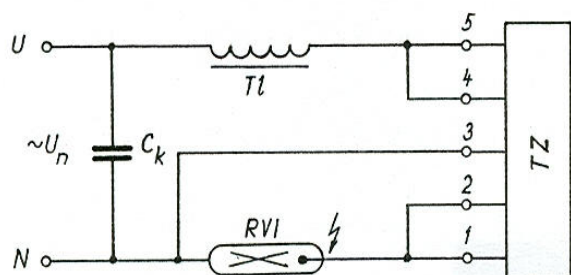
Orientační přehled o základních elektrických a světelně technických parametrech několika vybraných typů vysokotlakých halogenidových výbojek poskytuje údaje v tab. 6-8.

Tab. 6-8 Základní parametry vybraných typů vysokotlakých halogenidových výbojek <sup>1)</sup>

Jmenovitý příkon (W)	Příkon včetně předřadníku (W)	Světelný tok <sup>3)</sup> (klm)	Měrný výkon ( $lm.W^{-1}$ )	Délka max. (mm)	Průměr baňky (mm)	Jmenovitý proud <sup>2)</sup> (A)	Kompen. kondenz. ( $\mu F$ )
75	91	5,5	73	114,2	20	1,0	12
150	170	12	80	132	23	1,8	20
250	275	20	80	225	46	3,0	32
420	460	42	100	340	46	4,0	45
1000	1065	80	80	430	76	9,5	85
2000	2080	200	100	430	100	10,3	60
3500	3650	320	91	430	100	18,0	100

- Pozn. 1) Halogenidové výbojky s čirou válcovou baňkou (např. typu HQIT firmy Osram) s vnějším zapalovačem. Výbojky o příkonu 75 a 150 W jsou opatřeny patičí E27, výbojky vyšších příkonů patičí E40.  
 2) Náběhový proud je podle typu výbojky a předřadníku asi o 40 až 90 % vyšší než proud jmenovitý.  
 3) Podle údajů firmy Osram dosahují uvedené halogenidové výbojky po zapálení plného světelného toku asi za 2 až 4 min. provozu.

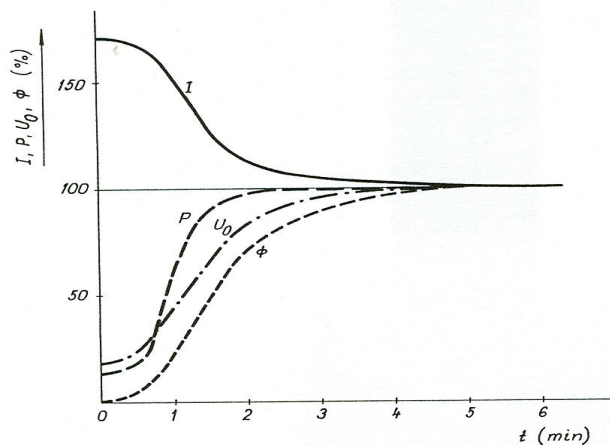
Halogenidové výbojky se napájejí přes tlumivku a zapalovací zařízení. Obvyklé schéma zapojení je nakresleno na obr.6-25. Vysokonapěťový vodič musí být vždy připojen na střední kontakt objímky.



Obr.6 - 25  
Příklad schématu napájení halogenidové výbojky (výbojka v obr. označena RVI)

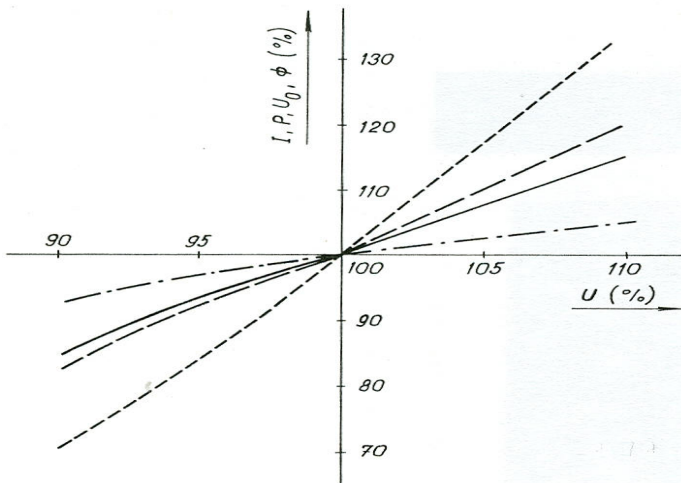
$T_l$  - tlumivka, TZ - zapalovací zařízení,  
 $C_k$  - kompenzační kondenzátor,  
 $U_n$  - jmenovité napětí sítě

Doba dosažení plného světelného toku po zapálení se u halogenidových výbojek pohybuje podle typu od 2 do 10 minut po připojení. Příklady náběhových charakteristik příkonu P, proudu I a světelného toku  $\Phi$  výbojek RVI jsou nakresleny na obr.6-26a. Po zhasnutí výbojky je možné nové její zapálení až po dostatečném snížení tlaku rtuťových par v hořáku. Bývá to asi po 15 minutách chladnutí.



Obr.6 - 26a

Příklady náběhových charakteristik halogenidové výbojky



Se změnou napájecího napětí se mění nejen příkon  $P$ , proud  $I$  a světelný tok  $\Phi$  (viz obr.6-26b), ale též chromatičnost světla. Proto se pro halogenidové výbojky požaduje maximální kolísání napájecího napětí  $\pm 5\%$ .

Obr. 6 – 26b

Příklad závislosti světelného toku  $\Phi$ , příkonu  $P$ , proudu  $I$  a napětí na výbojce  $U_0$  na změnách napájecího napětí  $U$  pro halogenidovou výbojku

I přes vyšší pořizovací náklady, nutnost použití zapalovacích zařízení a velkou citlivost parametrů na změny napájecího napětí nalézají halogenidové výbojky široké uplatnění nejen ve veřejném a průmyslovém osvětlení, ale i při osvětlování sportovišť a osvětování různých objektů. Využívá se jich i v prostorech s vysokými nároky na barevné podání, např. v technice barevného televizního záznamu apod. V lékařství se úspěšně používá modrého světla halogenidové výbojky k léčení kojenecké žloutenky. V polygrafickém průmyslu se k fotografickému kopírování využívá speciálních výbojek vyzařujících v modré části spektra a v oblasti blízké ultrafialovému záření.

Halogenidové výbojky zaznamenaly v posledních letech bouřlivý rozvoj díky využití technologie keramických hořáků nejprve válcového tvaru a následně ve tvaru blízkého elipsoidu (firma Osram tento tvar keramického hořáku označuje názvem Powerball – obr.6-27) v široké příkonové řadě až do 400 W. To vedlo ke stabilizaci kvalitativních parametrů v průběhu doby života a k nárůstu měrného výkonu až na  $83 \text{ lm.W}^{-1}$  a doby života na 12000 hodin. Druhou významnou vývojovou tendencí je miniaturizace těchto zdrojů a rozšiřování typů výbojek s příkonem pod 70 W. Již v roce 2006 byly představeny halogenidové výbojky o příkonu 20 W (včetně předřadníku do 25 W) s měrným výkonem  $80 \text{ lm.W}^{-1}$ , teplotou chromatičnosti 3000 K, dobou života 12.000 hodin a s většími rozměry blízkými se rozměrům halogenových žárovek. Zajímavé jsou pokusy s novými plynovými náplněmi, včetně dávkování sodíku do hořáku halogenidových výbojek, což vlastně předznamenává, že v budoucnu by vlastně mohl zmizet rozdíl mezi halogenidovými výbojkami a vysokotlakými sodíkovými výbojkami.



Obr. 6-27

Příklad halogenidové výbojky s keramickým hořákem ve tvaru elipsoidu

## 6.11 Nízkotlaké sodíkové výbojky

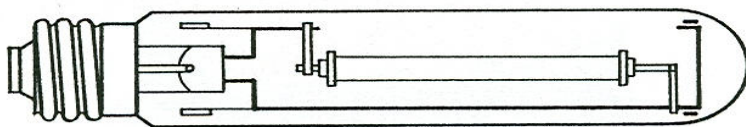
Podobně jako výboje v parách rtuti mohou být i výboje v parách sodíku zdroji viditelného záření. Charakteristickou vlastností nízkotlakých sodíkových výbojek je, že při parciálním tlaku sodíkových par asi 0,5 Pa a teplotě stěny výbojové trubice okolo 270 až 300 °C vyzařují prakticky monochromatické záření v pásmu dvou blízkých vlnových délek 589,0 a 589,6 nm (sodíková rezonanční dvojčára) ve žluté oblasti spektra. Jde o záření v blízkosti maxima spektrální citlivosti oka, což na jedné straně podmiňuje vysoký měrný výkon těchto výbojek dosahující až 200  $lm.W^{-1}$ ), ale na druhé straně to znamená, že v jejich světle nelze rozlišovat barvy ( $R_a = 0$ ). Proto je použití nízkotlakých sodíkových výbojek omezeno na místa, kde není hustý provoz a pohyb lidí, např. výpadové silnice, dálnice, seřaďovací nádraží apod. a dále na místa, kde se jejich světla využívá jako barevného signálu. Ve žlutém světle se dobře rozeznávají podrobnosti, vytvářejí se větší kontrasty jasů, je vyloučena chromatická vada oka a proto jsou nízkotlaké výbojky vhodné i pro osvětlování v mlze (např. povrchové doly apod.).

Výbojová trubice nízkotlakých sodíkových výbojek má buď kruhový průřez a ohýbá se do tvaru U či W (vnější baňka má pak jednu patici) nebo má nekruhový průřez a pak se vnější baňka výbojky opatřuje dvěma zářivkovými paticemi (lineární provedení). Vnější baňka musí výbojovou trubici dobře tepelně izolovat, a proto se provádí buď dvojítá (Dewarova nádoba) nebo je sice jednoduchá, ale s vysokým vakuem.

Nízkotlaké sodíkové výbojky se u nás používají jen výjimečně. Obvykle se vyrábějí o příkonech 37, 55, 89, 129 a 180 W s měrnými výkony zdrojů 122, 147, 146 a 179  $lm.W^{-1}$ . Firma Philips kromě toho vyrábí další řadu nízkotlakých sodíkových výbojek typu SOX-E o příkonech 17,5, 27, 35, 65, 90 a 127 W s měrnými výkony 103, 137, 166, 165, 189 a 203  $lm.W^{-1}$ . Příkony této řady výbojek SOX-E včetně předřadníku jsou 27,4, 32,5, 46,5, 81,5, 107,5 a 147 W, z čehož plynou měrné výkony výbojek s předřadníkem 99, 114, 125, 131, 158 a 176  $lm.W^{-1}$ .

## Vysokotlaké sodíkové výbojky

Zvýšením tlaku par sodíku (asi na 26,6 kPa) v hořáku sodíkové výbojky se dosahuje podstatného zlepšení chromatičnosti vyzařovaného světla ( $R_a = 20$ ), ovšem i nižšího měrného výkonu (cca 120  $lm.W^{-1}$ ) než u nízkotlaké výbojky. S ohledem na velkou chemickou aktivitu sodíku a vysoké provozní teploty (800 °C) musí být hořák výbojky proveden z polykrystalického či monokrystalického kysličníku hlinitého (korundu). Hořák se plní netečným plynem (Ar nebo Xe) a amalgamem sodíku. Náplň xenonu zvyšuje měrný výkon zdroje asi o 5%, ale zvyšuje zápalné napětí. Přítomnost rtuti přispívá ke zlepšení chromatičnosti světla zdroje a zejména zvyšuje napětí na výboji asi na 100 V (bez rtuti činí asi 42 V) a tudíž snižuje přibližně na polovinu proud výbojkou, což usnadňuje konstrukci předřadné tlumivky. Konstrukční uspořádání vysokotlaké sodíkové výbojky je patrné z obr.6-28. Vnější baňka se provádí většinou čirá válcovitá a čerpá se na vysoké vakuum, které se v průběhu života udržuje baryovým getrem. Baňka může mít i kapkovitý tvar s rozptýlnou vrstvou nanesenou na vnitřní stěně, čímž se docílí optických vlastností podobných vysokotlakým rtuťovým výbojkám.



Obr.6 – 28

Schematický náčrt obvyklého konstrukčního uspořádání vysokotlaké sodíkové výbojky s čirou válcovou baňkou

Vysokotlaké sodíkové výbojky s vnější eliptickou baňkou pokrytou rozptýlnou vrstvou mají nižší jas svítícího povrchu a mohou být po výměně předřadníku a doplnění zapalovače použity v některých typech svítidel původně určených pro vysokotlaké rtuťové výbojky s luminoforem. Některé typy vysokotlakých sodíkových výbojek mohou být provozovány bez zapalovače. Některé z těchto typu se používají pro přímou náhradu za vysokotlaké rtuťové výbojky beze změny předřadných přístrojů. Zapálení výboje v těchto případech umožňuje speciální náplň hořáku (tzv. Penningova směs) a pomocná elektroda navinutá kolem hořáku.

Velmi dlouhý život (dosahující např. až 30.000 h) vysokotlakých sodíkových výbojek a minimální pokles světelného toku v průběhu jejich provozu řadí tyto zdroje k nejhospodárnějším vysokotlakým výbojovým světelným zdrojům. Orientační přehled o základních elektrických a světelně technických parametrech několika vybraných typů vysokotlakých sodíkových výbojek poskytují údaje v tab.6-9.

Tab. 6-9 Základní parametry vybraných typů vysokotlakých sodíkových výbojek <sup>1)</sup>

Jmenovitý příkon (W)	Příkon vč. předřad. (W)	Světelný tok <sup>3)</sup> (klm)	Měrný výkon (lm.W <sup>-1</sup> )	Délka max. (mm)	Průměr baňky (mm)	Jmenovitý proud <sup>2)</sup> (A)	Kompen. kondenz. (μF)
50	62	4,0	80	156	37	0,77	10
70	83	6,5	93	156	37	1,0	12
100	115	10	100	211	46	1,2	12
150	170	17	113	211	46	1,8	20
250	270	33	132	257	46	3,0	32
400	440	55,5	139	285	46	4,4	45
600	645	90	150	285	52	6,2	65
1000	1075	130	130	390	65	10,3	100

Pozn. 1) Vysokotlaké sodíkové výbojky s čírou válcovou baňkou (např. typu VIALOX NA V T SUPER firmy Osram) s vnějším zapalovačem. Výbojky o příkonu 50 a 70 W jsou opatřeny patičí E27, výbojky vyšších příkonu patičí E40. Výbojka o příkonu 1000 W je typu NA VT Standard a má vnější válcovou baňku pokrytou rozptýlnou vrstvou.

2) Náběhový proud výbojky je asi o 25% vyšší než proud jmenovitý.

3) Po zapálení dosahují výbojky (podle typu výbojky a předřadníku) plného světelného toku asi za 6 až 10 minut provozu.

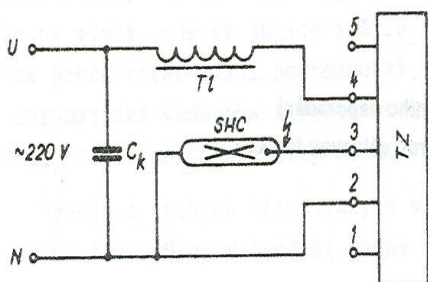
Vývojové tendence jsou u vysokotlakých sodíkových výbojek zaměřeny jak na zvyšování měrného výkonu (špičkové výrobky až 200 lm.W<sup>-1</sup> – ovlivněno materiálem a geometrií hořáku, plnicím plynem, ale zejména tlakem sodíkových par [optimum 10 kPa]), tak na zlepšení barevného podání ( $R_a \approx 60$ ), např. dávkováním některých prvků do jejich hořáků. Zajímavé jsou i konstrukce sodíkových výbojek se dvěma paralelními hořáky ve společné baňce (čímž se zásadně prodlužuje doba života výbojky – v provozu je vždy jen jeden hořák, druhý se rozsvítí např. krátkodobém výpadku sítě či při závadě prvního). Přední výrobci uvedli též na trh sodíkové výbojky umožňující přepínání teploty chromatičnosti vyzařovaného světla nebo jejich příkonu, což přispívá k rozšíření aplikačních oblastí těchto zdrojů. Vyrábějí se i výbojky s upraveným zářením v modré části spektra určené s osvětlování skleníků s celoroční rostlinnou výrobou.

I u vysokotlakých sodíkových výbojek se prosazují miniaturizační tendence a snaha v širší míře využívat tyto výbojky i v interiérech. Hlavní aplikační oblastí těchto zdrojů však zůstává uliční osvětlení, osvětlení tunelů, náměstí, nádražních hal, průmyslových objektů, velkých prostranství, letišť apod., kde nejsou kladeny velké požadavky na kvalitu podání barev předmětů.

Zde je třeba poznamenat, že klasické vysokotlaké výbojky se zlepšeným podáním barev jsou v praxi stále častěji nahrazovány halogenidovými výbojkami s keramickým hořákem, u kterých se podařilo dosáhnout vyšších měrných výkonů i při lepších vlastnostech z hlediska podání barev.



Vysokotlaké sodíkové výbojky se napájejí přes tlumivku a zapalovací zařízení (viz obr.6-29). Pro zapálení výboje zajišťuje zapalovací zařízení napěťové impulzy až asi 3, resp. 4,5 kV. Kapacita vedení mezi výbojkou a zapalovačem nesmí ovšem překročit 100 pF.



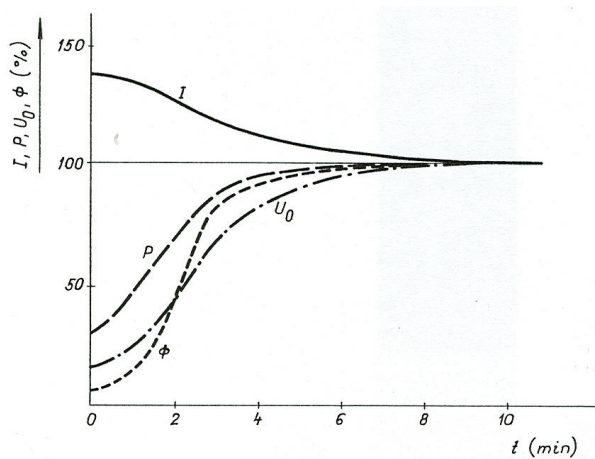
Obr.6 – 29  
Schéma napájení vysokotlaké sodíkové výbojky

Tl- tlumivka, TZ – zapalovací zařízení  
(u SHC 50 a SHC 70 typ TZ 10 s napěťovými impulzy 1,9 až 2,8 kV, u výbojek vyšších příkonů typ TZ 11 nebo TZ 12 s napěťovými impulzy 3 až 4,5 kV),  
C<sub>k</sub> – kompenzační kondenzátor (viz tab.6-10)

Zapalovací zařízení je řešeno tak, že po zapálení výboje přestane dodávat napěťové impulzy. Je-li však závada na výbojce, je zařízení po připojení napájecího napětí trvale v činnosti až do výměny výbojky, či odpojení svítidla, popřípadě až do poškození samotného zapalovače. Zapalovací zařízení je v normálním provozu zdrojem krátkodobého rušení. Provoz vysokotlakých sodíkových výbojek, včetně zapalovacího zařízení je možný při teplotě okolí od -40 °C do +65 °C. Při krátkodobém přerušení elektrického proudu výbojka zhasne. Zapalovač začne pracovat a po celou dobu chladnutí výbojky (asi 1 minutu) dává vysokonapěťové impulzy.

Při provozu výbojek je třeba dbát, aby nedošlo ke zvýšení jejich provozní teploty, neboť to vyvolá zvýšené napětí na výbojce a při překročení jeho určité hodnoty výbojka zhasíná. Po částečném ochladnutí výbojka znovu zapálí a tento cyklus se pak stále opakuje. Opakované zhasínání a rozsvícení je doprovodným jevem objevujícím se též na konci života vysokotlaké sodíkové výbojky.

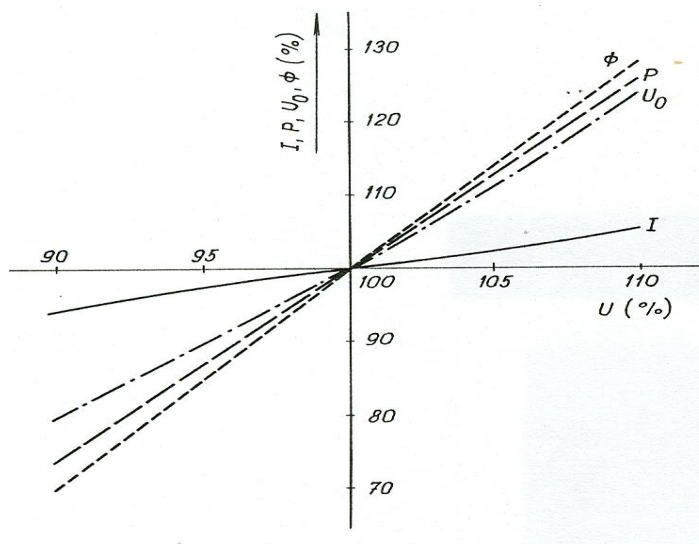
Po zapálení dosahují vysokotlaké sodíkové výbojky plného světelného toku asi po 8 až 10 minutách. Náběhové charakteristiky příkonu P, proudu I, napětí na výbojce U svělelného toku  $\Phi$  jsou zakresleny na obr.6-30.



Obr.6 – 30

Příklad náběhových charakteristik vysokotlakých sodíkových výbojek

Vliv kolísání napájecího napětí U na příkon P, světelný tok  $\Phi$ , proud I a napětí na výbojce U<sub>v</sub> u výbojek typu SHC je zřejmý z obr.6-31. Trvalý provoz při napětí zvýšeném o 5% výbojku značně přetěžuje. Na druhé straně provoz při napětí o 5% nižším než je napětí jmenovité znamená snížení světelného toku asi o 15%. Z toho vyplývá, že kolísání napájecího napětí by v běžném provozu nemělo překročit ±5%.



Obr. 6 – 31

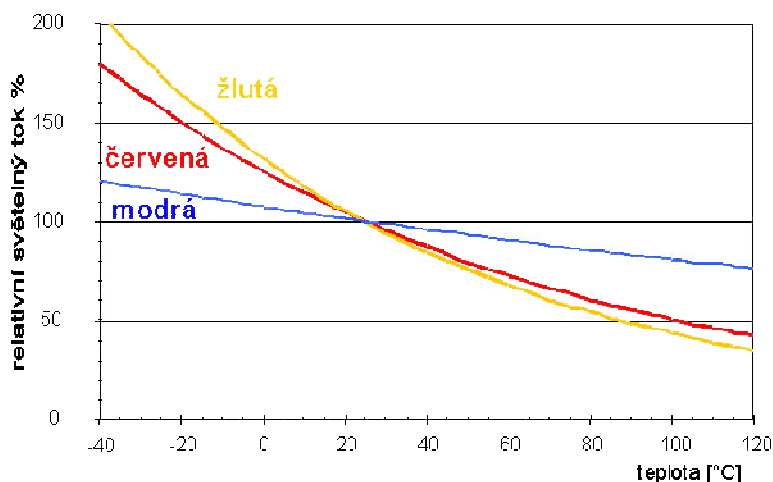
Závislost světelného toku  $\Phi$ , příkonu  $P$ , proudu  $I$  a napětí na výbojce  $U_0$  na napájecím napětí  $U$  pro klasickou vysokotlakou sodíkovou výbojku

### 6.13 Světlo emitující diody – LED

Jde o elektroluminiscenční diody známé pod označením **LED** (Light Emitting Diode), které jsou v současnosti považovány za nejperspektivnější světelný zdroj. Světlo emitující dioda je elektronický prvek, který generuje světelné záření při průchodu proudu polovodičovým přechodem v propustném směru. Při rekombinaci elektronu (spojení elektronu s iontem) se uvolňuje určité kvantum energie (přibližně rovné šířce zakázaného pásma), které se může vyzářit buď mimo krystal nebo může být absorbováno v mřížci krystalu (což se projeví zvýšenou teplotou) a je odváděno přes pouzdro diody do okolního prostoru. Záření je vždy omezeno na velmi úzké spektrum (v podstatě je tedy monochromatické). Např. kombinací materiálu GaAs (galium arsenid) s fosforem vzniká GaAsP (galium arsenid fosforid). Vytvoří-li se z tohoto materiálu přechod PN, získá se LED, která je zdrojem červeného záření.

Teoretické maximum měrného výkonu světlo emitujících diod je  $220 \text{ lm.W}^{-1}$ ; běžně se dosahuje  $50 - 60 \text{ lm.W}^{-1}$  při  $R_a > 90$  a teplotě chromatičnosti 4000 K. Předpokládá se, že nové technologie umožní do 10 až 15 let dosáhnout hodnoty  $150 \text{ lm.W}^{-1}$  při době života 100.000 h.

Důležitá je závislost světelného toku světlo emitujících diod na teplotě znázorněná na obr.6-32 změnou poměrného toku vztaženého k jeho hodnotě při cca  $24^\circ\text{C}$ . Je zřejmé, že při rostoucí teplotě tok klesá a naopak. U modré LED je závislost toku na změně teploty menší než u červené a největší změny vykazuje žlutá dioda.

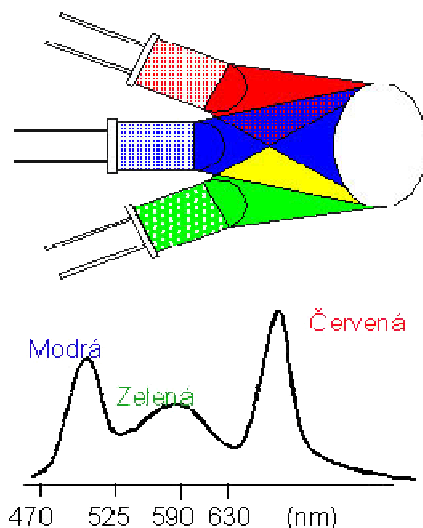


Obr. 6-32

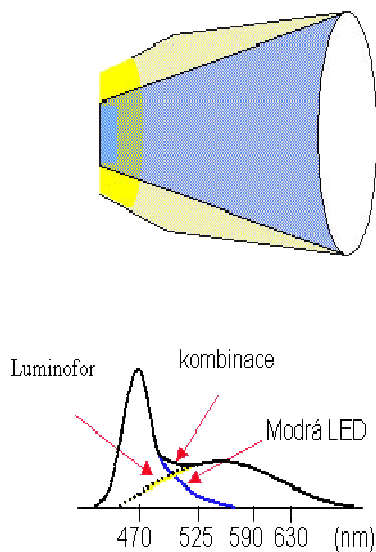
Závislost poměrného světelného toku různých typů diod LED na teplotě

Světlo emitující diodu vyzařující bílé světlo lze získat dvěma způsoby :

1. aditivním míšením (obr. 6-33) tří základních barev (červené, zelené, modré) ; tak se tvoří body zobrazovacích panelů. Řízením jasu a podílu složek se ovlivňuje barevný tón.
2. použije se čip modré LED a ještě uvnitř pouzdra se opatří vrstvou aktivní hmoty (speciální luminofory označované jako typ RGB nebo OYGB), která na principu obdobném jako u luminoforu zářivek převede část modrého záření do oblastí jiných vlnových délek (zvl. žluté). Výsledkem míšení modré a žluté je téměř bílý barevný tón vyzařovaného světla.



Obr. 6-33  
Vytvoření bílé LED smícháním  
červené, modré a zelené barvy



Obr. 6-34  
Vytvoření bílé LED s využitím modré a luminoforu

Jednou z předností svíticích diod je skutečnost, že vyzařovaný světelný tok je již usměrněn do určitého prostorovému úhlu (zpravidla s vrcholovým úhlem  $120^{\circ}$ ).

Vzhledem k tomu že jediná dioda LED má poměrně malý výkon, je třeba pro dosažení požadovaného výkonu diody sdružovat do celků. V důsledku toho nelze ve svítidle s diodami LED soustředit velký výkon zdrojů koncentrovaný do malého objemu. Na druhou stranu je však možno vytvářet svítidla s libovolně tvarovanými vyzařovacími plochami.

## 6.14 Indukční výbojky

Indukční výbojky patří do skupiny nízkotlakých výbojových zdrojů. Využívá se u nich principu elektromagnetické indukce k vysokofrekvenčnímu buzení výboje v bezelektrodevém prostoru baňky naplněné inertním plynem a parami kovů (např. amalgám india a vizmutu). Vnitřní povrch baňky je opatřen luminoforem (na bázi vzácných zemin), zajišťujícím transformaci vzniklého UV záření do viditelné oblasti spektra. Střídavý proud, protékající primárním vinutím budící cívky, indukuje střídavé magnetické pole uvnitř a vně ferritového jádra cívky. Toto střídavé magnetické pole pak indukuje proud v „sekundárním vinutí“, které je v daném případě představováno parami rtuti uvnitř zmíněného bezelektrodevého výbojového prostoru baňky. Indukovaný sekundární proud protéká parami kovu a rozkmitává volné elektrony. Ty se pak srážejí s atomy par kovů a vybudují je. Při návratu vybuděného atomu na jeho původní energetickou hladinu se emituje UV záření. To je po dopadu na vrstvu luminoforu transformováno na záření viditelné, vycházející z vnějšího povrchu baňky zdroje, obdobně jako u běžných zářivek. Indukční výbojky vykazují všechny přednosti, které poskytuje provoz při napájení proudem vysoké frekvence. Vlivem bezelektrodevé konstrukce mají extrémně dlouhý život (až 60000 h) při velmi dobré stabilitě světelného toku během provozu, čímž se podstatně snižují náklady na údržbu osvětlovací soustavy. Důležitou výhodou indukčních výbojek je též teplotní stabilita jejich světelného toku, a to v širokém teplotním rozsahu. Součástí svítidel pro indukční výbojky, popřípadě samotných výbojek, musí být filtry pro potlačení zpětných nepříznivých vysokofrekvenčních vlivů na napájecí síť.

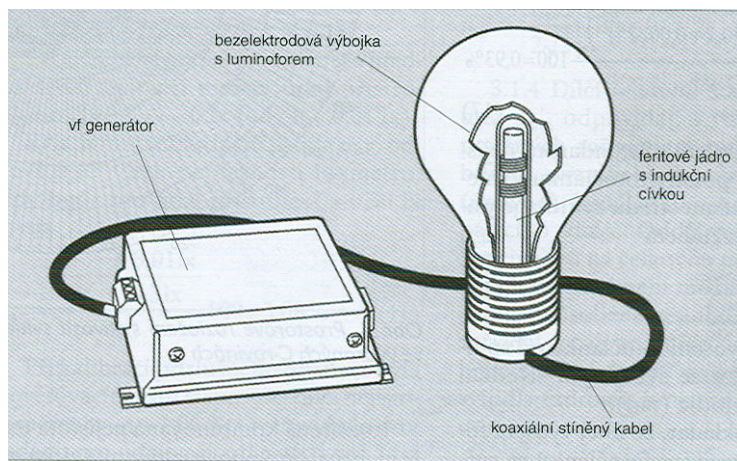


Indukční zdroje představují novou generaci světelných zdrojů. Na jejich vývoji se pracuje v laboratořích světových výrobců již po desetiletí. Prakticky využitelné typy těchto zdrojů se však postupně objevují teprve v posledních asi sedmi letech.

Např. firma General Electric vyrábí indukční výbojku „Genura“ (obr.6-35) o příkonu 23 W, délce 127 mm s průměrem baňky 82 mm. Výrobce uvádí dobu života 10000 h. Výbojka je opatřena reflektorem usměrňujícím světelný tok a zajišťujícím ochranu před rádiovým rušením. Nevýhodou je poměrně dlouhá doba náběhu (až několik minut). Má patici E27 a může tak v řadě případů přímo nahradit žárovku 100 W.

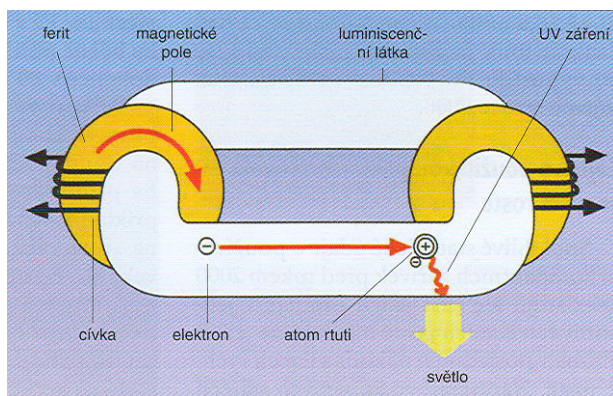
Obr.6-35 Indukční výbojka „Genura“





Firma Philips vyrábí indukční výbojky „QL“ (obr.6-36) o příkonech 55, 85 a 165 W se světelnými toky 3500, 6000 a 12000  $lm$  a měrnými výkony 64, 70 a 73  $lm.W^{-1}$  při indexu podání barev  $R_a \geq 80$ , době náběhu asi 0,5 s a době života až 60000 h. Baňky výbojek mají kapkovitý tvar o průměru 85, 111 a 131 mm. Tyto výbojky pracují při frekvenci 2,65 MHz.

Obr.6-36 Princip konstrukčního řešení indukční výbojky „QL“



Firma Osram vyrábí indukční výbojky typu „Endura“ (obr.6-37) o příkonech 70, 100 a 150 W se světelnými toky 6500, 8000 a 12000  $lm$  při pracovní frekvenci 250 kHz, měrném výkonu 93 a 80  $lm.W^{-1}$ ,  $R_a = 80$ , teplotě chromatičnosti vyzařovaného světla 4000 K a době života až 60.000 h. Výbojová trubice o průměru cca 55 mm je stočena do přibližně obdélníkového tvaru. Na kratších stranách tohoto obdélníku (o délce 140 mm) jsou na feritových jádrech nainstalovány budící cívky. Druhý vnější rozměr zdroje, včetně budících cívek, je 400 mm.

Obr.6-37 Princip indukční výbojky „Endura“

Na obdobném principu jako popsané indukční nízkotlaké výbojky rtuťové pracují indukční vysokotlaké sírné výbojky bez luminoformu, jejichž pracovní kmitočet dosahuje několika gigahertzů.

Indukční výbojky typu „Endura“ větších příkonů s baňkou z čirého křemenného skla bez luminoformu se též uplatňují jako intenzivní zdroje UV záření v oblasti UV-C, jejichž fotobiologických baktericidních účinků se využívá např. ve zdravotnictví či v potravinářském průmyslu k dezinfekci, vzduchu, vody, obilí, mouky pod.

Nízkotlaké indukční rtuťové výbojky zajišťují obdobně jako zářivky provozované s elektronickými předřadníky na vysoké frekvenci i při velmi dobrém barevném podání ( $R_a > 80$ ) vysoké měrné výkony blízké se 100  $lm.W^{-1}$ , ovšem i při větších příkonech jde o rozměrově kompaktní zdroje. Jejich předností je i dlouhý život (u některých typů již dnes výrobci uvádějí až 100 tisíc hodin), okamžitý start a znovuzápal, dobrá stabilita světelného toku v průběhu života a malý vliv kolísání napájecího napětí na změnu světelného toku. Jejich nevýhodou je nejen jejich vysoká cena a skutečnost, že v současnosti není vyřešena možnost jejich stmívání, ale i zásadní omezení zvyšovat jejich příkon, neboť dosažení vyšších světelných toků je podmíněno zvětšením plochy pokryté luminoforem a tedy i zvětšením rozměrů výbojky. Příkon dosud nejvýkonnější indukční výbojky je 400 W.

Indukční výbojky se využívají v osvětlovacích soustavách ve vnitřních i ve venkovních prostorech, zvláště tam, kde je obtížný přístup ke svítidlům a v případech, kde je snahou prodloužit interval výměny světelných zdrojů či kde při údržbě a opravách svítidel je třeba přerušit provoz (např. silniční tunely apod.).

#### Literatura

- [1] Waymouth, J.F.: Electric Discharge Lamps. Cambridge, Massachusetts and London. The T.M.I. Press 1971
- [2] Miškařík S.: Moderní světelné zdroje. Praha, SNTL, 1979
- [3] Habel J. a kol.: Světelná technika a osvětlování. FCC Public, Praha 1995
- [4] Dvořáček V.: Světelné zdroje. Časopis Světlo 2008, č.2 až 6, 2009, č.1 až 3.
- [5] ČSN IEC 50 (845) Mezinárodní elektrotechnický slovník. Kapitola 845: Osvětlení. 1996.
- [6] Katalog firmy Osram GmbH 2008/2009.
- [7] Technická dokumentace firmy Philips.