

# PARAMETRY SVĚTELNÝCH ZDROJŮ

(Kapitola č. 3)



## Studijní cíle

- Popis a vysvětlení funkce světelných zdrojů.
- Základní parametry sledované na světelných zdrojích.
- Přehled typů světelných zdrojů a možnost oblasti využití dle jejich vlastností.



## Klíčová slova

Měrný výkon, délka života, index podání barev, stálost světelně technických parametrů, energetický štítek, teplotní zdroje, výbojové zdroje.



## Čas potřebný ke studiu

130 minut

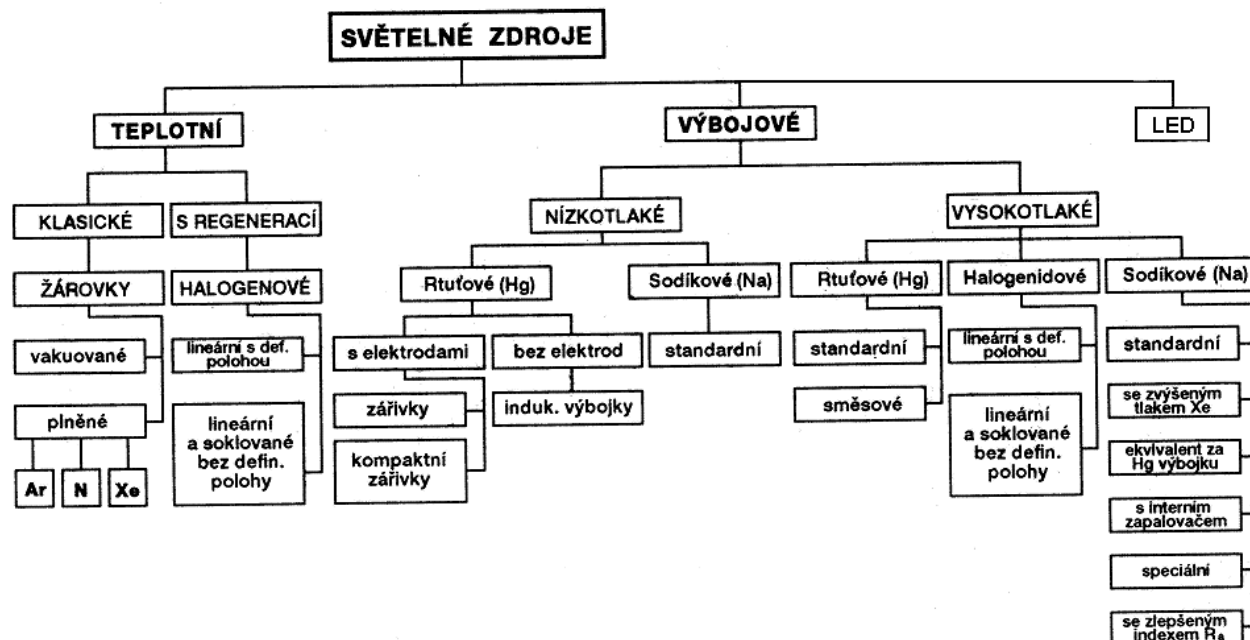


## Text k prostudování

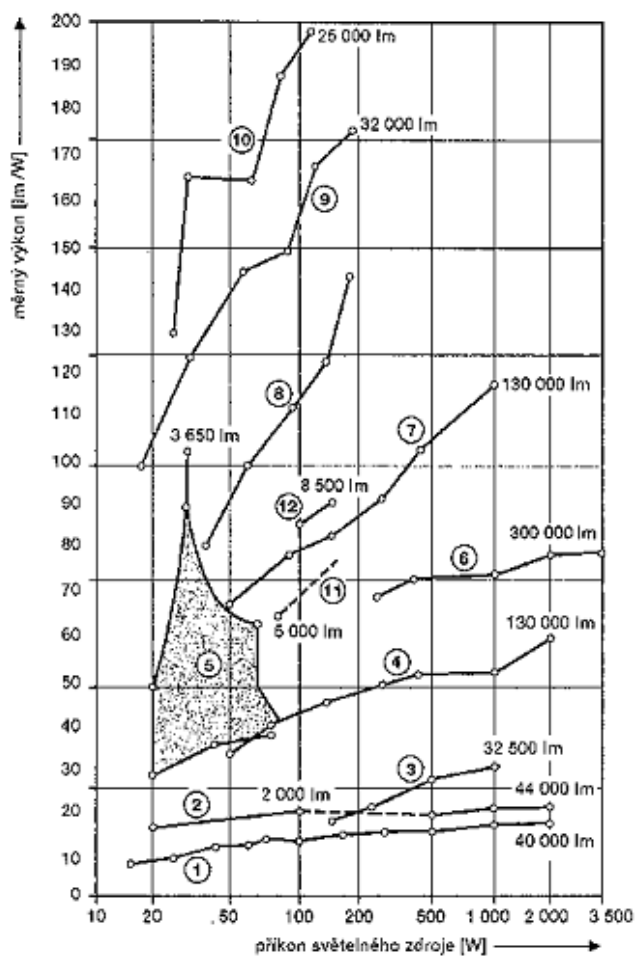
### Úvod

Pro získání přehledu o struktuře světelných zdrojů je v následující tabulce uvedeno jejich základní členění. Při pohledu na tabulku přerozdělení světelných zdrojů, je nutné si uvědomit, že rychlým nástupem moderních polovodičových technologií vstupují do hry nejen světelné zdroje teplotní a výbojové, ale také světelné zdroje na bázi LED diod. Lze předpokládat, že v blízké budoucnosti se i struktura LED diod bude dále členit.

Tab.3.1: Schematické rozdělení světelných zdrojů



Na Obr. 3.1 se nacházejí závislosti měrných výkonů zdrojů pro všeobecné osvětlování. Tyto závislosti ukazují velice důležitou vlastnost světelných zdrojů a sice míru přeměny spotřebované elektrické energie na vyzářený světelný tok. Pro jednotlivé typy světelných zdrojů jsou zde uvedeny měrné výkony pro jednotlivé příkony. Vzhledem k tomu, že LED diody se pohybují v oblasti velmi nízkých příkonů, není rozsah jejich měrných výkonů na obrázku znázorněn. V současnosti měrný výkon LED diod dosáhl maxima v oblastech do 60 lm/W.



Obr. 3.1: Měrné výkony světelných zdrojů pro všeobecné osvětlování

Legenda k obr. 3.1:

- (1) klasické žárovky
- (2) halogenové žárovky
- (3) směšové výbojky
- (4) rtuťové výbojky vysokotlaké
- (5) nízkotlaké – zářivky a kompaktní zářivky
- (6) halogenidové výbojky
- (7) vysokotlaké sodíkové výbojky
- (8) nízkotlaké sodíkové výbojky
- (9) nízkotlaké sodíkové výbojky nové generace SOX
- (10) nízkotlaké sodíkové výbojky nové generace SOX-E
- (11) indukční výbojky
- (12) indukční výbojky nové generace

### 3.1 Základní parametry světelných zdrojů

**Parametry světelných zdrojů lze rozdělit na kvantitativní a kvalitativní:**

- Mezi kvantitativní parametry patří vyzařovaný světelný tok  $\Phi$  (lm) a jejich elektrický příkon  $P$  (W). Pro vzájemné porovnání světelných zdrojů je velmi důležitou veličinou měrný výkon  $\eta_v$  (lm.W<sup>-1</sup>). Tyto parametry jsou důležité zejména pro uživatele a projektanty, kteří potřebují znát celkový příkon osvětlovací soustavy.
- Kvalita světelných zdrojů se posuzuje podle délky jejich života  $T$  (hod), podle barevného podání a podle stálosti světelně-technických parametrů.

Mezi důležité vlastnosti patří také geometrické rozměry, tvar, hmotnost, distribuce a možnost úpravy světelného toku. Samostatnou kapitolu pak tvoří pořizovací a provozní náklady.

Doba života žárovek končí přerušením vlákna a je dána užitečnou, případně fyzickou dobou života.

Barevné podání (index podání barev), nebo také chromatičnost světelných zdrojů je určena spektrálním složením vyzařované energie. Vyjadřuje se pomocí trichromatických souřadnic anebo teploty chromatičnosti. V praxi se však světelné zdroje rozlišují především podle barevného tónu vyzařovaného světla. Jakost úrovně vjemu barev se číselně vyjadřuje pomocí všeobecného indexu podání barev  $R_a$  (-). Při denním světle a světle teplotních zdrojů je barevné vnímání nejvěrnější a proto tyto mají  $R_a = 100$ . Při světle nízkotlaké sodíkové výbojky, která vyzařuje monochromatické světlo se vjem barvy nerozlišuje a proto je  $R_a = 0$ . Podání barev je uspokojivé, je-li  $R_a$  větší než 40 a za dobré je považováno je-li  $R_a$  větší než 80.

Stálost světelně technických parametrů souvisí s provozními vlastnostmi světelných zdrojů.

Jedná se o časovou závislost, kterou lze definovat jako rychlou nebo pomalou:

- Rychlými změnami se rozumí změny parametrů např. světelného toku v závislosti na napájecím napětí o frekvenci 50 Hz. Světelný tok kolísá s dvojnásobnou frekvencí a hloubka kolísání závisí na setrvačných vlastnostech světelného zdroje. Tento jev může vyvolat stroboskopický efekt, který se stává nebezpečnou záležitostí v některých provozech, zejména v provozech s točivými stroji. Mezi další rychlé změny patří také změny světelného toku v závislosti na kolísání efektivní hodnoty napětí. Toto kolísání je způsobeno provozem některých spotřebičů jako jsou např. elektrické obloukové pece. Rušivě ovlivňuje zrakový vjem zejména kolísání světelného toku v oblasti frekvencí 8 – 12 Hz. Na kolísání napětí jsou nejcitlivější žárovky. Mezi rychlé změny se také počítají změny parametrů v souvislosti s náběhem světelného zdroje po zapnutí k napájecí síti. Žárovky nabíhají téměř okamžitě, zatímco parametry výbojových světelných zdrojů se ustalují až po několika minutách.
- Pomalými změnami se rozumí závislost parametrů světelných zdrojů na statických změnách napětí, což se vyjadřuje pomocí křížových charakteristik. Mezi pomalé změny patří rovněž změny parametrů způsobené stárnutím světelných zdrojů. Během jejich doby života světelný tok klesá. Například u žárovek se sníží po 1000 hod. provozu světelný tok na 90 %. U výbojových zdrojů se požaduje, aby po uplynutí doby života nepoklesl jejich světelný tok pod 70 % jmenovité hodnoty.

### 3.2 Označování světelných zdrojů energetickými štítky

Vyhláška č. 442/2004, kterou se stanoví podrobnosti označování energetických spotřebičů energetickými štítky a zpracování technické dokumentace, jakož i minimální účinnost užití energie pro elektrické spotřebiče uváděné na trh, zasahuje svou účinností také do oblasti světelných zdrojů.

**Povinnost označování se týká elektrických zdrojů světla napájených z elektrické sítě:**

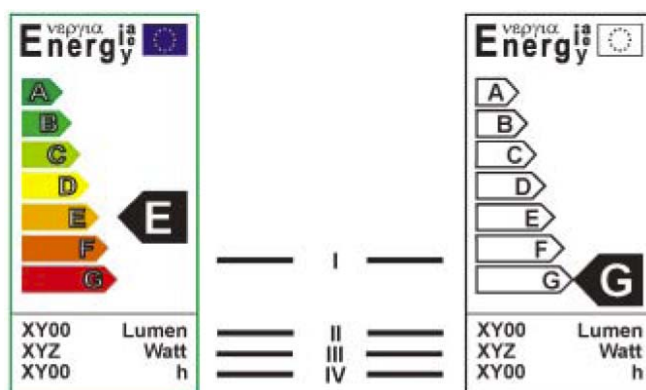
- žárovek a integrálních kompaktních zářivek,
- zářivek pro domácnost včetně lineárních a neintegrálních kompaktních zářivek.

**Nevztahuje se na:**

- světelné zdroje se světelným tokem vyšším než 6500 lm,
- světelné zdroje s příkonem nižším než 4 W,
- reflektorové žárovky,
- zdroje světla pro použití s jinými zdroji energie, např. bateriemi.

**Energetický štítek musí obsahovat tyto údaje:**

- třidu energetické účinnosti světelného zdroje
- světelný tok světelného zdroje – pokud je tento údaj jinde na obalu světelného zdroje může být na štítku vypuštěn
- příkon světelného zdroje (ve wattech) - pokud je tento údaj jinde na obalu světelného zdroje může být na štítku vypuštěn
- jmenovitou střední dobu života zdroje světla - pokud je tento údaj jinde na obalu světelného zdroje může být na štítku vypuštěn



Pro racionalizaci světelných zdrojů je velmi důležité určení třídy energetické účinnosti světelných zdrojů.

**Třída energetické účinnosti se určuje takto:**

**Zdroje světla se zařazují do třídy A, jestliže:**

- u zářivek bez vestavěného předřadníku (zdroje světla, které vyžadují předřadník nebo jiné zařízení pro připojení k síti)

$$W \leq 0,15 \cdot \sqrt{\Phi} + 0,0097 \cdot \Phi$$

- u jiných zdrojů světla

$$W \leq 0,24 \cdot \sqrt{\Phi} + 0,0103 \cdot \Phi,$$

kde  $\Phi$  je světelný tok zdroje světla v lumenech

W je příkon zdroje světla ve wattech.

Není-li zdroj světla zařazen do třídy A, vypočítá se referenční příkon  $W_R$  ze vztahu:

$$W_R = 0,88 \cdot \sqrt{\Phi} + 0,049 \cdot \Phi, \text{ jestliže } \Phi > 34 \text{ lm}$$

$$0,2 \Phi, \text{ jestliže } \Phi = 34 \text{ lm,}$$

kde  $\Phi$  je světelný tok zdroje světla v lumenech.

Index energetické účinnosti  $E_I$  se stanoví ze vztahu:

$$E_I = \frac{W}{W_R},$$

kde  $W$  je příkon zdroje světla ve wattech.

Tab. 3.2: Třídy energetické účinnosti se pak určují z následující tabulky

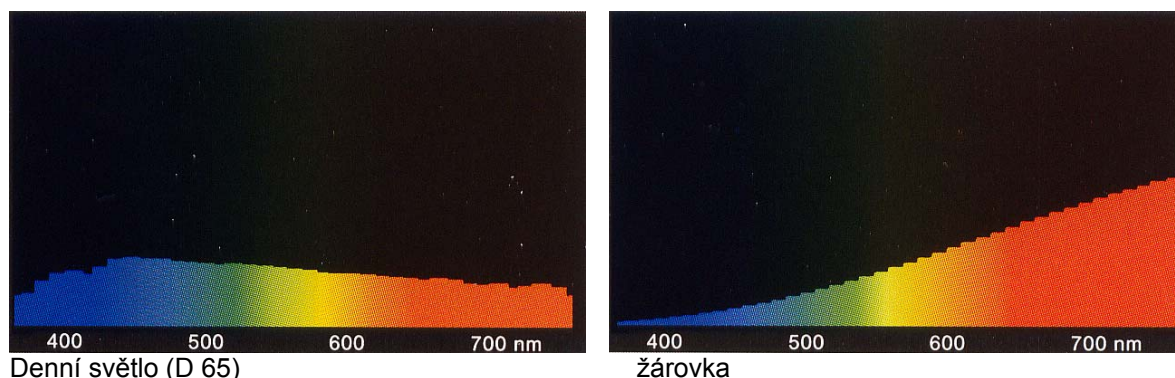
| Třída energetické účinnosti | Index energetické účinnosti $E_I$ |
|-----------------------------|-----------------------------------|
| B                           | $E_I < 60 \%$                     |
| C                           | $60 \% \leq E_I < 80 \%$          |
| D                           | $80 \% \leq E_I < 95 \%$          |
| E                           | $95 \% \leq E_I < 110 \%$         |
| F                           | $110 \% \leq E_I < 130 \%$        |
| G                           | $E_I > 130 \%$                    |

### 3.3 Teplotní zdroje

#### Klasické žárovky

Obyčejné žárovky jsou stále nejpopulárnějším světelným zdrojem. Jejich teplé světlo vytváří příjemnou atmosféru a jsou stále nejvyhledávanější ve výběru světelných zdrojů pro všeobecné osvětlování.

Měrný výkon žárovek se pohybuje okolo  $10 \text{ lm.W}^{-1}$ . Se vzrůstající teplotou vlákna vzrůstá jeho hodnota a také teplota chromatičnosti. První uhlíkové žárovky měly měrný výkon  $1,7 \text{ lm.W}^{-1}$ . Život žárovek se pohybuje okolo 1 000 hodin. Vlivem nových technologií navíjení vlákna a plnění baněk inertními plyny doba života dále vzrůstá.



Obr.3.2: Spektrální vyzařování na vlnové délce viditelného světla (380 nm až 780 nm)

Rozdíly mezi spektrem denního světla a spektrem žárovky velice názorně ukazují příčinu nízkého měrného výkonu žárovek. Většina vyzařené energie se nepohybuje ve viditelné části spektra (380nm – 780 nm), ale až v oblasti infračerveného, tedy neviditelného záření viz Obr. 3.2.

Světlo žárovek se může řídit nenákladnými stmívajícími zařízeními. Vzhledem k nízké teplotě chromatičnosti  $T_c$  a vysokému indexu barevného podání  $R_a = 100$  jsou stále oblíbené a hojně využívané hlavně v domácnostech, ale i ve společenských prostorách. Žárovky se vyrábějí v širokém sortimentu výkonů, rozměrů a tvarů pro speciální úlohy osvětlení a zvláštní nároky. Nové tvary a barevné odstíny dávají bytovým a společenským prostorám příjemnou atmosféru.

### ***Halogenové žárovky***

Halogenové žárovky jsou velmi kompaktní z čehož vyplývají široké možnosti jejich použití, zejména v přesném směřování světelných paprsků a proto se hodí pro osvětlování kanceláří a bytů.

Halogenové žárovky mají měrný výkon asi o 20 % vyšší než standardní žárovky. Ve standardní žárovce se wolfram z vlákna žárovky vypařuje a pokrývá povrch baňky, čímž se snižuje světelný tok žárovky. Kruhový proces uvnitř baňky způsobuje, že vypařený wolfram se při povrchu baňky slučuje s halogenem a vlivem tepelného pole se vrací zpět na nejteplejší místo vlákna, kde dochází k disociaci, tj. wolfram se usazuje zpět a halogen se vrací k povrchu baňky. Tím se nejen zvyšuje světelný tok, ale prodlužuje se také doba života halogenových žárovek.

#### **Kruhový proces je základem pro následující výrazné přednosti halogenových žárovek:**

- s rostoucí teplotou vlákna roste i světelný tok,
- vlivem obnovy povrchu vlákna roste doba života,
- tím že nedochází k usazování wolframu na povrchu baňky, nedochází ani ke snižování světelného toku během doby života,
- kompaktní tvar, který odpovídá tepelným požadavkům kruhového procesu.

Halogenové žárovky poskytují příjemné svěží, bílé světlo s teplotou chromatičnosti 3000 K. Index barevného podání světla halogenových žárovek je  $R_a = 100$ . Halogenové žárovky jsou hospodárnější než standardní žárovky, jejich měrný výkon je cca  $22 \text{ lm.W}^{-1}$  a doba života se udává 2000 hodin.

#### **Nové halogenové žárovky se vyznačují následujícími přednostmi:**

- mají až o 30 % vyšší měrný výkon,
- vyšší životnost,
- stabilitu světelného toku během celé životnosti,
- stabilitu teploty chromatičnosti,
- rovnoměrnější svítivost ve svazku v případě reflektorových halogenových žárovek,
- nižší podíl UV záření apod.

## **3.4 Výbojové světelné zdroje**

### ***Lineární zářivky***

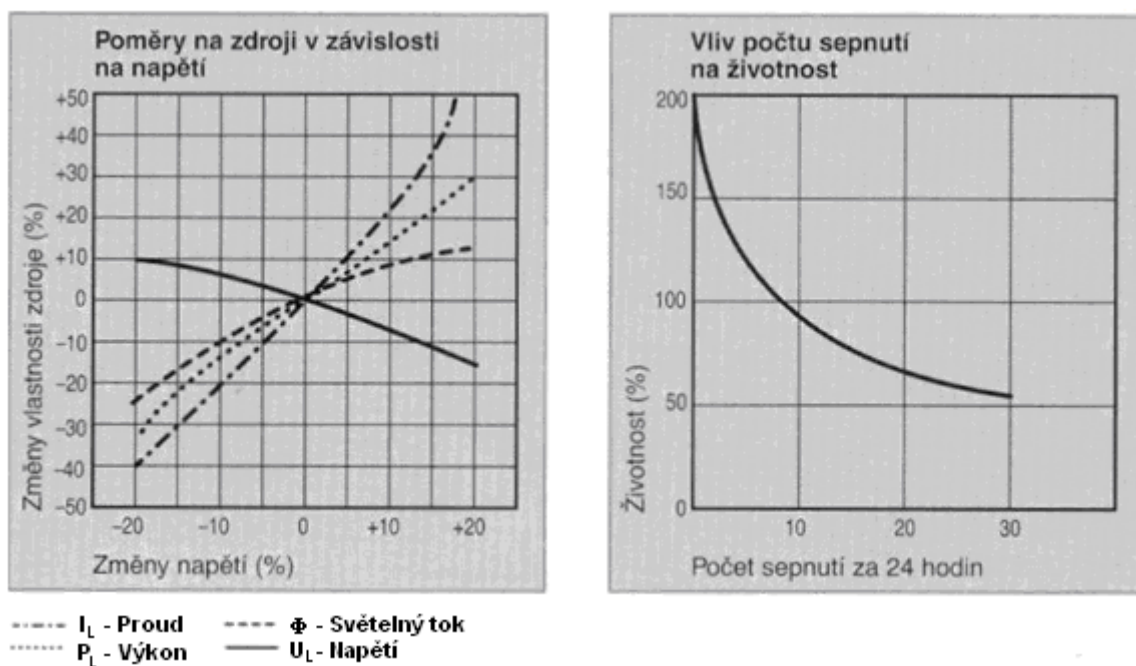
Lineární zářivky vyrábějí okolo 70 % umělého světla na celém světě. Jsou velice výhodné zejména z ekonomického hlediska, protože se vyznačují vysokým měrným výkonem. Zářivka spotřebuje jen přibližně pětinu elektrického proudu než žárovka.

Jako všechny výbojky se ani zářivky neobejdou bez předřadných přístrojů. Po zapálení startérem je napětí na zářivce nižší než napájecí napětí. Na tlumivce se vytvoří úbytek napětí, který omezí proud tekoucí zářivkou. Zářivky lze také provozovat s elektronickými předřadníky. Moderní plně elektronické vysokofrekvenční předřadníky nahrazují tlumivky a startéry a přispívají tak k větší hospodárnosti, vyššímu světelnému komfortu a delší době života zářivek.

Nové typy zářivek T5 mají průměr trubice jen 16 mm, jsou o 50 mm kratší než standardní trubice T8 s průměrem 26 mm. Nabízejí vyšší měrný výkon až  $106 \text{ lm} \cdot \text{W}^{-1}$  a jsou určeny pouze pro provoz s elektronickými předřadníky. Zářivky T5 dosahují úspor oproti zářivkám T8 v následujících oblastech:

- vyšší měrný výkon zářivek T5,
- vyšší účinnosti svítidel vlivem nižšího odstínění o 40 % štíhlejší zářivky,
- úsporným provozem s elektronickým předřadníkem,
- se systémem T5 je možné konstruovat štíhlejší svítidla s čehož plynou další materiálové úspory.

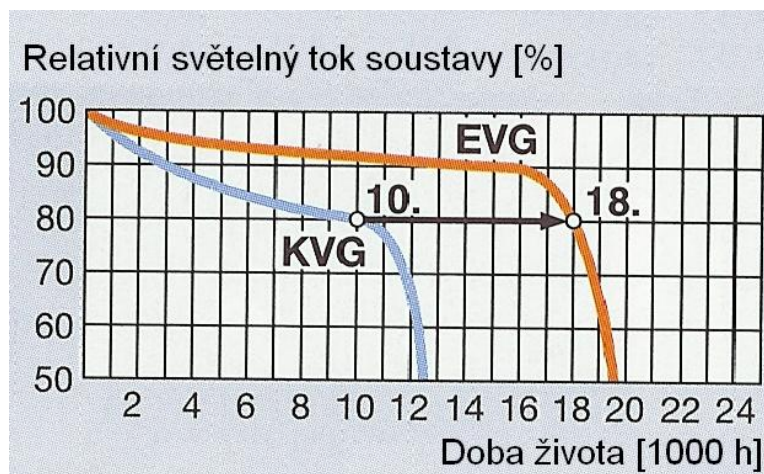
Doba života zářivek je silně ovlivněna počtem zapnutí. Nehodí se proto tam, kde dochází k častému zapínání a vypínání. Provozní vlastnosti zářivek provozovaných s klasickou tlumivkou jsou znázorněny na Obr. 3.3.



Obr. 3.3: Provozní charakteristiky zářivek s konvenčním předřadníkem

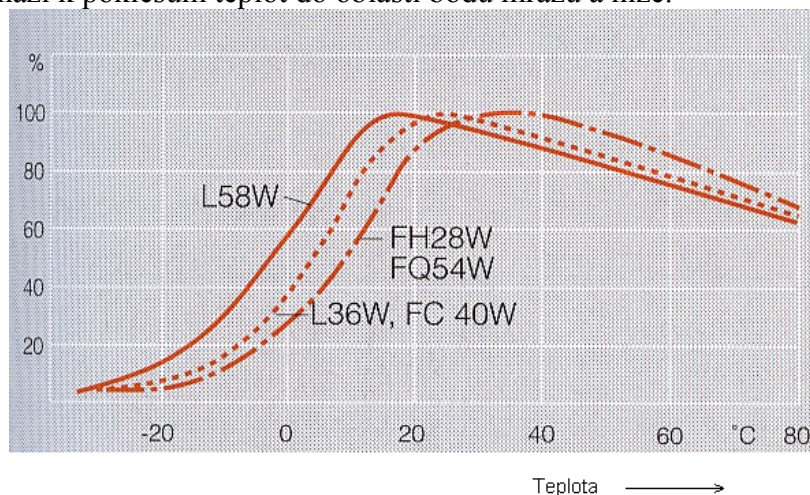
Podle způsobu provozu viz Obr. 3.4 se mění i doba života zářivek. Při provozu s klasickým předřadníkem se doba života zářivky pohybuje okolo 10 000 h zatímco při provozu s elektronickým předřadníkem se pohybuje okolo 18 000h.





Obr. 3.4: Doba života zářivek

Na rozdíl od žárovek, u kterých světelný tok dosahuje jmenovité hodnoty téměř okamžitě, zářivky dosahují jmenovité hodnoty až po cca 3 min. provozu. Zářivky jsou také velmi teplotně závislé viz Obr. 3.5 a proto se nehodí pro osvětlování venkovních prostorů, ve kterých dochází k poklesům teplot do oblasti bodu mrazu a níže.



Obr.3.5: Teplotní závislost zářivek OSRAM na měrném výkonu zdrojů

Také v oblasti zářivek je možné pozorovat výrazné trendy směřující ke zlepšení vlastností těchto světelných zdrojů. Jde především o další snižování množství rtuti a dokonce o vývoj bezrtuťových technologií. Samozřejmostí posledních let je pokrok v programu T5 – zářivek s průměrem 16 mm. Vývoj směřuje také do oblasti nových typů luminoforů. Hledají se cesty na řešení luminoforů s fotonovou prazeodymovou kaskádou. Cílem je lepší využití záření výboje pro vznik světla. Zajímavou oblastí je také vývoj nízkotlakých výbojových světelných zdrojů s proměnlivou barvou světla. Zkoumají se bezelektroodové technologie, které vyústily do vývoje indukčních výbojek. V posledním období je možné pozorovat významný nárůst doby života zářivek (až do 50 000 h), dosaženy odlišnou konstrukcí elektrod a ochranou vrstvou na baňce a luminoforu. Významné jsou také postoje k barvě světla zářivek pro zrakově nejnáročnější pracoviště. Očekává se optimalizace náhradní teploty chromatičnosti světelných zdrojů pro zrakově náročné práce v oblasti nad 6000 K.

## ***Kompaktní zářivky***

**Tyto světelné zdroje v sobě skrývají čtyři základní výhody:**

- produkují světelný tok s vysokým indexem podání barev,
- ve srovnání s žárovkami dosahují výrazné úspory energie,
- dobře vypadají,
- ve srovnání s žárovkami mají výrazně vyšší dobu života.

Kompaktní zářivky spotřebovávají výrazně méně elektrické energie než klasické žárovky, mají mnohem delší dobu života a většinou mohou být použity na stejných místech jako obyčejné žárovky. Měrný výkon kompaktních zářivek je v porovnání s běžnými typy žárovek přibližně pětinasobně vyšší. Současně dosahovaná střední doba života zářivek je 15 000 hodin, zatímco střední doba života žárovek je 1000 hodin.

**Kompaktní zářivky můžeme rozdělit do tří skupin:**

- kompaktní zářivky s implementovaným předřadníkem jako úsporná alternativa žárovek,
- kompaktní zářivky pro zvlášť malá svítidla,
- kompaktní zářivky jako zmenšená alternativa lineárních zářivek.

**Provoz s kompaktních zářivek s elektronickým předřadníkem zabezpečuje vysoký komfort:**

- okamžitý start bez blikání,
- odolnost proti častému spínání,
- delší doba života,
- odstranění stroboskopického efektu a kmitání světelného toku.

Výraznou nevýhodou kompaktních zářivek v porovnání s žárovkami, je rychlost jejich startu. Zatímco žárovky nabíhají na jmenovitý světelný tok téměř okamžitě, kompaktní zářivky po připojení napájecího napětí naběhnou pouze na cca 50 % světelného toku. To ukazuje na nevhodnost použití kompaktních zářivek v prostorech ve kterých je nutné dosáhnout okamžitě 100 % světelného toku (např. sociální zařízení).

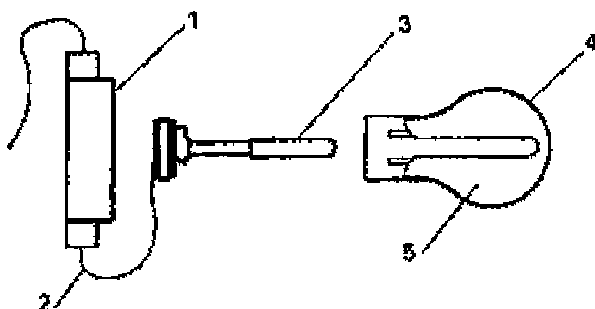
**V oblasti kompaktních zářivek jsou trendy vývoje následující:**

- Dominantou se stává 3/8“ technologie,
  - hledají se řešení pro tvarované kompaktní zářivky, kompaktní zářivky s reflektorem či difuzorem,
- konstruuji se kompaktní zářivky s velkým příkonem (v současnosti např. 200 W s integrovaným předřadníkem). Umožňuje to miniaturizaci svítidel a nasazování kompaktních zářivek i do aplikací, ve kterých se doposud používaly výbojky.

## ***Indukční výbojky***

Do okruhu nízkotlakých výbojových zdrojů patří i světelný zdroj využívající principu indukce. Tento zdroj lze právem považovat za světelný zdroj třetí generace nebo světelný zdroj budoucnosti. I když na principu vysokofrekvenčního buzení výboje v bezelektrodovém výbojovém prostoru se pracuje v laboratořích světových firem již po desetiletí, výbojku použitelnou se podařilo uvést na trh firmě PHILIPS teprve v roce 1993 pod označením QL (quality lighting).

Princip funkce : Do hruškovité baňky je zatavena z jedné strany otevřená trubice, do níž se vkládá feritové jádro s indukční cívkou napájenou proudem o frekvenci 2,65 MHz. Baňka nemá žádné elektrody, obsahuje pouze inertní plyn a páry rtuti. Atomy rtuti vybuzené vysokofrekvenčním polem vytvářeným cívkou, emitují ultrafialové záření, které je



Obr. 3.6 Konstrukce indukční výbojky

- 1 – vf generátor, 2 – koaxiální kabel, 3 – feritové jádro s indukční cívkou,  
4 – bezelektrodová výbojka s luminoforem, 5 – plynná náplň

transformováno luminoforem na viditelné světlo. Vlivem bezelektrodové konstrukce se dosahuje extrémně dlouhého života, podle údajů výrobce až 60 000 h, a to při velmi dobré stabilitě světelného toku v průběhu svícení. Výbojky se vyznačují všemi přednostmi, které poskytuje provoz na vysoké frekvenci. V současné době jsou výbojky vyráběny s příkonem 55 W a 85 W s účinností asi  $65 \text{ lm.W}^{-1}$  a  $70 \text{ lm.W}^{-1}$  při  $R_a$  větší nebo rovno 80. Doba náběhu činí 0,5 s, doba znovuzápalu je rovněž asi 0,5 s. Důležitou výhodou výbojek je jejich konstantní světelný tok v širokém teplotním rozsahu. Jejich aplikace zároveň podstatně snižuje náklady související s údržbou osvětlovací soustavy. Na podobném principu pracuje indukční výbojka vyráběná firmou OSRAM pod názvem ENDURA např. o příkonu 150 W.

### **Vysokotlaké rtuťové výbojky**

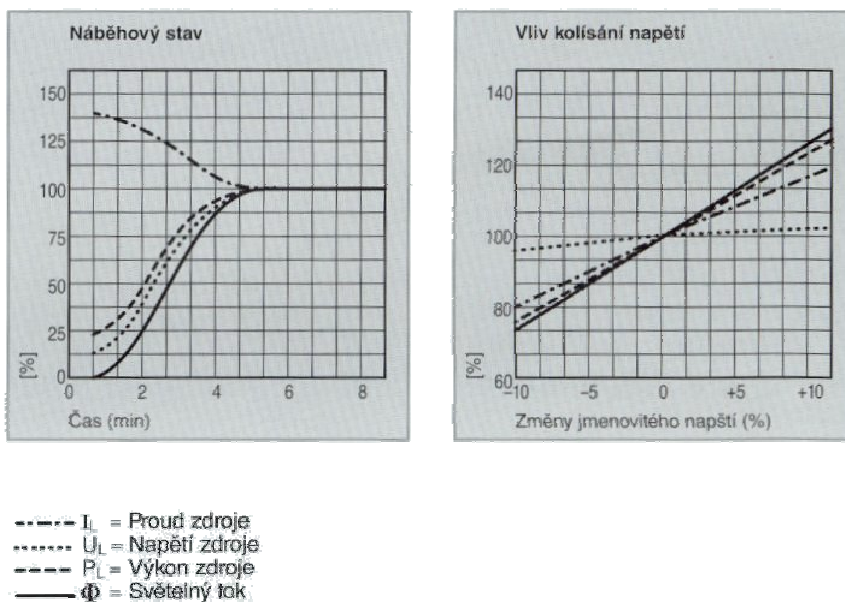
Vysokotlaké rtuťové výbojky vyzařují do viditelné oblasti asi 15% přivedené energie, jejich světlo je modrobílé a modrozelené. Červená složka světla chybí a z tohoto důvodu se nanáší na vnitřní stěnu venkovní baňky ortofosfátový luminofor pro zabezpečení transformace UV záření do červené oblasti spektra. K ustálení výboje rtuťových výbojek dochází až po 3 - 5 minutách. Po přerušení výboje dojde k opětovnému znovuzapálení až po 7 minutách. Výhodou těchto výbojek je malý pokles světelného toku během života, odolnost proti změnám teploty, odolnost proti otřesům a menší poruchovost v důsledku menšího počtu kontaktů ve srovnání se zářivkami. Doba života je až 12 000 až 15 000 hod, index barevného podání  $R_a = 50$ , měrný výkon 50 až  $80 \text{ lm.W}^{-1}$ . Tyto výbojky mají nevýhodu v tom, že k ustálení parametrů dochází asi až po 5 min po startu, a proto se nehodí k osvětlování vnitřních prostorů. Používají se k osvětlení průmyslových prostorů, ulic a sportovišť.

## Halogenidové výbojky

Použití moderních halogenidových výbojek pro osvětlování bytů kanceláří a škol je v současné době spíše hudbou budoucnosti. I přes probíhající miniaturizaci, ustalování barevných parametrů během doby života a zvyšování indexu podání barev stále disponují nevýhodami, které zabraňují jejich masivnímu nasazování v těchto prostorech:

- nelze stmívat,
- relativně vysoké pořizovací náklady na osvětlovací soustavy,
- nemožnost okamžitého znovuzápalu u teplých výbojek,

Vysokotlaké rtuťové výbojky HSL



Obr. 3.7 Provozní charakteristiky vysokotlakých rtuťových výbojek

- pomalý náběh na 100 % světelný tok (cca 10 min),
- nižší doba života než u zářivek.

Halogenidové výbojky představují moderní světelný zdroj, který prochází v současnosti etapou bouřlivého vývoje. Keramický hořák jako všeobecné řešení je samozřejmostí.

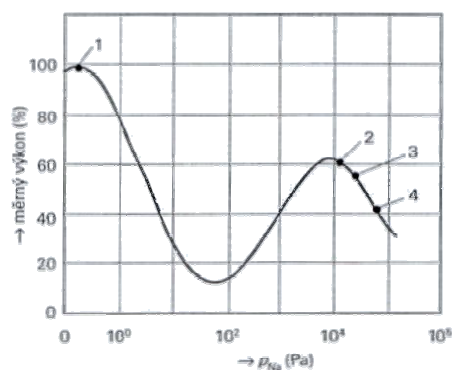
## Vysokotlaké sodíkové výbojky

Výboj v parách sodíku je ze světelně technického hlediska velmi zajímavý. Sodík se vyznačuje intenzitním rezonančním dubletem ve žluté části viditelného spektra s vlnovou délkou 589,0 a 589,6 nm, která se blíží maximu spektrální citlivosti lidského oka (555 nm).

Těchto vlastností, vedle nízkého budicího potenciálu uvedené čáry, se využívá již od třicátých let při konstrukci nízkotlakých sodíkových výbojek, v nichž tlak par sodíku při pracovní teplotě 270 °C dosahuje hodnoty asi 0,5 Pa. Při zvyšování tlaku par sodíku světelná účinnost klesá, prochází minimem a dále opět stoupá, takže při tlaku kolem 27 kPa dosahuje druhého maxima viz. Obr. č. 3.8 a v závislosti na dalších parametrech (složení amalgamu sodíku, druh a tlak plnicího plynu, geometrické parametry hořáku, příkon výbojky apod.) může dosáhnout hodnoty až 150 lm.W<sup>-1</sup>. Při rostoucím tlaku par sodíku dochází k výraznému rozšíření spektrálních čar a ke vzniku silného spojitého záření, přičemž zároveň je absorbováno záření

rezonanční. Se zvyšujícím se tlakem je stále zřetelnější asymetrie rozšiřování rezonančních čar do dlouhovlnné části spektra. Spektrum záření je bohatší, což má za následek i lepší podání barev osvětlovaných předmětů. Tento druh výboje je využíván u moderních vysokotlakých sodíkových výbojek, které se výrazně prosadily zejména v uličním, ale i v průmyslovém osvětlení.

Vysokotlaké sodíkové výbojky jsou tedy světelné zdroje, v nichž světlo vzniká hlavně zářením sodíkových par s pracovním parciálním tlakem v rozmezí 3 až 60 kPa.



Obr. 3.8 Závislost měrného výkonu na tlaku sodíkových par

- 1 – nízkotlaké sodíkové výbojky
- 2 – vysokotlaké sodíkové výbojky standardní
- 3 – vysokotlaké sodíkové výbojky se zlepšeným podáním barev  $R_a = 60$
- 4 – vysokotlaké sodíkové výbojky s vynikajícím podáním barev  $R_a$  je větší než 80

Vysokotlaké sodíkové výbojky je nutné provozovat v obvodu s tlumivkou a vhodným zapalovacím zařízením, který vyhovuje mezinárodním normám CEI. Schéma zapojení je uvedeno na Obr. 3.9 a je shodné se zapojením halogenidových výbojek. Při dodržování provozních podmínek (povolné kolísání napětí menší než 5%, správně dimenzované tlumivky) výbojky předních výrobců dosahují života 16 000 až 28 000 hod. Ukončení života je dáno postupným nárůstem napětí na výboji. Při překročení určitého poměru tohoto napětí vzhledem k napájecímu napětí sítě výboj zhasne. Po vychladnutí výbojka znovu zapálí a celý cyklus se opakuje. Periodické zhasínání výbojek je příznakem ukončení života a výbojku je nutné vyměnit.

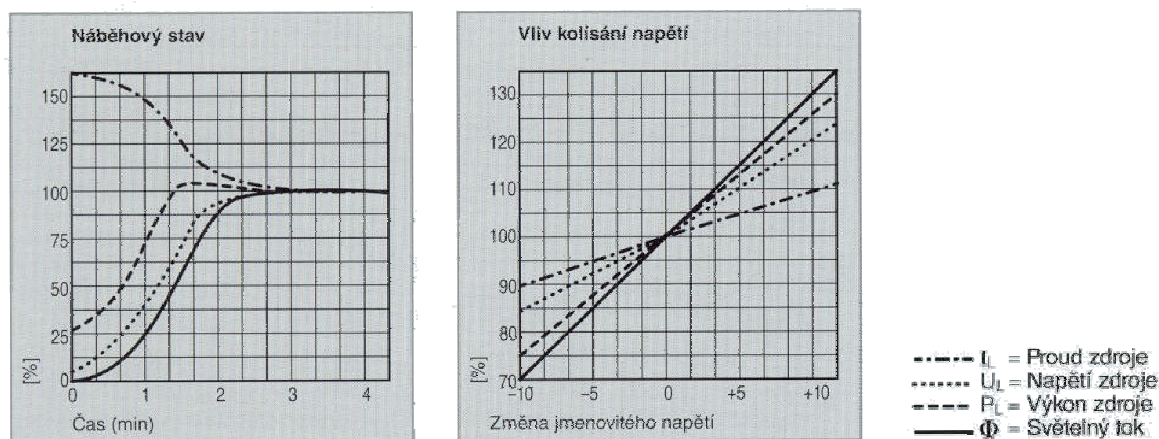
Tab. 3.2 Základní sortiment vysokotlakých sodíkových výbojek

| Provedení výbojky                                    | Jmenovité příkony (W)    | měrný výkon (lm.W <sup>-1</sup> ) | Patice |
|--|--------------------------|-----------------------------------|--------|
| standardní s čirou válcovou baňkou                   | 50, 70,                  | 70 až 130                         | E 27   |
|  | 100, 150, 250, 400, 1000 |                                   | E 40   |
| standardní s eliptickou baňkou s rozptylovou vrstvou | 50, 70,                  | 70 až 117                         | E 27   |
|  | 150, 250, 400,           |                                   | E 40   |
| výbojky s Penningovou                                | 110,                     | 73 až 100                         | E 27   |



|  |                                       |                   |                        |
|--|---------------------------------------|-------------------|------------------------|
| směsí, s eliptickou baňkou<br>s rozptylovou vrstvou  | 210, 340                              |                   | E 40                   |
| výbojky se zvýšeným tlakem xenonu<br>s čirou<br>válcovou baňkou  | 50, 70,<br>100, 150, 250,<br>400, 600 | 80 až 150         | E 27<br>E 40           |
| výbojky se zvýšeným tlakem xenonu<br>s eliptickou<br>baňkou s rozptylovou vrstvou                        | 100, 150, 250,<br>400                 | 95 až 130         | E 40                   |
| dvoupaticové s křemennou vnější baňkou<br>s keramickou paticí  | 70, 150,<br>250, 400                  | 100<br>102 až 120 | RX7s<br>RX7s-24<br>Fc2 |
| výbojky se zlepšeným podáním barev<br>jednopaticové s válcovou čirou nebo<br>matovanou baňkou $R_a > 80$ | 35, 50, 100<br>80                     | 39 až 49          | PG 12-1<br>PG 12-3     |
| výbojky se zlepšeným podáním barev<br>jednopaticové s čirou válcovou baňkou $R_a > 80$                   | 150, 250, 400                         | 47 až 64          | E 40                   |

#### Sodíkové výbojky vysokotlaké SHP



Obr. 3.9 Provozní charakteristiky vysokotlakých sodíkových výbojek

Novinku v oblasti vysokotlakých sodíkových výbojek uvedla na trh např. firma Sylvania. Jedná se o vysokotlaké sodíkové výbojky, neobsahující rtuť, označované SHP mercury Free. výbojky se vyznačují zvýšeným světelným tokem, odpovídajícím výbojkám super, vyšším indexem barevného podání ( $R_a = 25$ ) a náhradní teplotou chromatičnosti (2200 K) a kratší dobou náběhu. Výbojky se provozují na standardních předřadnících. Jelikož výbojky neobsahují rtuť, není nutno likvidovat vyhořelé zdroje jako nebezpečný odpad.

Vysokotlaké sodíkové výbojky mají ve VO univerzální použití, tj. jsou vhodné pro osvětlování veškerých komunikací, pěších zón i osvětlování fasád objektů. Výhodou vysokotlakých sodíkových výbojek je měrný výkon až 150 lm/W, dlouhý život (dnes již výrobci udávají 24 000 i více hodin), což umožňuje provádět hromadnou výměnu zdrojů až po 4 letech. Určitou nevýhodou těchto zdrojů je barva vyzařovaného světla, která způsobuje horší barevné podání osvětlovaných předmětů, zvláště např. zeleně. Pro VO se dnes používají sodíkové vysokotlaké výbojky nízkých příkonů, a to v obcích 50, 70, na průtahu 100 a 150 W, ve městech též do 150 W, na širokých výpadevkách i 250 W. Výbojky vyšších příkonů lze použít na osvětlování fasád památných budov.

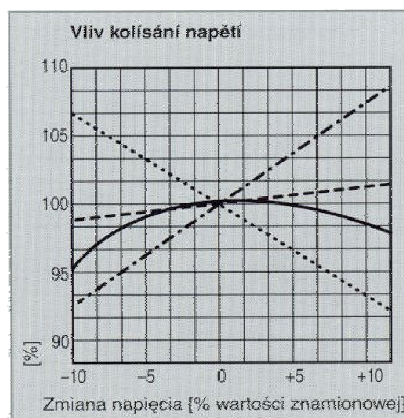
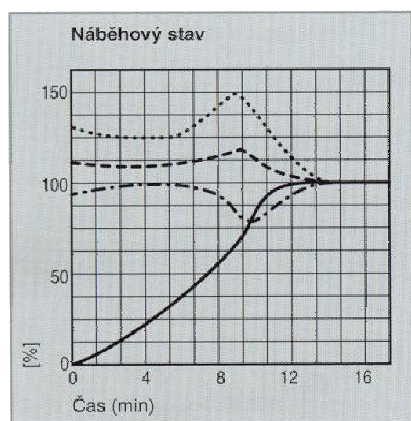
## Nízkotlaké sodíkové výbojky

U sodíkových výbojek nastává výboj ve výbojové trubici vyhotovené z polykrystalického anebo monokrystalického kysličníku hlinitého, která je naplněna argonem, neonem a sodíkem. Při tlaku sodíkových par 0,5 Pa a teplotě stěny výbojové trubice 270 až 300 °C vyzáří monochromatické záření v pásmu vlnových délek 589 a 589,6 nm ve žluté oblasti spektra. Záření sodíkové výbojky je v blízkosti maxima spektrální citlivosti lidského oka s vysokým měrným výkonem 130 až 200 lm.W<sup>-1</sup>. V jejich světle není možné rozlišovat barvy  $R_a = 0$ , život výbojky dosahuje až 24 000 hod.. Výbojová trubice sodíkových výbojek má kruhový průřez a ohýbá se do tvaru písmena U nebo W. Venkovní baňka tepelně izoluje výbojovou trubici, je jednoduchá a vyčerpaná na vysoké vakuum.

## Směšové výbojky

Směšové výbojky poskytují světlo z emise elektronů wolframového vlákna a elektrického

Nízkotlaké výbojky SLP



**Čas opětného zapálení:**  
5 - 6 minut v závislosti na době vypnutí.  
Při krátkodobém přerušení napětí okamžité.

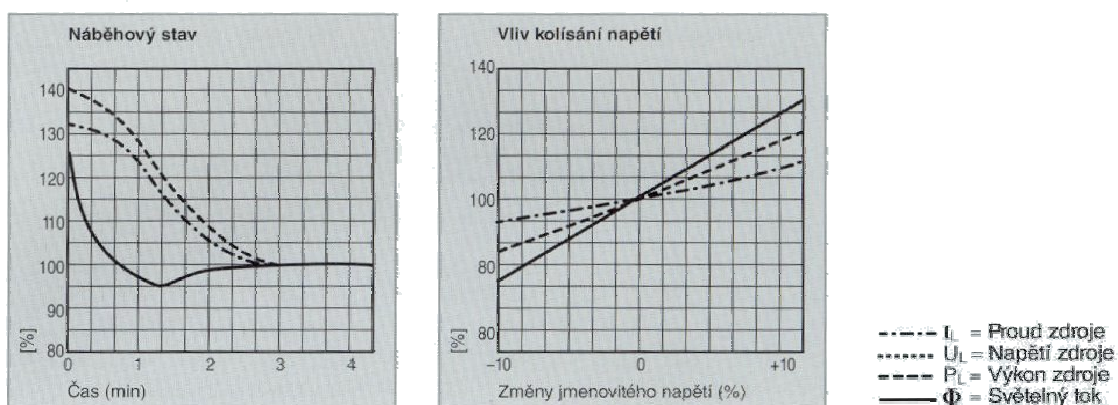
--- I<sub>L</sub> = Proud zdroje  
... U<sub>L</sub> = Napětí zdroje  
-.- P<sub>L</sub> = Výkon zdroje  
— Φ = Světelný tok

Obr. 3.10 Provozní charakteristiky nízkotlakých sodíkových výbojek

výboje ve výbojové trubici a plní funkci záměny přímo ze žárovky bez používání předřadníku. Poskytují příjemné teplo bílou barvu světla s  $T_c = 3500$  K a mají život až 16 000 hodin.

Firma OSRAM poskytuje směšové výbojky HWL v tvaru elipsoidu a ve tvaru hříbu. K funkci potřebují předřadník s vlastním doutnavkovým zapalovačem anebo předřadník s vlastním jiskrovým zapalovačem. Vnitřní stěnu venkovní baňky mají pokrytou ytriumvanadovým luminoforem. V provozu bez předřadníku mají vyšší výkon a 5-ti násobnou dobu života ve srovnání s klasickou žárovkou. Jsou ideální pro cenově výhodnou výměnu zdrojů u stávajících svítidel osazených běžnými žárovkami. V podobě reflektorových žárovek bez předřadníku s neustále bílou barvou a dobrým barevným podáním se používají jako světelné zdroje pro osvětlení rostlin.

### Směšové výbojky HSB



Obr. 3.11 Provozní charakteristiky směšových výbojek

### Sodíkoxenonové vysokotlaké výbojky

Díky elektronickým předřadníkům a vysokofrekvenčnímu provozu byl umožněn rozvoj a uvedení na trh vysokotlakých sodíkoxenonových výbojek bez obsahu rtuti, s vynikající barevnou stabilitou, a výborným barevným podáním a velmi dobrým měrným výkonem systému. Pro dosažení podstatně lepšího barevného podání bez přítomnosti rtuti je nutno vybudit vyšší energetické přechody sodíku. Dosáhne se toho zvýšením teploty plazmy v hořáku pomocí vyšší frekvence cca 20 kHz. Hořák ovšem nemůže být vystaven tak vysoké teplotě po celou dobu provozu, a proto je základní frekvence cca 20 kHz modulována ještě frekvencí cca 200 Hz. Znamená to, že impulzy 20 kHz o délce kolem 1 ms jsou od sebe vzdáleny cca 5 ms. Elektronický předřadník je řízen mikroprocesorem a kontroluje parametry výboje po celou dobu života výbojky tak, že je zaručena konstantní teplota chromatičnosti a podání barev.

Během doby života, u klasických sodíkových vysokotlakých výbojek, roste postupně napětí na výboji. Elektronická regulace je však uzpůsobena tak, že drží konstantní teplotu chromatičnosti a barevné podání.

Firma OSRAM vyvinula jako první výbojku s přepínatelnou barvou světla. Brilantní halogenové světlo s teplotou chromatičnosti 3 100 K nebo teplé žárovkové světlo s teplotou chromatičnosti 2 700 K.

Přepínatelná barva světla nabízí základní výhody potřebují-li měnící se objekty různé světlo k optimální prezentaci. Obzvláště dobře jsou prezentovány například červené barevné odstíny teplým světlem a bílé nebo modré odstíny studenějším světlem. Dosud se muselo u vysokotlakých výbojek smířit s jistou změnou barvy během doby života, zvláště na jejím konci. To neplatí např. pro DSX systém od firmy OSRAM. Zde kontroluje stále světelnou kvalitu mikroprocesorem řízený elektronický předřadník. Eventuelní odchylky od teploty chromatičnosti a podání barev jsou okamžitě doregulovány na předepsané hodnoty. Tím nevznikají žádné barevné odchylky, což je garantováno po celou dobu života zdroje až k automatickému odpojení na jeho konci. Výbojka neobsahuje rtuť a lze ji tedy snadno recyklovat.



Doba života těchto zdrojů dosahuje až 15 000 hodin, měrný výkon  $56 \text{ lm.W}^{-1}$ , index podání barev  $R_a = 75/85$ .

Mezi základní přednosti patří:

- dlouhý život (střední doba života 15 000 h)
- bez blikání (cyklování) díky spolehlivému odpojení systému v případě poruchy nebo na konci života
- bezrtuťové výbojky mohou být bez problému recyklovány jako skleněný odpad
- světlo bez ultrafialové složky snižuje lákání létavého hmyzu oproti rtuť obsahujícím výbojkám až o 80 %. a tím se také redukuje špinění svítidla

### ***Sírné výbojky***

Jedná se vysokotlaké výbojky s náplní síry a kulovým svíticím tělesem o průměru od 5 do 29 mm. Vlastní výboj je buzen v křemenném hořáku mající tvar koule, která rotuje v elektromagnetickém poli magnetronu (2,45 GHz). Výboj probíhá v parách síry, přičemž spektrum vyzařovaného světla se blíží slunečnímu, při vynikající účinnosti dosahující až  $130 \text{ lm.W}^{-1}$  a vysokém indexu podání barev  $R_a = 85$ . Život je limitován spolehlivostí magnetronu a dosahuje rovněž hodnot převyšujících 50 000 hodin. Zatím jsou tyto výbojky používány v kombinaci s dutými světlovody. Toto řešení je výhodné při osvětlování místností s nebezpečím výbuchu, kdy světelný zdroj lze umístit mimo tuto místnost. Úbytek světelného toku na konci života je menší než 10 %.

**Tab. 3.3 Orientační přehled parametrů základních typů svítidel**

| Světelný zdroj  |                               | Příkon (W) | Světelný tok (lm) | Měrný výkon (lm.W <sup>-1</sup> ) | Život zdroje (h) | Index podání barev R <sub>a</sub> | Teplota chrom. T <sub>c</sub> (K) |
|---|-------------------------------|------------|-------------------|-----------------------------------|------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|
| žárovka klasická na síťové napětí   |                               | 40         | 430               | 10,8                              | 1000             | 100                               | 2500 až 3000                      |
|   |                               | 60         | 730               | 12,2                              |                  |                                   |                                   |
|   |                               | 100        | 1380              | 13,8                              |                  |                                   |                                   |
|   |                               | 200        | 3150              | 15,8                              |                  |                                   |                                   |
| žárovka halogenidová na síťové napětí   | s vnější baňkou a paticí E 27 | 60         | 840               | 14                                | 2000 až 4000     | 100                               | 3000                              |
|   |                               | 100        | 1600              | 16                                |                  |                                   |                                   |
|   |                               | 150        | 2550              | 17                                |                  |                                   |                                   |
|   | dvoupaticová                  | 100        | 1650              | 16,5                              | 2000             | 100                               | 3000                              |
|   |                               | 200        | 3200              | 16                                |                  |                                   |                                   |
|   |                               | 1000       | 22000             | 22                                |                  |                                   |                                   |
| zářivka dvoupaticová – lineární luminofor třípásmový, nižší obsah Hg                | 26 mm                         | 18         | 1350              | 75                                | 10000 až 16000   | > 80                              | 2700 až 6500                      |
|   |                               | 36         | 3350              | 93                                |                  |                                   |                                   |
|   |                               | 58         | 5200              | 89,7                              |                  |                                   |                                   |
|   | 16 mm                         | 21         | 2100              | 100                               | 16000            | > 80                              |                                   |
|   |                               | 28         | 2900              | 103,6                             |                  |                                   |                                   |
|   |                               | 35         | 3650              | 104,3                             |                  |                                   |                                   |
| zářivka jednopaticová kompaktní s vestavěným elektronickým předřadníkem patice E 27 |                               | 7          | 400               | 57,1                              | 10000            | > 80                              | 2700 až 6500                      |
|   |                               | 11         | 600               | 54,5                              |                  |                                   |                                   |
|   |                               | 15         | 900               | 60                                |                  |                                   |                                   |
|   |                               | 20         | 1200              | 60                                |                  |                                   |                                   |
|   |                               | 23         | 1500              | 60                                |                  |                                   |                                   |
| výbojka rtuťová vysokotlaká s luminoforem   |                               | 125        | 6300              | 50,4                              | 6000 až 12000    | 50                                | 3150                              |
|   |                               | 250        | 13000             | 52                                |                  |                                   |                                   |
|   |                               | 400        | 22000             | 55                                |                  |                                   |                                   |
| výbojka halogenidová  |                               | 75         | 5800              | 77,3                              | 9000 až 12000    | 60 až 89                          | 3000 až 5600                      |
|   |                               | 150        | 13000             | 86,7                              |                  |                                   |                                   |
|   |                               | 250        | 20000             | 80                                |                  |                                   |                                   |
|   |                               | 400        | 42000             | 105                               |                  |                                   |                                   |
|   |                               | 2000       | 240000            | 120                               |                  |                                   |                                   |
|   |                               | 3500       | 320000            | 91,4                              |                  |                                   |                                   |
| výbojka sodíková  | vysokotlaká                   | 50         | 3500              | 70                                | 16000 až 28000   | 20 až 65                          | 2050                              |
|   |                               | 70         | 6500              | 92,9                              |                  |                                   |                                   |
|   |                               | 150        | 17000             | 113,3                             |                  |                                   |                                   |
|   |                               | 250        | 33000             | 132                               |                  |                                   |                                   |
|   |                               | 400        | 55500             | 138,8                             |                  |                                   |                                   |
|   | nízkotlaká                    | 35         | 5750              | 164,3                             | 12000 až 24000   | 0                                 | -                                 |
|   |                               | 65         | 10700             | 164,6                             |                  |                                   |                                   |
|   |                               | 90         | 17000             | 188,9                             |                  |                                   |                                   |
|   |                               | 127        | 25000             | 196,9                             |                  |                                   |                                   |

## **LED diody**

Hitem posledních let jsou LED diody. V této oblasti byl zaznamenán nárůst měrného výkonu. Na trhu jsou k dispozici vysokovýkonné modré a bílé LED. Vzhledem k fyzikálnímu principu tohoto světelného zdroje se předpokládají široké možnosti volby spektrálního složení záření a jeho plynulá změna během provozu. Vývoj pokračuje směrem k organickým LED diodám. V současnosti mohou mít LED diody libovolnou barvu světla. Pokud se podaří aplikovat poznatky z LED diod do klasických luminoforů, dá se předpokládat významný nárůst měrného výkonu zářivek a možná také žárovek.

Luminiscenční dioda se dříve využívala v elektrotechnice k indikaci provozních stavů, jako výkonný světelný zdroj se začala využívat v posledním desetiletí. LED dioda je elektronický prvek, který generuje světelné záření při průchodu proudu polovodičovým přechodem. Tento polovodičový přechod generuje velmi úzké spektrum to znamená, že záření je v podstatě monochromatické.

Bílé světlo lze získat například složením tří čipů různých barev (červená, zelená a modrá) a z nich namíchat bílou barvu. Další způsob jak dosáhnout bílé barvy je použití modrého čipu, který má vrstvu aktivní hmoty. Tato vrstva převede modré záření na jiné vlnové délky viditelného spektra.

Doba života dosahuje u barevných LED diod až 100 000 hodin a u bílých LED diod 50 000 hodin, přičemž v průběhu této doby intenzita světla mírně klesá. V zařízeních s LED diodami se tedy nepočítá s výměnami světelných zdrojů.

### **K významným přednostem LED diod patří:**

- minimální spotřeba elektrické energie,
- velmi malé rozměry (jedná se prakticky o bodové zdroje),
- malá závislost parametrů na teplotě okolí,
- poměrně dobrý měrný výkon ( $10 \div 30 \text{ lm.W}^{-1}$  v závislosti na barvě),
- široký sortiment výrazných (sytých) barev,
- malé napájecí napětí,
- nízká povrchová teplota,
- možnost dosáhnout velké směrové svítivosti použitím vhodné čočky,
- malá závislost na teplotě okolí atd.



## Kontrolní otázky k teoretické části

- 1) Definujte pojmy měrný výkon a index podání barev. (1 bod)
- 2) Nakreslete vektorový diagram zářivky s indukčním předřadníkem.  
(2 body)
- 3) Uveďte výhody a nevýhody kompaktních zářivek.  
(1 bod)
- 4) Jaké jsou elektrotechnické vlastnosti svítidla třídy I? (1 bod)



## Kontrolní otázky k praktické části

- 1) Uveďte vztah pro regenerační cyklus halogenových žárovek:  
(2 body)
- 2) Stanovte velikost impedance vypínací smyčky svítidla v soustavě s ochranou nulováním.  
(2 body)



## Shrnutí

### Nové poznatky a pojmy

- měrný výkon, index podání barev, doba žvota světelného zdroje
- energetické štítky
- teplotní a výbojové zdroje, LED diody a oblasti použití



### Klíč k otázkám k teoretické části

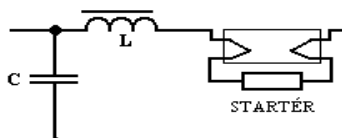
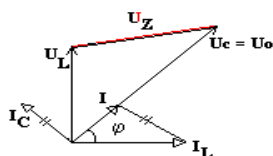
Ad 1)

Pro vzájemné porovnání světelných zdrojů je velmi důležitou veličinou měrný výkon  $\eta_v$  ( $\text{lm} \cdot \text{W}^{-1}$ ). Je to poměr vyzařovaného světelného toku  $\Phi$  (lm) a jejich elektrického příkonu  $P$  (W).

Barevné podání (index podání barev), nebo také chromatičnost světelných zdrojů je určena spektrálním složením vyzařované energie. Vyjadřuje se pomocí trichromatických souřadnic anebo teploty chromatičnosti. V praxi se však světelné zdroje rozlišují především podle barevného tónu vyzařovaného světla. Jakost úrovně vjemu barev se číselně vyjadřuje pomocí všeobecného indexu podání barev  $R_a$  (-). Při denním světle a světle teplotních zdrojů je barevné vnímání nejvěrnější a proto tyto mají  $R_a = 100$ . Při světle nízkotlaké sodíkové výbojky, která vyzařuje monochromatické světlo se vjem barvy nerozlišuje a proto je  $R_a = 0$ . Podání barev je uspokojivé, je-li  $R_a$  větší než 40 a za dobré je považováno je-li  $R_a$  větší než 80.

(1 bod)

Ad 2)



(2 body)

Ad 3)

**Výhody**

- teplý start - patice umožňuje záměnu místo žárovky (nižší příkon)
- automatické odpojení vadné zářivky od sítě
- prodloužení životnosti vlivem regulace napětí potřebného pro zapálení výboje
- odstranění stroboskopického jevu

**Nevýhody**

- pracují v pulsním režimu (velké množství harmonických)
- vysoké pořizovací náklady

(1 bod)

Ad 4)

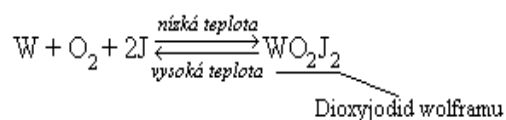
– vybavení pracovní izolací a ochrannou svorkou, pokud mají pohyblivý přívod musí mít ochranný vodič popř. ochr. kontakt na vidlici (3 žíly)

(1 bod)



### Klíč k otázkám k praktické části

Ad 1)



(2 body)

Ad 2)

$$Z < U_f / I_v ,$$

kde  $Z$  impedance vypínací smyčky,

$U_f$  fázové napětí,

$I_v$  vypínací proud nejbližší předřazené pojistky nebo jističe  $I_v = n \cdot I_n$  ,  $n$  je dáno prostředím.

(2 body)