

# Elektrické světlo KEE/ESV

Lenka Raková

4. přednáška

2015/2016

1

## Obsah

- Teplotní světelné zdroje
- Výbojové světelné zdroje

4. přednáška KEE/ESV

7. března 2016

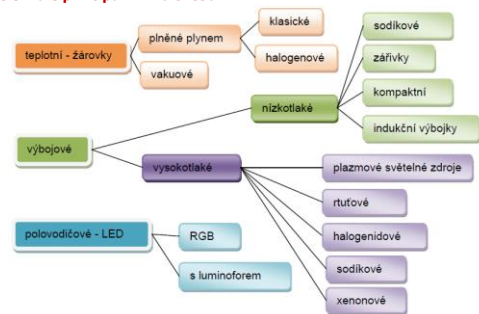
2

## ELEKTRICKÉ SVĚTELNÉ ZDROJE

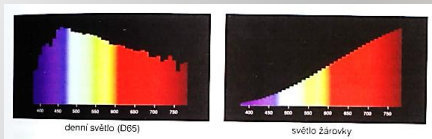
3

## Elektrické světelné zdroje

### • Dělení dle principu vzniku světla



## TEPLOTNÍ SVĚTELNÉ ZDROJE



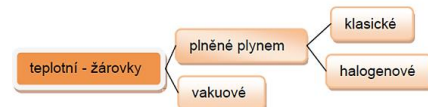
5

## Teplotní světelné zdroje

**Princip** = zdrojem záření je rozžhavená pevná látka elektrickým proudem (využití tepleného buzení pevných látek)

### • Vlastnosti

- Spojité spektrum – spektrum viditelného záření
- Malá účinnost přeměny elektrické energie na světelnou



- K teplotním zdrojům patří rovněž všechny druhy plamene (oheň, svíčky, louč, atd.)

4. přednáška KEE/ESV

7. března 2016

6

## Teplotní – žárovky **KLASICKÉ**

### Obyčejné žárovky

- Vlákno – tenký wolframový drát (průměr 10 až 120 μm) – jednoduchá či dvojitá šroubovice
- Baňka – čirá, zrcadlená, barevná, barvená, chemicky matovaná, aj.
  - vnitřní prostor vyčerpán – naplněna argonem či kryptonem s příměsí dusíku (zabrání vzniku výboje mezi závitými vlákny)

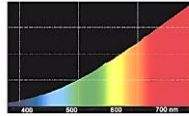
- Patice E27
- Nosný systém

### Hlavní výhody

- Jednoduchý tvar, konstrukce, hmotnost
- stabilní svícení a jednoduchý provoz
- výborný index podání barev ( $R_a = 100$ )

### Nevýhody

- velmi malý měrný výkon (cca 9 – 15 či 20 lm/W)
- krátký život (cca 1000 h)
- závislost parametru života na napájecím U
- černání baňky
- vysoký počáteční proud (více než 10x vyšší než provozní)

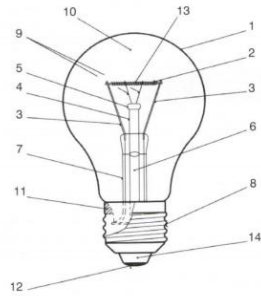


4. přednáška KEE/ESV

7

## Teplotní - žárovky **KLASICKÉ**

4. přednáška KEE/ESV



Obr. 8.1. Konstrukce obyčejné žárovky

- 1 – baňka,
- 2 – wolframové vlákno,
- 3 – privody,
- 4 – tyčinka,
- 5 – čůčka,
- 6 – čerpací trubička,
- 7 – talířek,
- 8 – patice,
- 9 – háčky (podpěrky),
- 10 – plynná náplň,
- 11 – tmel,
- 12 – pájka,
- 13 – getr,
- 14 – izolace patice

8

## Teplotní - žárovky **KLASICKÉ**

4. přednáška KEE/ESV



- Určité snížení vypařování wolframu je docíleno plněním inertním plynem (Ar, Kr, Xe).

Světelný tok  $\Phi$ , příkon  $P$ , proud  $I$ , život  $T$  měrný výkon  $\eta$  jsou u žárovek **značně závislé na změnách napájecího napětí  $U$ .**

$$I = I_n \left( \frac{U}{U_n} \right)^{m_1} \quad \Phi = \Phi_n \left( \frac{U}{U_n} \right)^{m_3} \quad \eta_z = \eta_{zn} \left( \frac{U}{U_n} \right)^{m_5}$$

$$P_p = P_{pn} \left( \frac{U}{U_n} \right)^{m_2} \quad T = T_n \left( \frac{U}{U_n} \right)^{m_4}$$

- Exponenty jsou závislé na druhu žárovky a teplotě chromatičnosti. Průměrné hodnoty jsou:

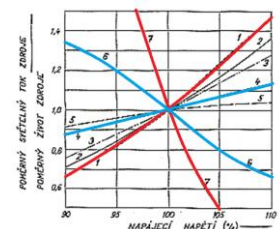
$$m_1 = 0,55; \quad m_2 = 1,55; \quad m_3 = 3,5; \quad m_4 = -14; \quad m_5 = 2$$

7. března 2016

9

## Teplotní - žárovky **KLASICKÉ**

### Základní závislost parametrů žárovky na napájecím napětí



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

Dobu života ovlivňuje **proudový náraz** při zapnutí vlivem malého odporu studeného vlákna (cca 12 krát vyšší než v ustáleném stavu) – vliv na návrh jističe. **Opatření** – plynulé zvyšování proudu při zapnutí.

4. přednáška KEE/ESV

7. března 2016

10

## Teplotní - žárovky **HALOGENOVÉ**

4. přednáška KEE/ESV

### Halogenové

= žárovky plněné plynem s příměsí halogenů nebo jejich sloučenin

(jod, brom, chlor a jejich sloučeniny)

- Halogen** – **potlačuje usazování wolframu** na baňce a zvyšuje stabilitu světelného toku během svícení a prodlužuje život

- Minimální pracovní teplota 250 °C** – baňka z křemenného či tvrdého skla (důležitá je i mechanická pevnost)
- Inertní plyn – Kr (Xe)

- Vysoký tlak plynu** – snížení rychlosti vypařování wolframu
  - X riziko exploze (svítidla s přidávným ochranným sklem či jističnou pojistkou)

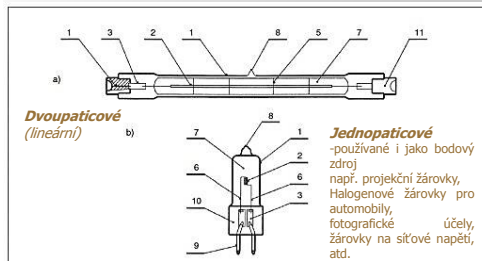


- Zvýšil se měrný výkon a doba života než u obyčejných žárovek

11

## Teplotní - žárovky **HALOGENOVÉ**

4. přednáška KEE/ESV



Obr. 1. Konstrukce halogenové žárovky

a – dvoupatičová žárovka, b – jednopatičová žárovka

1 – baňka, 2 – wolframové vlákno, 3 – molybdenová fólie, 4 – molybdenový přívod, 5 – podpěrka, 6 – konečky vlákna, 7 – plynná náplň, 8 – odpalek čerpací trubičky, 9 – kalíšek, 10 – stisk, 11 – keramická patice

12

## Teplotní - žárovky **HALOGENOVÉ**

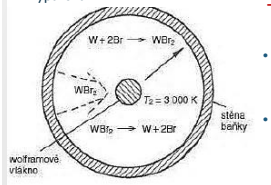
### ❖ Wolfram – halogenový cyklus (halogenový regenerační cyklus)

- Vypařování wolframu z vlákna → v blízkosti baňky sloučení s halogenem na halogenid wolframu  $WBr_2$  →
- Zvýšení koncentrace → difunduje plynným prostředím zpět k vláknu, kde se při teplotě 1 700 K zpětně rozpadá na wolfram a volný halogen, který se zpětně účastní reakce →
- Atomy wolframu zvyšují tlak wolframových par v okolí vlákna a tím omezují jeho vypařování

→ Čistá baňka bez usazování wolframu = delší život vlákna a tím i žárovky

- Přepálení vlákna protože se wolfram usazuje na chladnější části vlákna

- S rostoucí teplotou vlákna roste světelný tok



13

## Teplotní - žárovky **HALOGENOVÉ**

- 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**.

- Halogenové žárovky s integrovaným elektronickým transformátorem
- Halogenové žárovky s reflektory

### Hlavní výhody halogenových žárovek

- Příjemné bílé světlo s teplotou chromatičnosti cca 2 900 až 3 100 K
- Index podání barev 100
- Měrný výkon cca 22 až 26 lm/W
- Doba života 2 000 až 3 000 h
- Lze uplatnit smívaní

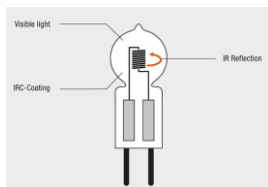


4. přednáška KEE/ESV

## Teplotní - žárovky **HALOGENOVÉ**

### • IRC technologie

= pokrytí baňky selektivním filtrem (tenká kovová vrstva), který část IČ záření vrací zpět na vlákno (zvýšení měrného výkonu až o 25 až 40 %)



4. přednáška KEE/ESV

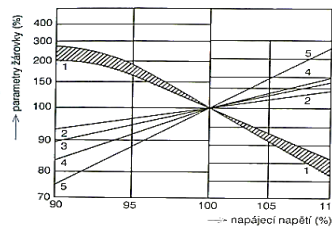
7. března 2016

15

## Teplotní - žárovky **HALOGENOVÉ**

4. přednáška KEE/ESV

Napájecí napětí 6, 12, 24 a 230 V



Obr. 8.6. Závislost základních parametrů halogenové žárovky na napětí sítě  
1 – život,  
2 – proud,  
3 – měrný výkon,  
4 – přikon,  
5 – světelný tok

### Použití

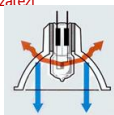
Byty, promítací technika, automobily, výlohy obchodů, muzea, galerie a scénické osvětlení.

## Teplotní - žárovky **HALOGENOVÉ**

4. přednáška KEE/ESV

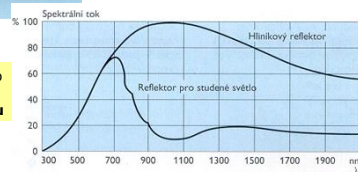
### Jednopaticové s dichroickým zrcadlem

- Usměrnění viditelného záření na osvětlovaný předmět a propuštění IČ záření směrem k objímce žárovky → **osvětlovaný předmět není vystaven tak velké tepelné zátěži**



- vyzařují chladné (studené světlo)

**Až 66 % vytvořeného tepelného záření je odvedeno za žárovku**



## Teplotní - žárovky

4. přednáška KEE/ESV

### TABULKA EKVIVALENTU KLASICKÝCH ŽAROVEK

Uváděný ekvivalentní příkon žárovky (W)	Jmenovitý světelný tok světelného zdroje (lm)		
	kompaktní žárovky	halogenové žárovky	LED a jiné světelné zdroje
15	125	119	136
25	229	217	249
40	432	410	470
60	741	702	806
75	970	920	1 055
100	1 398	1 326	1 521
150	2 253	2 137	2 452
200	3 172	3 009	3 452

Zdroj: Směrnice Evropského parlamentu a Rady 2005/32/ES

7. března 2016

18

## VÝBOJOVÉ SVĚTELNÉ ZDROJE



## Výbojové světelné zdroje

**Princip** = elektrický výboj v parách nebo plynech a jejich směsích (Rg, Na, halogenidy, Ar, Kr, Xe, Ne, atd.)

### • Dělení

- Dle **typu výboje**
  - obloukový, doutnavý, impulzní, bezelektrody – vysokofrekvenční)
- Dle **místa vzniku záření**
  - Plynové
  - Luminiscenční, atd.
- Dle **tłaku pracovní náplně – nepoužívanější**
  - **Nízkotlaké**
  - **Vysokotlaké**
  - Výbojky s velmi vysokým tlakem

Každá výbojka musí mít vždy předřadník!

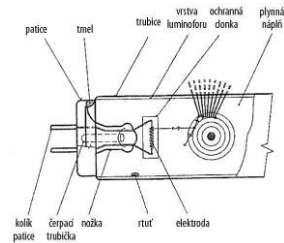
## VÝBOJOVÉ SVĚTELNÉ ZDROJE NÍZKOTLAKÉ

## Výbojové nízkotlaké - ZÁŘIVKY

= nízkotlaká rtuťová výbojka se žhavenými elektrodami v níž je hlavní část světla vyzařována jednou či několika vrstvami luminoforu buzeného UV zářením výboje

### Nízkotlaký výboj

- vyzařuje jen asi **2 %** přivedené energie v **oblasti viditelného záření a více než 60 % v oblasti UV záření (19 % transformace na světlo).**



- Transformace části UV záření na viditelné **luminoforem**
- vliv na  $R_a$  index

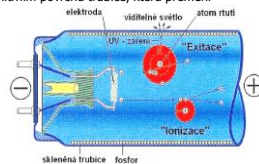
## Výbojové nízkotlaké - ZÁŘIVKY

### Princip

- Na obou koncích trubice wolframová elektroda
- Elektrické pole mezi elektrodami
- Vybuzení par rtuti – emise neviditelného UV záření
- **Luminofor** = speciální látka nanesená na vnitřním povrchu trubice, která přemění neviditelné UV záření na viditelné světlo

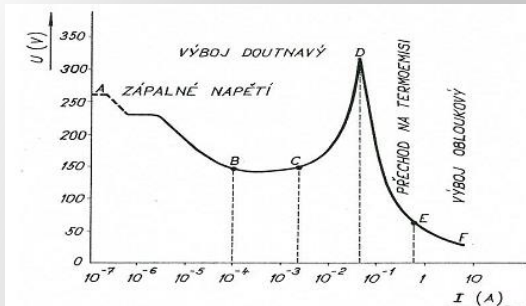
### Pokles světelného toku během života zářivky (tj. stárnutí zářivky):

- ztráta účinnosti luminoforu
- zčernání povrchu trubice rozprašeným materiálem elektrod

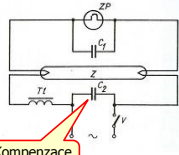
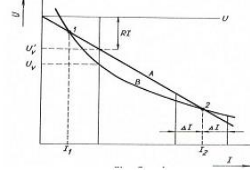
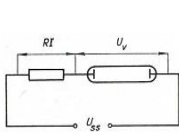


- Volbou luminoforu lze měnit spektrum světla
- Tlak **vzácného plynu** v zářivce je přibližně 4,102 Pa
  - Snižuje zápalné napětí, zabraňuje rozprašování materiálu elektrod, vysoký tlak prodlužuje dobu života
- Optimální tlak **par rtuti** je asi 0,6 až 0,8 Pa.

## Výbojové nízkotlaké - ZÁŘIVKY



4. přednáška KEE/ESV

Obr. 6 - 16  
Obvyklé schéma zapojení zářivkového svítidla s jednou zářivkou, s indukčním předřadníkem a zapalovačem

Z - zářivka; TI - tlumivka;  
 ZP - doutnavkový zapalovač;  
 C<sub>1</sub> - odrušovací kondenzátor;  
 C<sub>2</sub> - kompenzační kondenzátor;  
 V - vypínač

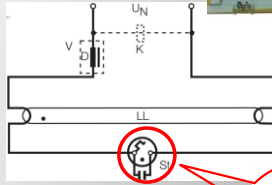
Kompenzace účinku

7. března 2016

25

4. přednáška KEE/ESV

Náhrada indukčních předřadníků elektronickými – bezhlučný provoz  
 Nejsou nutné instalovat zapalovače.  
 Zapálení bez blikání.



Označení dle průměru zářivky

- T2.....7 mm
- T5.....16 mm
- T8.....26 mm



7. března 2016

26

## Výbojové nízkotlakové - ZÁŘIVKY

4. přednáška KEE/ESV

 $R_8 = 8 \times 10 = 80$ Teplota chromatičnosti  
 $T_{cp} = 40 \times 100 = 4\,000\text{ K}$ 

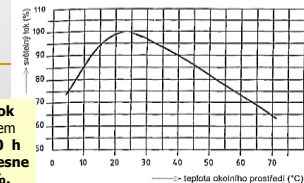
obchodní název, nejedná se o hodnocení barevného tónu světla dle tab. 04

 $R_{98}$ Teplota chromatičnosti  
 $T_{cp} = 6\,500\text{ K}$ 

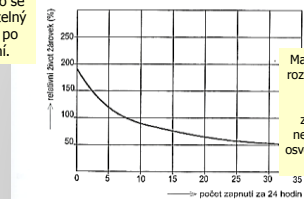
7. března 2016

27

Světelný tok zářivky během prvních 100 h provozu **poklesne asi o 10%**, potom již klesá pomaleji. Proto se jmenovitý světelný tok se udává po 100 h hoření.



Obr. 9.4. Závislost světelného toku zářivky na teplotě okolního prostředí



Obr. 9.5. Závislost života zářivky na počtu zapnutí

Materiál elektrod se rozprašuje nejvíce při zažehování. Proto se takto zapojené zářivky nehodí tam, kde se osvětlení často vypíná a zapíná.

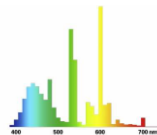
## Výbojové nízkotlakové - ZÁŘIVKY

## Zářivky - vlastnosti

- Většinou trubkové (lineární či tvarové)
- V závislosti na použitém luminoforu lze dosáhnout různého barevného odstínu a indexu podání barev
- Patice G13 či G5

## Výhody

- Vysoká účinnost – měrný výkon až 104 lm/W,  $R_8 = 80$
- Vhodné geometrické parametry
- Průměrná životnost zářivky dosahuje více než 20 000 hodin



## Nevýhody

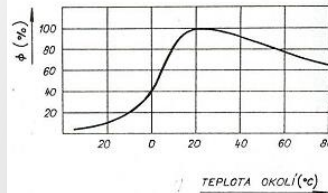
- Závislost světelného toku na teplotě okolí (Nižší teplota = nižší tlak par rtuti – nižší světelný tok)
- Potřeba předřadných a startovacích obvodů
- Vliv počtu zapnutí na život zářivky
- Obsah toxické rtuti (cca 3 mg) – nelze dávat do komunálního odpadu!



## Výbojové nízkotlakové - ZÁŘIVKY

- Život zářivky končí rozprášením aktivní emisní vrstvy elektrod, zářivky pak již nezapálí (blikání zářivky – opakované pokusy o nastartování)

- Závislost světelného toku na teplotě okolí (Nižší teplota = nižší tlak par rtuti – nižší světelný tok)



Standartní zářivky mají maximum světelného toku při teplotě okolí 25°C.



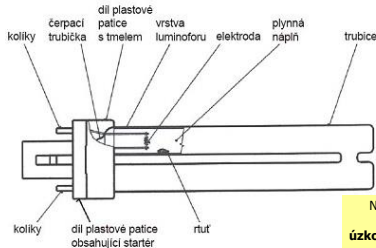
4. přednáška KEE/ESV

7. března 2016

30



## Výbojové nízkotlaké - **KOMPAKTNÍ**



Na vnitřní straně trubice je vrstva směsi tzv. **úzkopásmových lumínoforů**

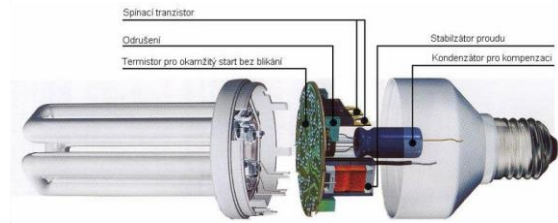
- dva – G, R – teplejší barvy
- tři – R, G, B – studené barvy

5. přednáška KEE/ESV

7. března 2016

31

## Výbojové nízkotlaké - **KOMPAKTNÍ**



5. přednáška KEE/ESV

7. března 2016

32

## Výbojové nízkotlaké - **KOMPAKTNÍ**

### Vlastnosti

- Světelný tok 230 až 3 200 lm
- Trubice – tvar U (2U, 3U, 4U až 8U), šroubovice, atd.
  - Přídavná baňka – umístění trubice s malými příkony max. 23 W do vnější baňky s rozptýlnou vrstvou
- **ci** = co nejvíce se přizpůsobit tvaru tvarem i křivkou svítivosti klasickým žárovkám  
→ **zářivky s integrovaným elektronickým předřadníkem.**

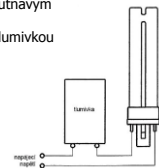
5. přednáška KEE/ESV

7. března 2016

33

## Výbojové nízkotlaké - **KOMPAKTNÍ**

- **Zářivky s vnějším předřadníkem**
  - Tlumivka či předřadník pracující na vysoké frekvenci (30 až 40 kHz)
  - Výměna pouze zářivky ne předřadníku – výhoda
- **S tlumivkou**
  - Dvoukolková patice (např. G23) se zabudovaným doutnavým startérem
  - Mohou být i dvě zářivky zapojené do série s jednou tlumivkou (5, 7 či 9 W) = tzv. tandemové zapojení
- **S elektronickým předřadníkem**
  - čtyřkolková patice (např. G27)



5. přednáška KEE/ESV

7. března 2016

34

## Výbojové nízkotlaké - **KOMPAKTNÍ**

- **Zářivky s elektronickým integrovaným předřadníkem**
- Určeny do žárovkových svítidel (patice E14, E27, B 22 či G28d)
- Předřadný obvod součástí zdroje
- Požadavek co nejvíce se přizpůsobit tvaru žárovky z hlediska dosažení stejné hladiny osvětlení ve stejných svítidlech (nehodné kompaktní zářivky s větší délkou)
- Nutné používat špičkové luminofoxy!!!
- Technologie s amalgámy eliminují negativní vliv teploty okolí
- Riziko u jednoduchých obvodů ke vzniku studeného zápalu (zkrácení T)



5. přednáška KEE/ESV

7. března 2016

35

## Výbojové nízkotlaké - **KOMPAKTNÍ**

### Výhody

- Vysoká účinnost – měrný výkon **50 až 87 lm/W**  
(80 % úspora elektrické energie oproti klasickým žárovkám)
- **$R_a = 40$  až 87** (speciální typy až 90)
- Náhradní teplota chromatičnosti **2 700 až 6 500 K**
- Průměrná životnost 5krát až 20krát delší než u klasických žárovek (**až 20 000 h**) (provozní teplota -10 až 70 °C)
- Trend zmenšování rozměrů, zvyšování účinnosti, prodloužení života
- Elektronické předřadníky – rychlý start (1s) bez blikání a stabilní provoz
- Možnost provozu se stmívači či senzory pohybu

### Nevýhody

- Závislost světelného toku na teplotě
- Vliv četnosti zapínání na jejich provoz
- Obsah rtuti
- Omezená horní hranice příkonu z hlediska nízkotlakového výboje

## Výbojové nízkotlaké - SODÍKOVÉ

- = výbojky, jejichž světlo je vyzařováno sodíkovými parami s tlakem (0,1 až 1,5 Pa)
- Označení **SOX** či **SOX-E**
  - Měrný výkon až 200 lm/W = **nejúčinnější sériově vyráběné světelné zdroje!!!**

### • Na

- intenzivní rezonanční záření ve **žluté části viditelného spektra** (589 až 589,6 nm), která se **blíží maximum spektrální citlivosti lidského oka**



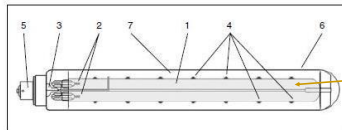
5. přednáška KEE/ESV 7. března 2016

37

## Výbojové nízkotlaké - SODÍKOVÉ

### - Vysoká chemická aktivita čistého sodíku

→ Výboj probíhá v hořáku ze speciálně upraveného vápenatého skla, zevnitř **vrstva boritého skla** (odolnost proti Na)



Obr. 2. Konstrukce nízkotlaké sodíkové výbojky  
1 - výbojová trubice, 2 - katoda, 3 - nožka, 4 - chladná místa, 5 - patice, 6 - vnější baňka s odraznou vrstvou, 7 - vakuum

**Na + inertní plyn**, který chrání elektrodu před rychlým rozprašováním a odpařováním emisní hmoty a usnadňuje zapálení

### - zvýšení příkonu (světelného toku) pouze prodloužením výbojové dráhy – tvar U

- max. příkon 180 W
- Elektrody z wolframového drátu na který je nanesena emisní hmota (oxid barnatý či vápenatý)

5. přednáška KEE/ESV

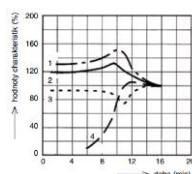
7. března 2016

38

## Výbojové nízkotlaké - SODÍKOVÉ

### Princip

- Výboj v režimu nasycených par jejichž **tlak je určen teplotou nejnižšího místa hořáku**
- Zabránění kondenzace Na na jednom místě jsou rovnoměrně po celé délce trubice vytvořeny chladné zóny (důlky)
- Po zapálení probíhá **nejprve výboj v inertním plynu** (Ne – načervenalá barva světla)
- Po ohřátí stěn trubice a **zvýšení tlaku par Na – výboj pouze v parách Na**
- Doba trvání cca 10 až 12 minut



### • Vnější čirá baňka – vysoké vakuum

- **Vnitřní baňka** – vrstva oxidu inditého pro vynikající propustnost viditelné části spektra a odrazivost IR záření zpět na stěnu trubice

→ **vysoký měrný výkon**

5. přednáška KEE/ESV

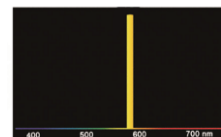
7. března 2016

39

## Výbojové nízkotlaké - SODÍKOVÉ

### Vlastnosti

- Život – **16 000 až 20 000 h**
- Zdroj monochromatického záření – **špatné podání barev** (mimo oranžové barvy se ostatní jeví jako šedé o různé sytosti)
- Náhradní teplota chromatičnosti **1 800 K**



### Použití

- Ulice
- Tunely, podchody
- Plavební dráhy, zdymadla
- Schváleno pouze pro použití v uzavřených svítidlech
- Venkovní použití pouze ve vhodných svítidlech

5. přednáška KEE/ESV

7. března 2016

40

## Výbojové nízkotlaké - SODÍKOVÉ

### Výhody

- měrný výkon **až 200 lm/W**
- Průměrná životnost až 20 000 h
- Široký teplotní interval v němž je účinnost konstantní bez ohledu na teplotu okolí
- Nízký jas oproti vysokotlakým
- Dobrá viditelnost i v husté mlze
- Elektronické předřadníky – rychlý start (1s) bez blikání a stabilní provoz

### Nevýhody

- Náhradní teplota chromatičnosti 2 700 až 6 500 K
- Vyšší zápalné napětí
- Postupný nárůst příkonu v průběhu života
- Vyšší materiálová náročnost

•  $R_a = 0$

5. přednáška KEE/ESV

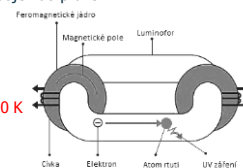
7. března 2016

41

## Výbojové nízkotlaké- INDUKČNÍ VÝBOJKY

= výboj je buzen **vnějším vf polem** (střídavé magnetické pole – cca 250 kHz až 2 MHz)

- bezelektrodová konstrukce prostoru v němž probíhá výboj
- snazší konstrukce
- napájecí zdroj – ovlivňuje uvedení výbojek do praxe
- svítící prvek – nejčastěji Hg
- obdoba zářivek
- třípásmové luminofory



- Teplota chromatičnosti **2 700 až 6 500 K**
- Index podání barev **větší než 80**
- Měrný výkon **80 až 100 lm/W**

**Dnes méně významné než LED!!!**

▲ Princip funkce indukční výbojky

## Výbojové nízkotlakové - **INDUKČNÍ VÝBOJKY**

- okamžitý start i znovu zápal
- dobrá stabilita světelného toku

### Hlavní nevýhody

- nejsou až na výjimky stmívatelné
- omezený výběr svítidel
- vysoká cena



5. přednáška KEE/ESV

7. března 2016

43

4. přednáška KEE/ESV 7. března 2016

## Příště

## SVĚTELNÉ ZDROJE (DOKONČENÍ)

44