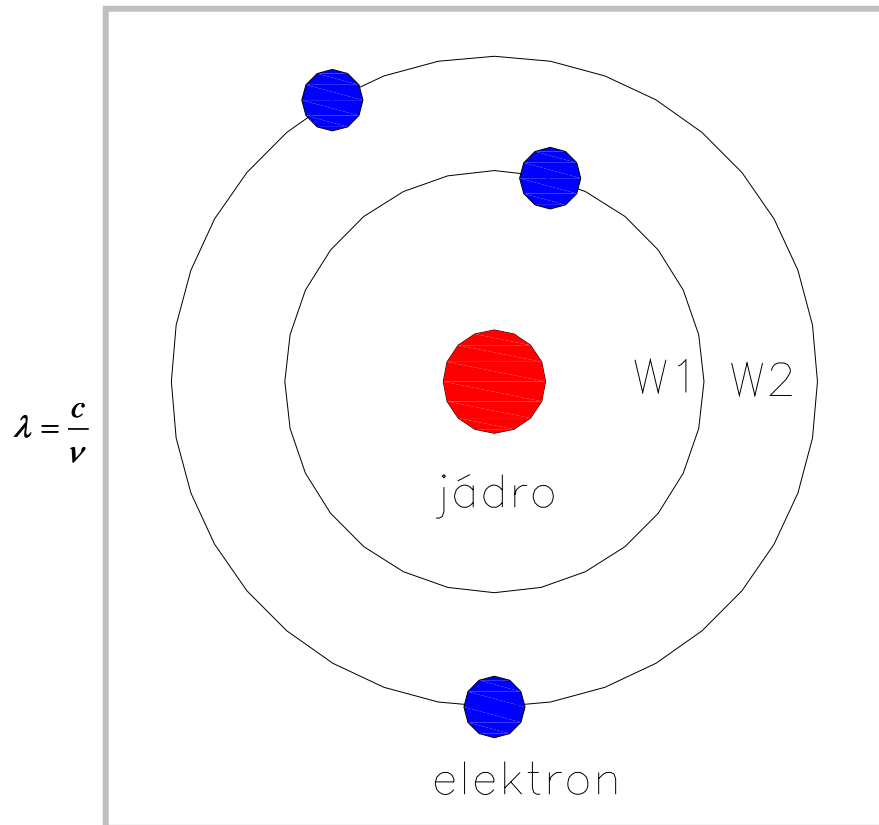


---

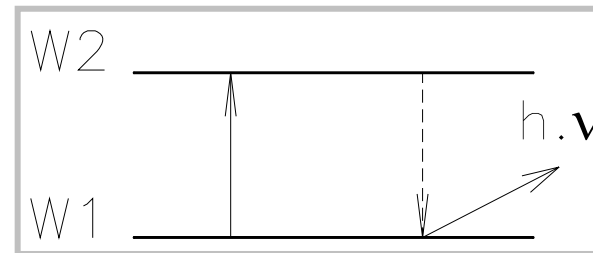
# **SVĚTELNÉ ZDROJE PRO VŠEOBECNÉ OSVĚTLOVÁNÍ**



## Fyzikální základ vzniku světla



Obr.1 Zjednodušený model atomu (Bohr, 1913)



Obr.2 Zářivý přechod

### Vznik optického záření

Dodáním vnější energie (kinetické, tepelné), elektron z vnitřní dráhy překoná přitažlivou sílu jádra a přejde na vnější dráhu s vyšší energií (vybuzený stav) – přechodný stav  $\Rightarrow$  návrat na dráhu původní nebo s nižší energií.

### Dva případy:

1. Nezářivý přechod
2. Zářivý přechod  $\Rightarrow$  uvolnění energie (foton)

$$\Delta W = W_1 - W_2 = \varepsilon = h\nu$$

$$\lambda = \frac{c}{\nu}$$



## Způsoby vzniku světla (viditelného záření)

### 1. INKADESCENCE (primární zdroj viditelného záření)

Zahřátí tělesa na průchodem elektrického proudu vysokou teplotu  $\Rightarrow$  tepelné vybuzení  $\Rightarrow$  vznik viditelného záření (žárovky)

### 2. VÝBOJ (primární zdroj viditelného záření)

Transformace elektrické energie na kinetickou energii pohybujících se částic. Vybuzení atomů plynu nebo par kovů při srážkách s pohybujícími se částicemi  $\Rightarrow$  optické záření (výbojky)

### 3. LUMINESCENCE

jev při kterém hmota vysílá záření s intenzitou vyšší než teplotní záření hmoty za stejné teploty.

#### 3.1. Elektroluminescence (primární zdroj viditelného záření)

jev, při kterém je vnějším činitelem elektrické pole (polovodičové zdroje LED, OLED)

#### 3.2. Fluorescence (sekundární zdroj viditelného záření)

Jev, je vnějším činitelem optické záření, emitovaný foton má menší energii absorbovaný – Stokesovo pravidlo (nizkotlaké výbojové zdroje).



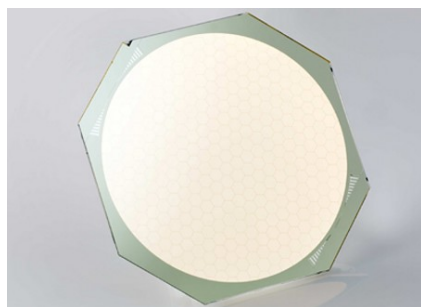
Dělení světelných zdrojů podle vzniku viditelného záření



## Dělení světelných zdrojů podle rozložení světelného toku

### 1. Všesměrové

Světelné zdroje používané jak k celkovému, tak směrovému osvětlení v závislosti na optickém systému svítidla



### 2. Směrové

Světelné zdroje s vlastním optickým systémem, které se používají ke směrovému osvětlení předmětů nebo částí prostoru.



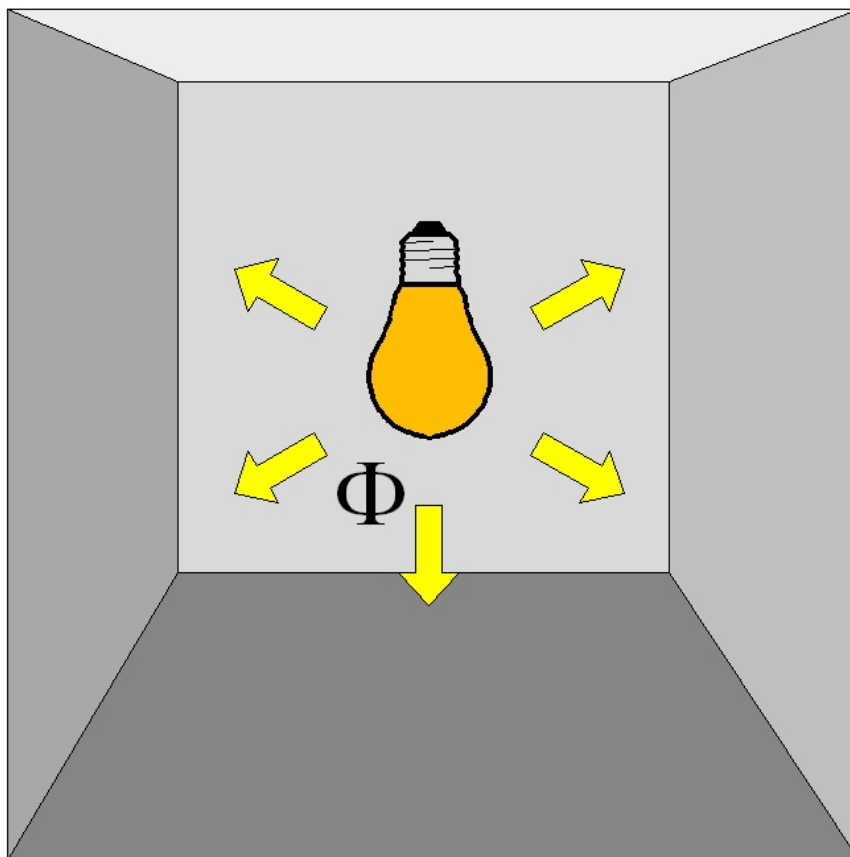
## Vlastnosti světelných zdrojů

1. Světelně technické
2. Elektrické a energetické
3. Provozně technické



## Světelně technické parametry světelných zdrojů

### Světelně technické parametry - kvantitativní



### Světelný tok

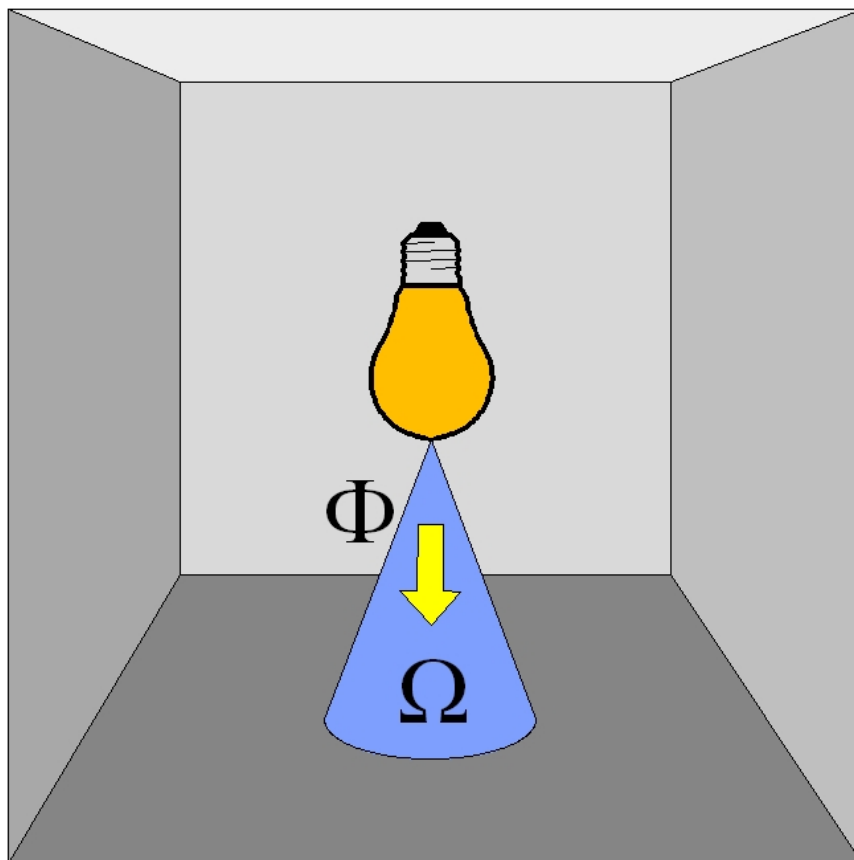
označení:  $\Phi$

jednotka: lumen (lm)

Používá se k popisu množství světla, vyzařovaného všesměrovými světelnými zdroji. Například žárovka 60 W vyzáří světelný tok 710 lm.

## Světelně technické parametry světelných zdrojů

### Světelně technické parametry - kvantitativní

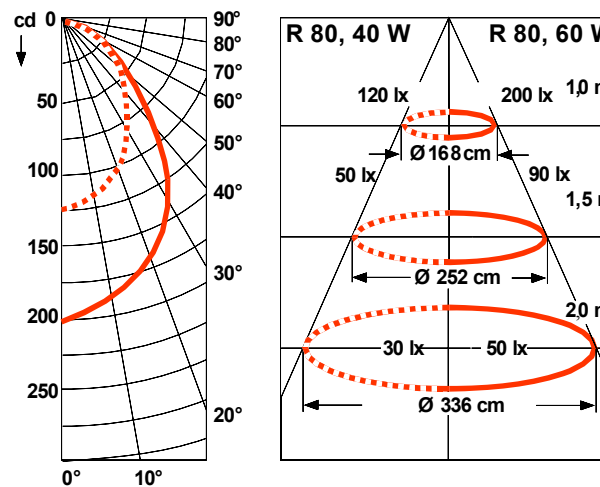


### Svítivost

označení:  $I$

jednotka: kandela (cd)

Používá se k popisu prostorové hustoty světelného toku, tj. množství světla vyzářeného do určitého prostorového úhlu. Tento parametr se využívá při popis směrových světelných zdrojů.



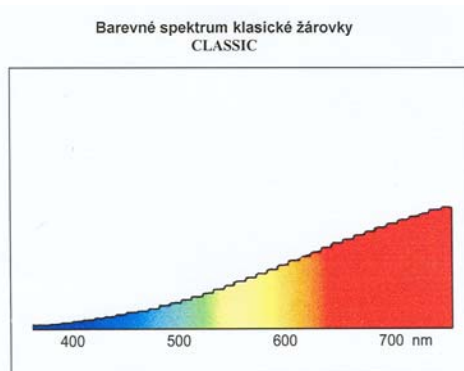


## Světelně technické parametry světelných zdrojů

### Světelně technické parametry - spektrální

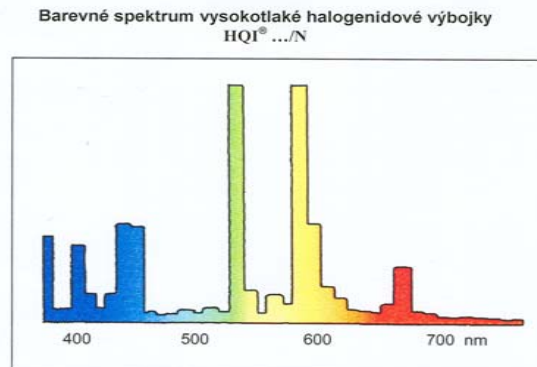
#### 1. Teplotní - žárovky

Látka (vlákno žárovky) rozžhavená průchodem elektrického proudu vysílá **spojité** optické záření



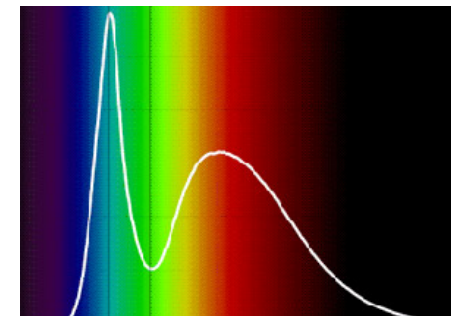
#### 2. Výbojové - Hg, Na výbojky

V elektric. výbojích v plynech a parách kovů se při návratu vybuzených atomů plynů do stabilních stavů uvolní energie a ta se mění v optické záření s **čárovým** spektrem



#### 3. Elektro-luminescenční (LED, OLED)

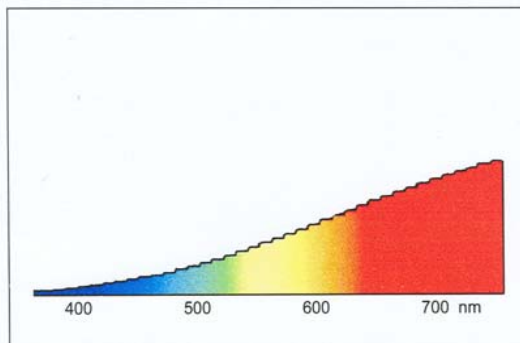
Emitování viditelného záření vybuzeného elektrickým polem na polovodičovém přechodu PN



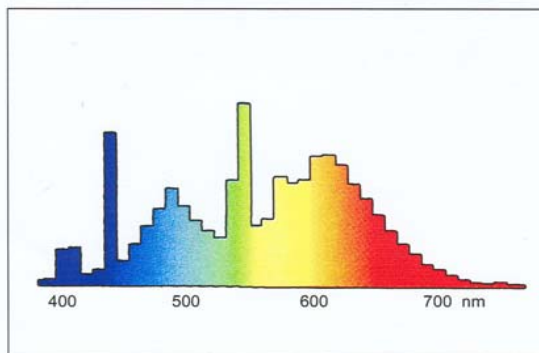
# UKÁZKY SPEKTER VYBRANÝCH SVĚTELNÝCH ZDROJŮ

Na svislé ose diagramů např. stupnice  $\mu\text{W} / 10 \text{ nm} / \text{lm}$

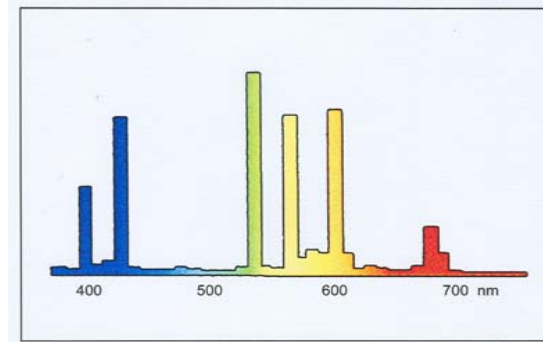
Barevné spektrum klasické žárovky  
CLASSIC



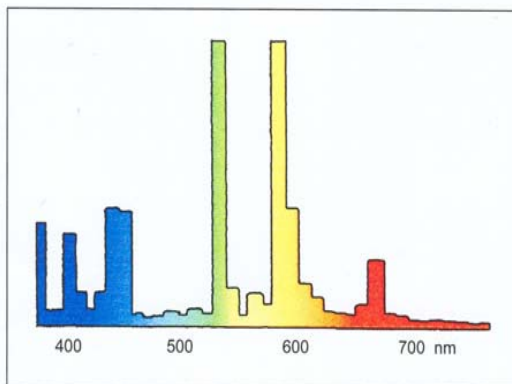
Barevné spektrum nízkotlaké rtuťové výbojky (zářivky)  
LUMILUX® DE LUXE 940



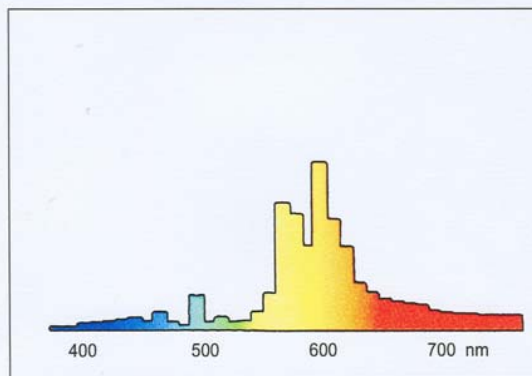
Barevné spektrum vysokotlaké rtuťové výbojky  
HQL® DE LUXE



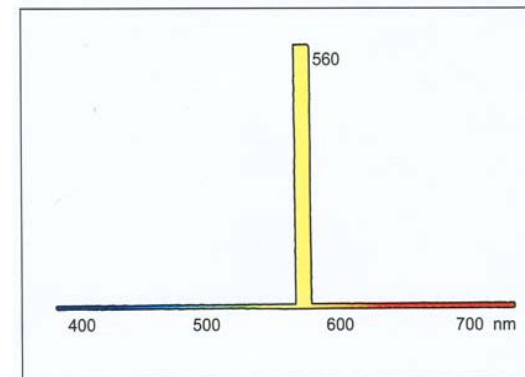
Barevné spektrum vysokotlaké halogenidové výbojky  
HQL® .../N



Barevné spektrum vysokotlaké sodíkové výbojky  
VIALOX®

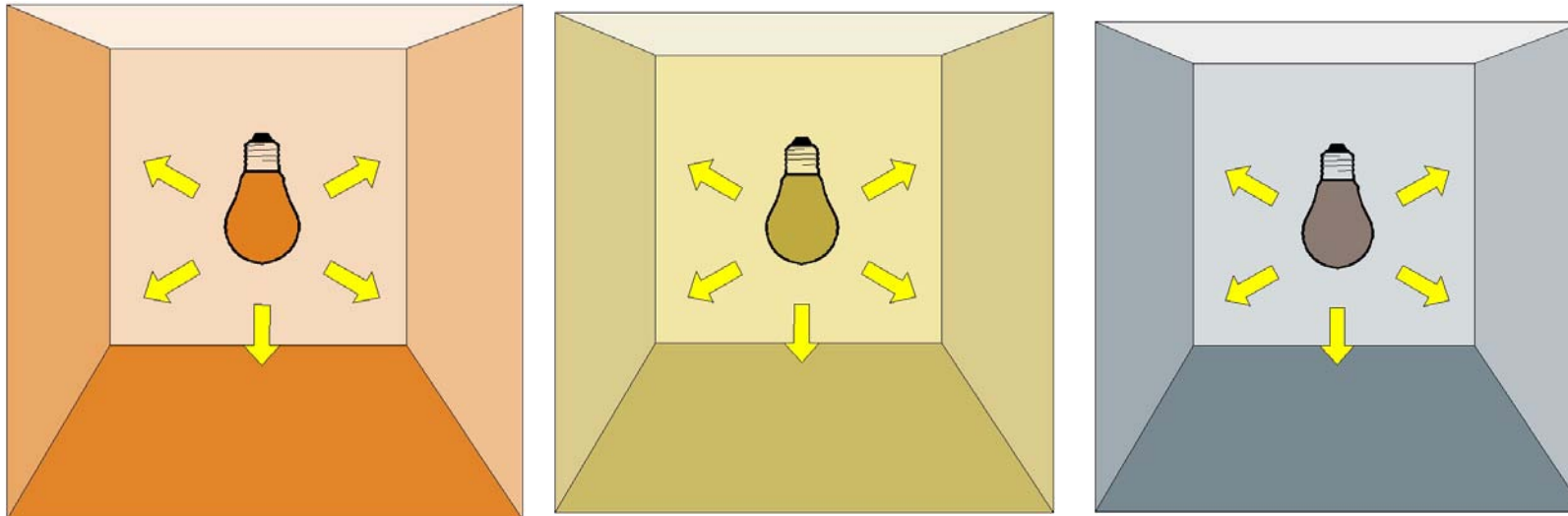


Barevné spektrum nízkotlaké sodíkové výbojky  
SOX



## Světelně technické parametry světelných zdrojů

### Světelně technické parametry - spektrální



### Teplota chromatičnosti

Označení:

$T_{cp}$

Jednotka:

Kelvin (K)

Teplota chromatičnosti popisuje barevný tón bílého světla, vyzařovaného světelnými zdroji. Technicky přesnější definice říká, že teplota chromatičnosti je teplota černého tělesa, jehož záření má stejnou chromatičnost jako daný barevný podnět.

# Teplota chromatičnosti $T_c$ (K)

$T_c$  je rovna **teplotě černého zářiče**, jehož záření má tutéž barevnou jakost (chromatičnost) [např. tytéž souřadnice  $x, y$ ] jako uvažované záření.

**Čára teplotních zářičů** s vyznačenými hodnotami teploty chromatičnosti  $T_c$  je zakreslena v diagramu chromatičnosti [křivka 2]

Pro výbojové zdroje (spektrální složení má výrazná pásma a čáry) - přibližný popis barvy **náhradní teplota chromatičnosti  $T_n$** .

$T_n = T_c$  bodu na čáře teplotních zářičů nejbližší bodu chromatičnosti (souřad.  $x, y$ ) uvažovaného světla, ale v **rovnoměrném** diagramu chromatičnosti, např. diagram **stejných barevných kontrastů  $u, v$**  v soustavě  $U V W$ .

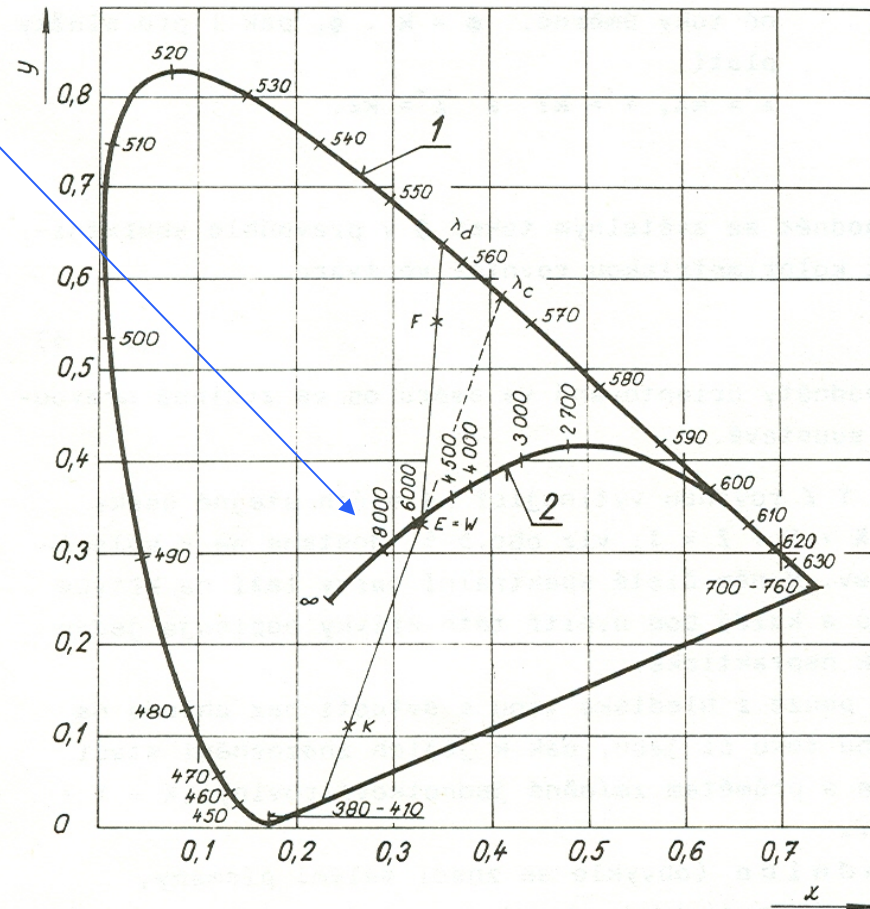
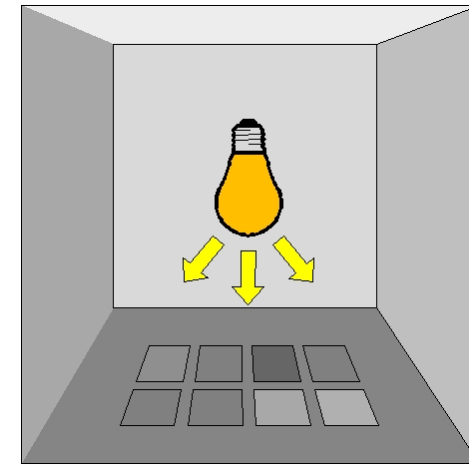
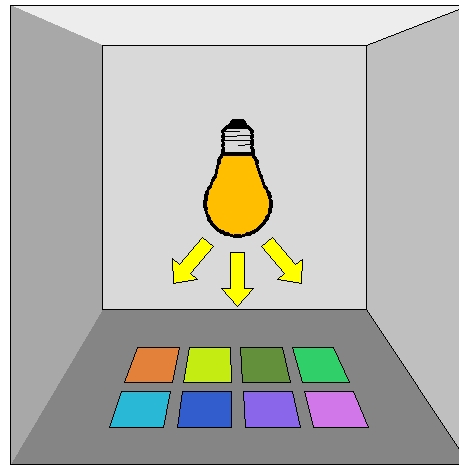
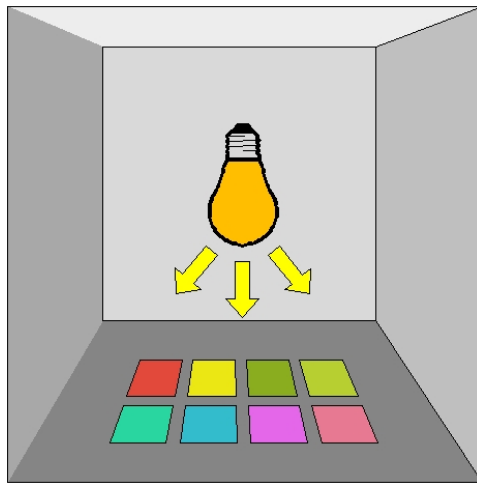


Diagram chromatičnosti v soustavě XYZ

## Světelně technické parametry světelných zdrojů

### Světelně technické parametry - spektrální



### Index podání barev

označení:  $R_a$

jednotky: ( - )

Může nabývat hodnot od 0 do 100. Při indexu podání barev 0 nejsme v daném světle schopni rozlišovat barvy, při indexu podání barev 100 jsme schopni věrně rozeznávat barvy předmětů. Žárovka má index podání barev 100, nízkotlaká sodíková výbojka má index podání barev 0

## Parametry světelných zdrojů

### Elektrické a energetické parametry

Napájecí napětí  $U$  (V): 230, 24, 12V

Provozní proud:  $I$  (A)

Účinnost: (-)

Příkon:  $P$ (W)

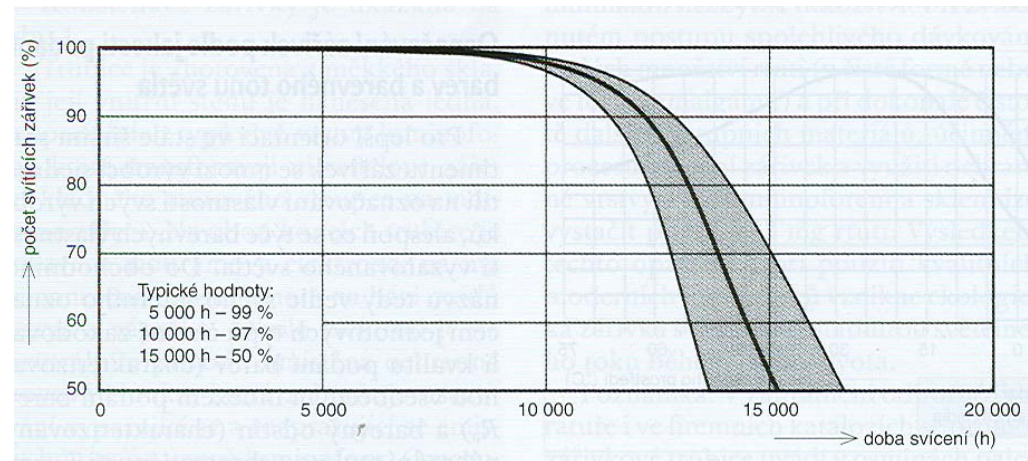
Měrný výkon:  $\eta = \Phi/P$  (lm/W)





## Parametry světelných zdrojů

### Provozně technické parametry – doba života

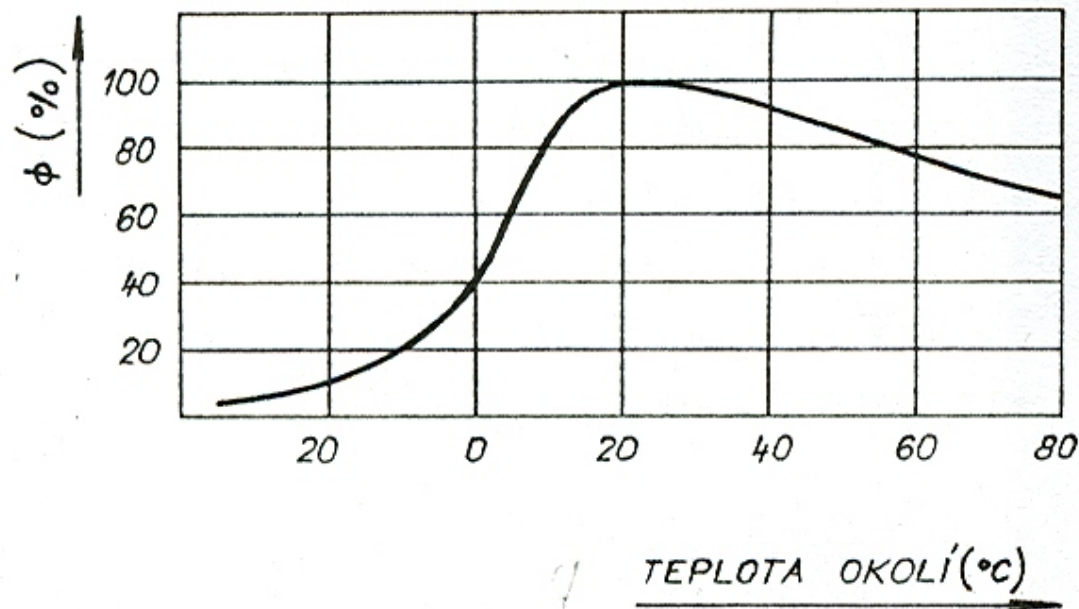


**Fyzický život** – doba svícení až do úplné ztráty provozuschopnosti  
(přepálení vlákna, ztráta schopnosti zapálit výboj, ...)

**Užitečný život** – doba, po kterou jsou parametry zdroje  
v požadovaných mezích

## Parametry světelných zdrojů

### Provozně technické parametry – závislost světelného toku na teplotě

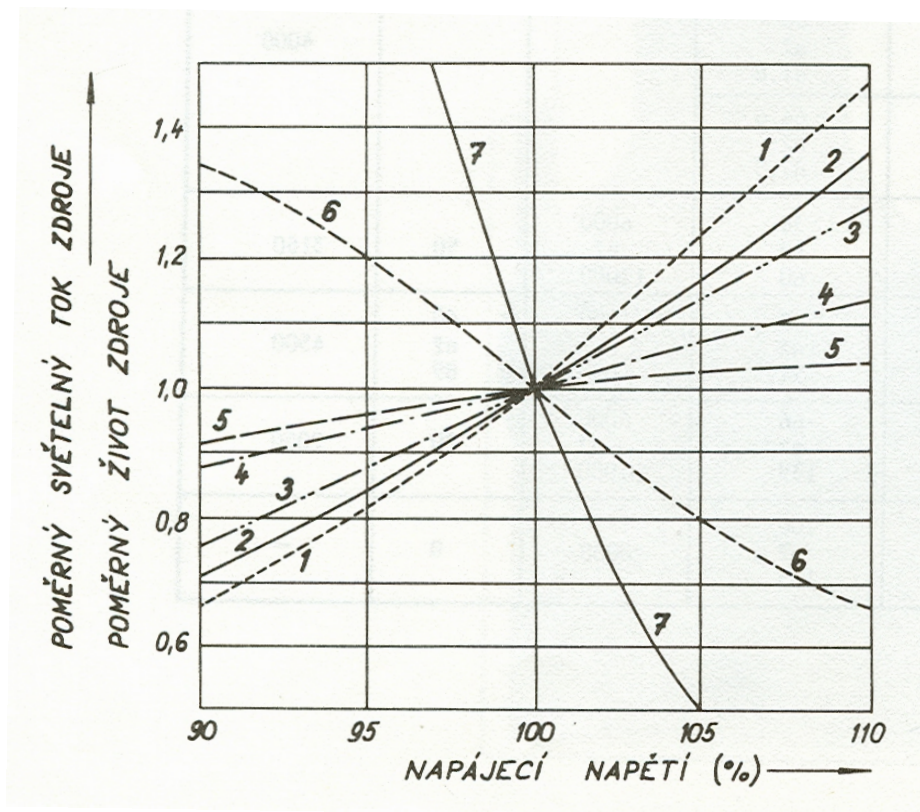


Příklad závislosti světelného toku na teplotě okolí u zářivek



## Parametry světelných zdrojů

### Provozně technické parametry - závislost světelného toku na 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

## 5. SVĚTELNÉ ZDROJE

### 5.1 Parametry sv. zdrojů

Světelný zdroj	P (W)	$\eta$ (lm / W)	T (h)	R <sub>a</sub> (-)	T <sub>cn</sub> (K)
Žárovky klasické	25 - 300	9 - 17	1000	100	2900
Žárovky halogenové	100 - 300	16 - 20	2000 - 3000	100	3000
Zářivky lineární	15 - 58	60 - 100	až 20 000	80 - 98	2700 - 6500
Zářivky kompaktní	7 - 120	45 - 65	až 10 000	80	2700 - 4000
Výbojky halogenidové	250 - 3500	65 - 100	až 8000	60 - 90	3000 - 5500
Indukční výbojky	70 - 150	80	60 000	80	3000 - 4000
Výbojky sodíkové vysokotlaké	50 - 1000	65 - 150	až 20000	24	2050
Výbojky sodíkové nízkotlaké	18 - 180	100 - 185	~ 8000	0	1 700
Světelná dioda (HP LED)	1 - 3	70 - 130	~ 5000	70-90	3000 - 8000

Dělení světelných zdrojů podle vzniku viditelného záření

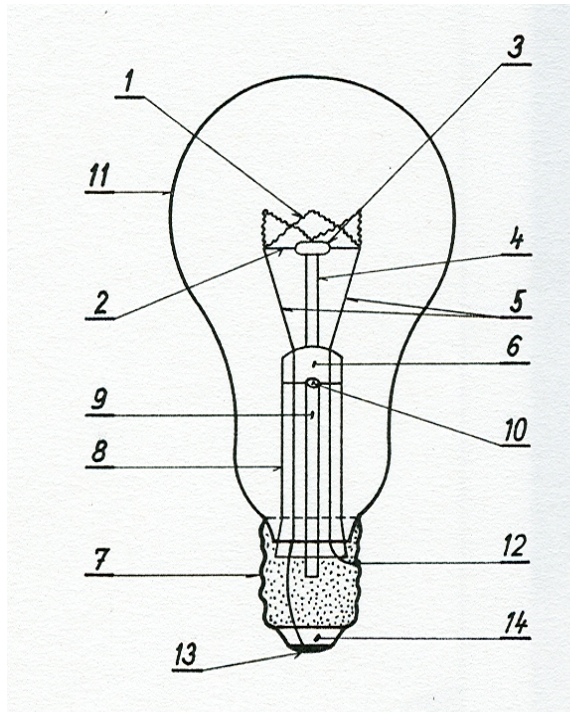


# TEPLOTNÍ SVĚTELNÉ ZDROJE

## 5. SVĚTELNÉ ZDROJE

### 5.1 Žárovky

#### Konstrukční provedení



- 1 wolframové vlákno
- 2 držáky vlákna
- 3 zploštělý konec tyčinky
- 4 skleněná tyčinka
- 5 přívody
- 6 místo stisku
- 7 přitmelená patice
- 8 trubička zv. talířek
- 9 čerpací trubička
- 10 čerpací otvor
- 11 vnější baňka
- 12 kontakt na plechu patice
- 13 kontakt na spodku patice
- 14 izolant

nejrozšířenější  
snadná instalace  
snadná údržba  
široký sortiment

×

nízký měrný výkon  
krátký život  
neefektivní zdroj

#### Popis závislostí $\Phi(U)$ , $T(U)$

$$\frac{\Phi}{\Phi_n} = \left( \frac{U}{U_n} \right)^{+3,5}$$

$$\frac{T}{T_n} = \left( \frac{U}{U_n} \right)^{-14}$$

# HALOGENOVÉ ŽÁROVKY HŽ

Zjednodušený popis

## halogenového regeneračního cyklu

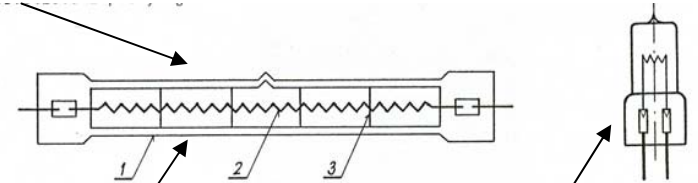
- W odpařený z vlákna putuje k baňce
- **poblíž baňky se W slučuje s J či Br**
- halogenid se vrací k vláknu
- Vlivem vysoké teploty **poblíž vlákna se halogenid štěpí** na :
  - J či Br (vracejí se k baňce)
  - W (zvyšuje koncentraci W u vlákna a brání dalšímu odpařování W).

Cyklus probíhá **kolmo k vláknu**.

S fluorem i podél – zatím nezvládnuto technologicky.



Lineární halogenová žárovka dvoupatnicová



Wolframové vlákno 1 drží několik podpěrek 2 v ose baňky ve tvaru válečku

Jednopaticová HŽ kompaktnější vlákno





# HALOGENOVÉ ŽÁROVKY HŽ

## Trendy vývoje

- **IRC technologie** - IČ multivrstvy
  - zpětný odraz záření na vlákno – zvýšení měrného výkonu
- dávkování **xenonu** – vyšší měrný výkon
- dotace „certitu“ do křemenného skla baňky k potlačení UV záření
- HŽ na síťové napětí
- nové **tvary** baněk pro různé aplikace
- změna  $T_c$  (cca 4000 K)
- HŽ na **malé napětí**
  - musí mít trafo či měnič
  - život až 5000 h, měř.výkon až 25  $lm.W^{-1}$
- Miniaturizace
- **Dichroický reflektor** – speciální vrstva na povrchu reflektoru propouští část IR záření



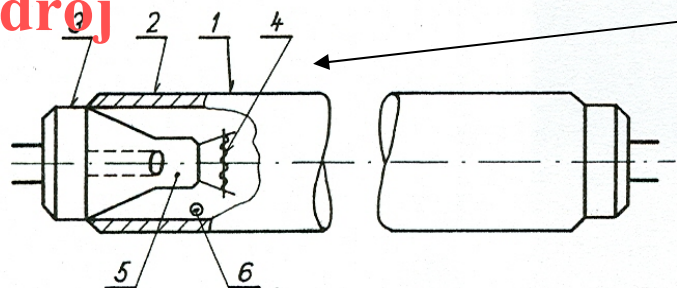
# VÝBOJOVÉ SVĚTELNÉ ZDROJE



# ZÁŘIVKY

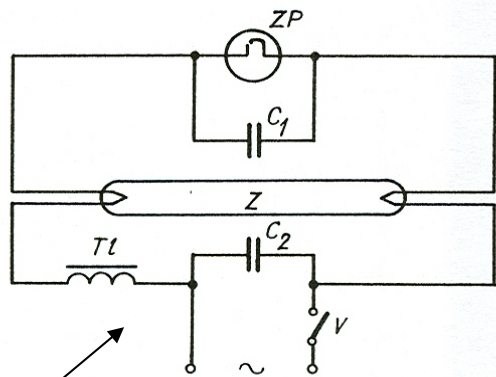
## Luminiscenční zdroj

nízkotlaké Hg výbojky se žhavenými elektrodami  
výbojová trubice opatřena **luminoforem** – transformuje  
**19 % příkonu** z UV do viditelného spektra



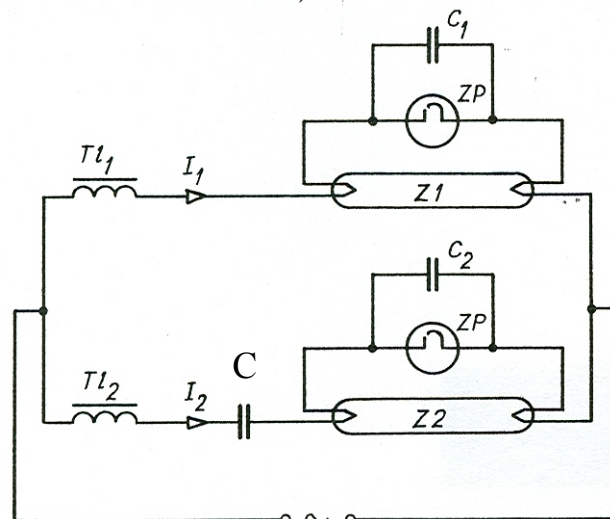
- 1 výbojová trubice
- 2 vrstva luminoforu
- 3 kolíčková patice
- 4 elektroda – W drátek
- 5 nosný systém
- 6 náplň Hg + argon, neon

**Každou výbojku  
zapojit vždy  
s předradníkem**



Zapojení zářivky Z s

- indukčním předradníkem  $Tl$ ,
- doutnavkovým zapalovačem  $ZP$ ,
- kondenzátorem  $C_2$  (kompanzačním)
- kondenzátorem  $C_1$  (odrušovacím)



Tzv. „**Duo zapojení**“

Zapojení zářivek Z1 a Z2  
s tlumivkami  $Tl1$  a  $Tl2$ ,  
zapalovači  $ZP$  a odrušovacími  
kondenzátory  $C_1, C_2$

kondenzátor  $C$  zajišťuje :

- fázový posuv  $I_1$  a  $I_2$   
[zábrana stroboskop. jevu]
- kompenzaci účinníku

## Označení průměru zářivek

průměr (mm)	označení
38	T12
26	T8
16	T5
7	T2

za písmenem **T** je **průměr v osminách palce**  
 (1 inch = 2,54 cm, 1 osmina palce = 3,175 mm)  
 např.

- 38 mm / 3,175 mm = 11,97 ≈ 12 proto **T12**;
- **26 mm / 3,175 mm = 8,19 ≈ 8 proto T8**;
- 16 mm / 3,175 mm = 5,04 ≈ 5 proto **T5**

## Kategorie zářivek

z hlediska podání barev předmětů v jejich světle

Kat.	zářivky s podáním barev	luminofor	měrný výkon ( $lm \cdot W^{-1}$ )	$R_a$
a	standardním	halofosfát	57 - 68	40 - 59 teple bílé
				60 - 79 bílé, denní
b	zlepšeným	třípásmový	T8 72 - 83	80 - 89
			T5 96 - 106	
c	vynikajícím	speciální obv. pětipásmový	52 - 55	> 90

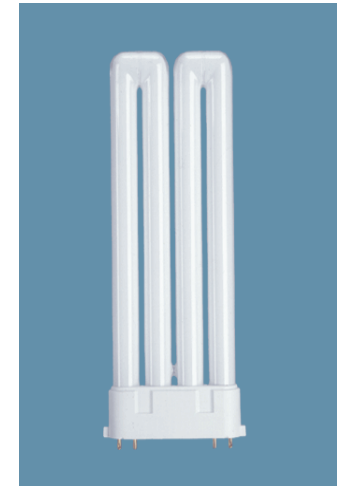
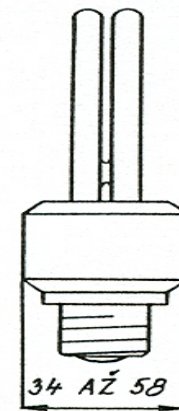
# KOMPAKTNÍ ZÁŘIVKY KZ

Náhrada za žárovky – provoz s EP, obv. patice E27.

Zkoušeny : 500.000 cyklů (60 s zap + 150 s vyp)

## Trendy vývoje

- přebírání nových technologií platných pro lineární zářivky
- 3/8“ technologie
- tvarované KZ
- KZ s reflektorem či difuzorem
- zvyšování příkonu
- snižování příkonu
- zvyšování doby života



## Příklady konstrukčního řešení různých typů kompaktních zářivek





# Kompaktní zářivky s velkým příkonem

---

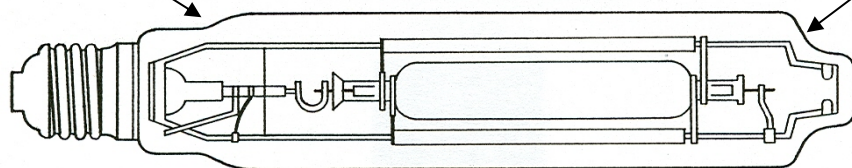


# HALOGENIDOVÉ VÝBOJKY

= vysokotlaké 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, dysproziem apod.

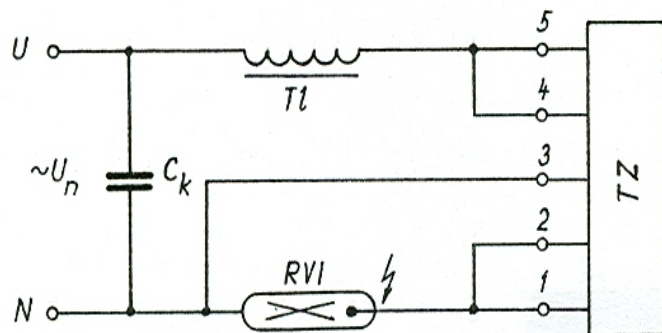
Minimální provozní teplota hořáku (křemenné sklo, keramika) výbojky je 700 až 750 °C

Příklad konstrukčního uspořádání halogenidové výbojky s čirou válcovou baňkou



**Vnější čirá baňka** výbojky je z tvrdého borosilikátového skla

**Hlavní elektrody** jsou z wolframového drátu a pokrývají se emisní vrstvou kyslíčků barya, stroncia nebo vápníku.



**Schéma napájení** halogenidové výbojky 1000 W  
Tl - tlumivka, TZ – vnější zapalovací zařízení,  
Ck - kompenzační kondenzátor

Využití : veřejné osvětlení, průmysl, sportoviště, polygrafie, lékařství

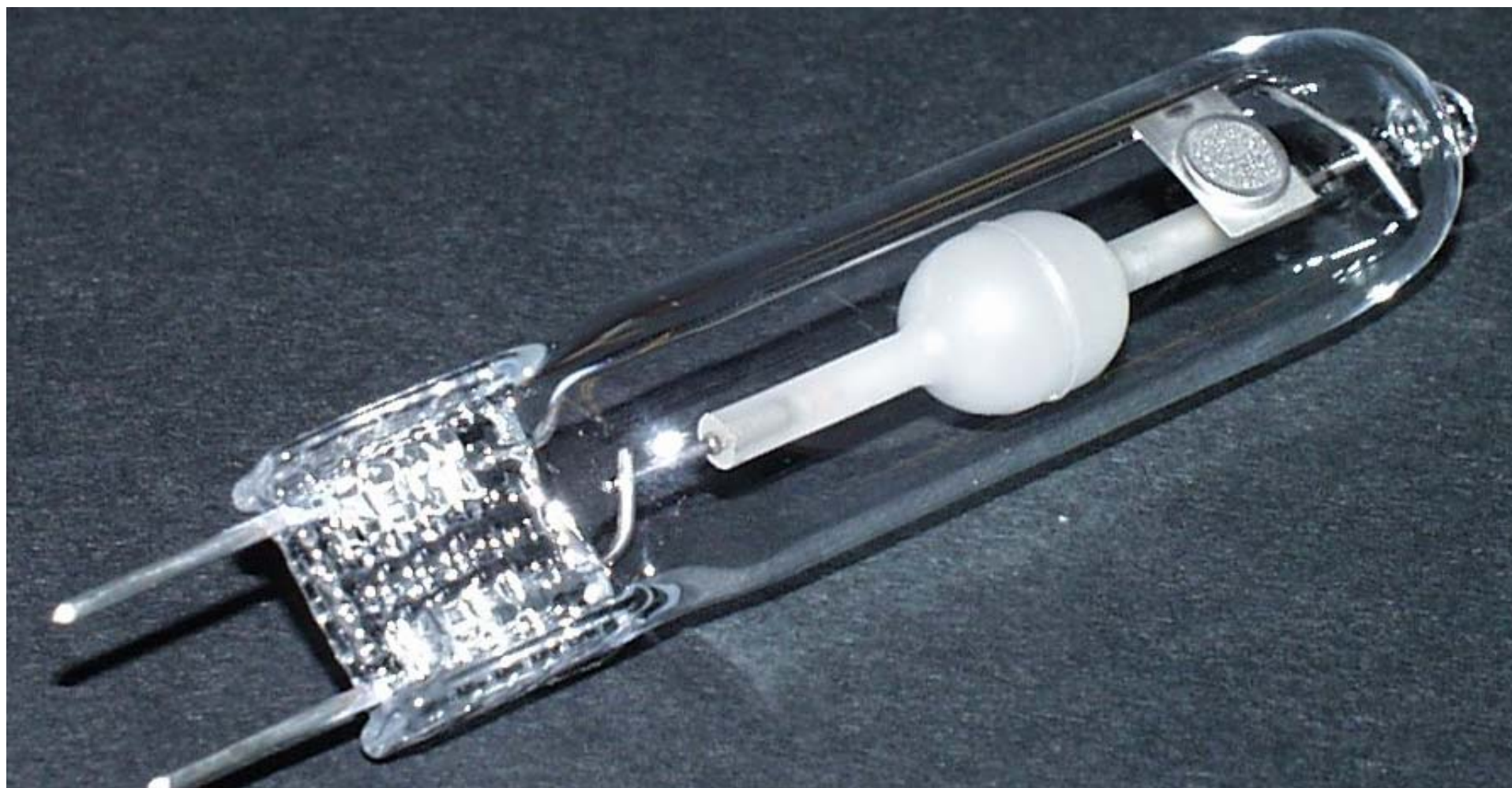
Zapínací proud =  $(1,4 \text{ až } 1,9) \cdot I_n$

Po zapálení dosahují halogenidové výbojky plného světelného toku asi za 2 až 4 min. provozu.



# Trendy vývoje halogenidových výbojek

- keramický hořák jako všeobecné řešení [83  $lm.W^{-1}$ , 12000 h]
- dávkování Na – sblížování vlastností s vysokotl. sodíkovými výbojkami
- nové plynné náplně
- miniaturizace příkonů [např. 20 W, 80  $lm.W^{-1}$ , 12.000 h]



# VYSOKOTLAKÉ SODÍKOVÉ VÝBOJKY

Zvýšením tlaku par Na (asi na 26,6 kPa) v hořáku (z **korundu**) výbojky se dosahuje při provozní teplotě 800 °C :  $R_a \geq 20$  a cca 120  $lm.W^{-1}$ .

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

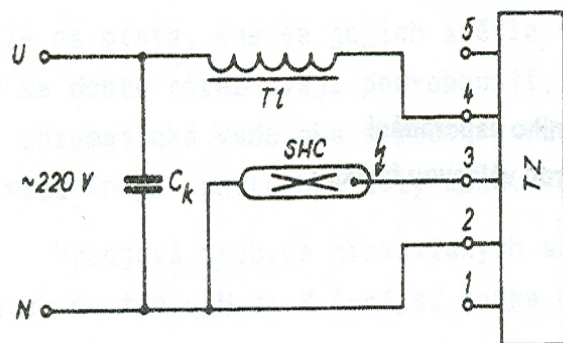
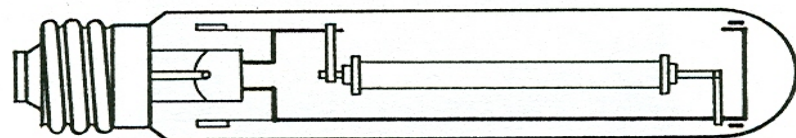


Schéma napájení vysokotlaké sodíkové výbojky  
Tl- tlumivka, TZ - zapalovací zařízení  
(impulzy 1,9 až 4,5 kV),  
C<sub>k</sub> - kompenzační kondenzátor

Při **krátkodobém přerušení** elektrického proudu **výbojka zhasne**. Zapalovač začne pracovat a po celou dobu chladnutí výbojky dává impulzy až výboj znovu zapálí.

Náběhový proud výbojky je asi o 25% vyšší než proud jmenovitý

Po zapálení dosahují vysokotlaké sodíkové výbojky plného sv. toku asi za 8 až 10 min. provozu.



# Vysokotlaké sodíkové výbojky

## Trendy vývoje

- ekologické bezrtuťové výbojky
- dávkování jiných prvků ke zlepšení podání barev
- vícehořákové výbojky
- možnosti přepínání barvy světla nebo příkonu
- miniaturizace příkonů
- využití i v interiérech



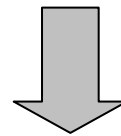
Typy světelných zdrojů

**„MODERNÍ SVĚTELNÉ ZDROJE“**

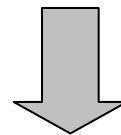




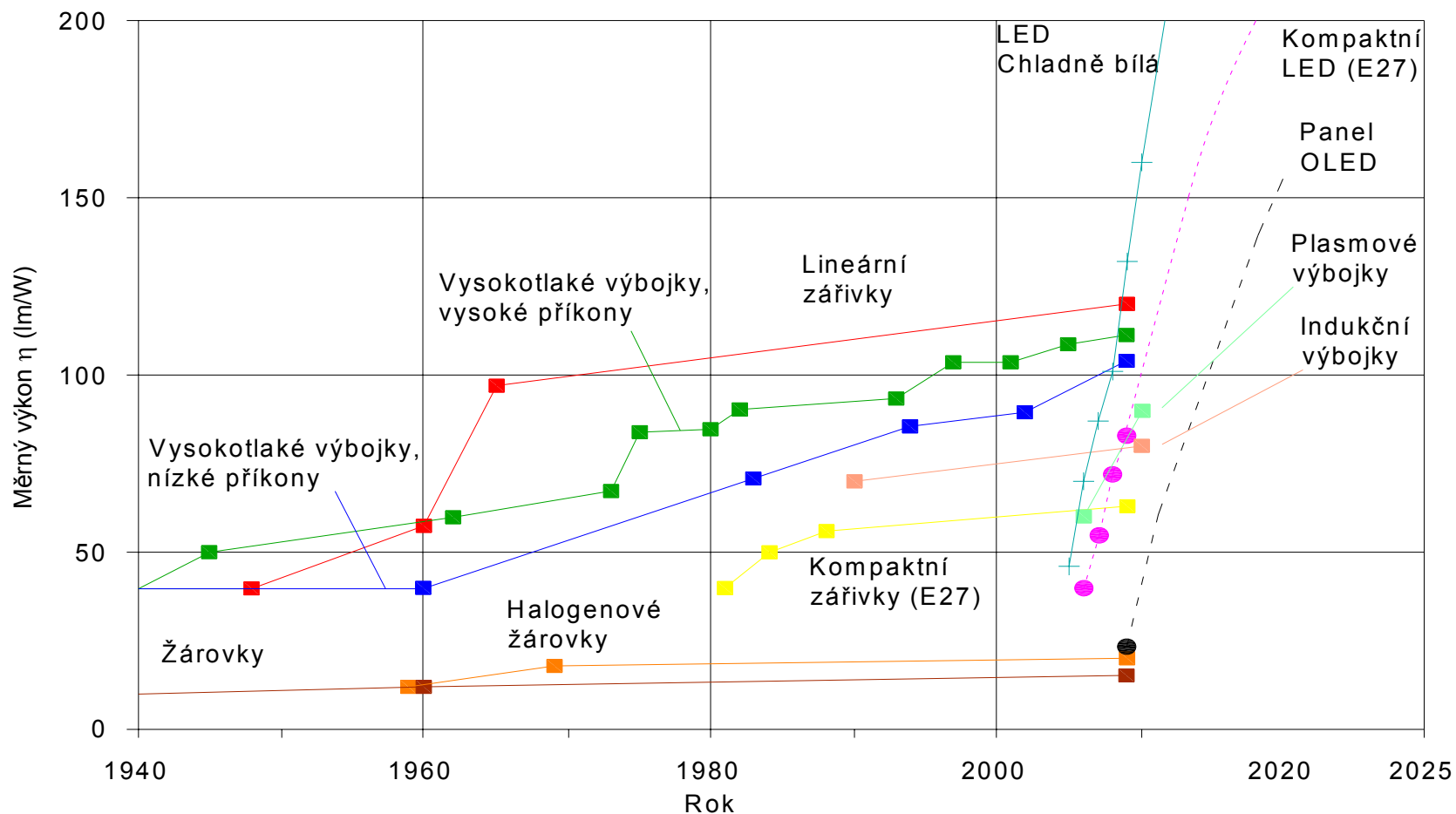
**SVĚTELNÉ ZDROJE**  
**oblast světelné techniky**  
**s největší dynamikou**



**IMPULSY DYNAMICKÉHO VÝVOJE**



- 1. Rychlost cyklu VÝZKUM - VÝVOJ - VÝROBA**
- 2. Energetická náročnost světelných zdrojů**
- 3. Spektrální vlastnosti světelných zdrojů**



Obr 1. Vývoj měrného výkonu světelných zdrojů pro všeobecného osvětlování



- legislativní opatření: EU, USA, Austrálie, Čína, Taiwan
- omezení využívání neekonomických elektrických světelných zdrojů
- parametry: měrný výkon, doba života, pokles sv. toku, činitel funkční spolehlivosti,  $R_a$ , obsah Hg, ...

### DŮSLEDKY LEGISLATIVNÍCH OPATŘENÍ V EU

- klasické žárovky:** 2012 – stažení z trhu
- halogenové žárovky:** nezvýší-li se jejich měrný výkon budou staženy z trhu
- rtuťové výbojky:** nezvýší-li se jejich měrný výkon budou staženy z trhu



❑ Evropa – Ecodesign

EC 244/2009 - žárovky

EC 245/2009 – zářivky, vysokotlaké výbojky

24.3.2009

CS

Úřední věstník Evropské unie

L 76/3

**NAŘÍZENÍ KOMISE (ES) č. 244/2009**

ze dne 18. března 2009,

kterým se provádí směrnice Evropského parlamentu a Rady 2005/32/ES, pokud jde o požadavky na ekodesign nesměrových světelných zdrojů pro domácnost

(Text s významem pro EHP)

24.3.2009

CS

Úřední věstník Evropské unie

L 76/17

**NAŘÍZENÍ KOMISE (ES) č. 245/2009**

ze dne 18. března 2009,

kterým se provádí směrnice Evropského parlamentu a Rady 2005/32/ES, pokud jde o požadavky na ekodesign zářivek bez integrovaného předřadníku, vysoce intenzivních výbojek a předřadníků a svítidel, jež mohou sloužit k provozu těchto zářivek a výbojek, a kterým se zrušuje směrnice Evropského parlamentu a Rady 2000/55/ES

(Text s významem pro EHP)



## SOUČASNÁ SITUACE V OBLASTI SVĚTELNÝCH ZDROJŮ

Tab. 1 Orientační hodnoty parametrů vybraných zdrojů pro všeobecné osvětlování

Typová skupina světelných zdrojů	Příkon (W)	Měrný výkon ( $lm \cdot W^{-1}$ )	Život (h)	Index podání barev $R_a$	Teplota chromatičnosti (K)
Žárovky klasické	25 - 100	9 - 13	1000	100	2700
Žárovky halogenové	20 - 300	10 - 20	2000 - 3000	100	3000
Zářivky lineární	14 - 80	70 - 100	až 20 000	80 - 98	2700 - 6500
Zářivky kompaktní	5 - 80	50 - 100	až 20 000	80 - 90	2700 - 6500
Výbojky halogenidové	20 - 2000	65 - 100	až 18 000	65 - 90	3000 - 6000
Výbojky sodíkové vysokotlaké	50 - 1000	75 - 150	až 28 000	24	2000
Výbojky sodíkové nízkotlaké	18 - 180	100 - 175	16 000	10 - 20	1700
Bezelektrodové výbojky	35 - 300	80 - 90	~ 60 000	80	2700 - 6500
Světelné diody (LED)	0.01 - 180	100 - 150	~ 100 000	70 - 90	2700 - 6500



## MODERNÍ SVĚTELNÉ ZDROJE

### □ Bezelektrodové výbojové světelné zdroje

- nízkotlaké (indukční) výbojky
- vysokotlaké (plazmové) výbojky

### □ Polovodičové světelné zdroje

- LED (světelné diody)
- OLED (organické světelné diody)



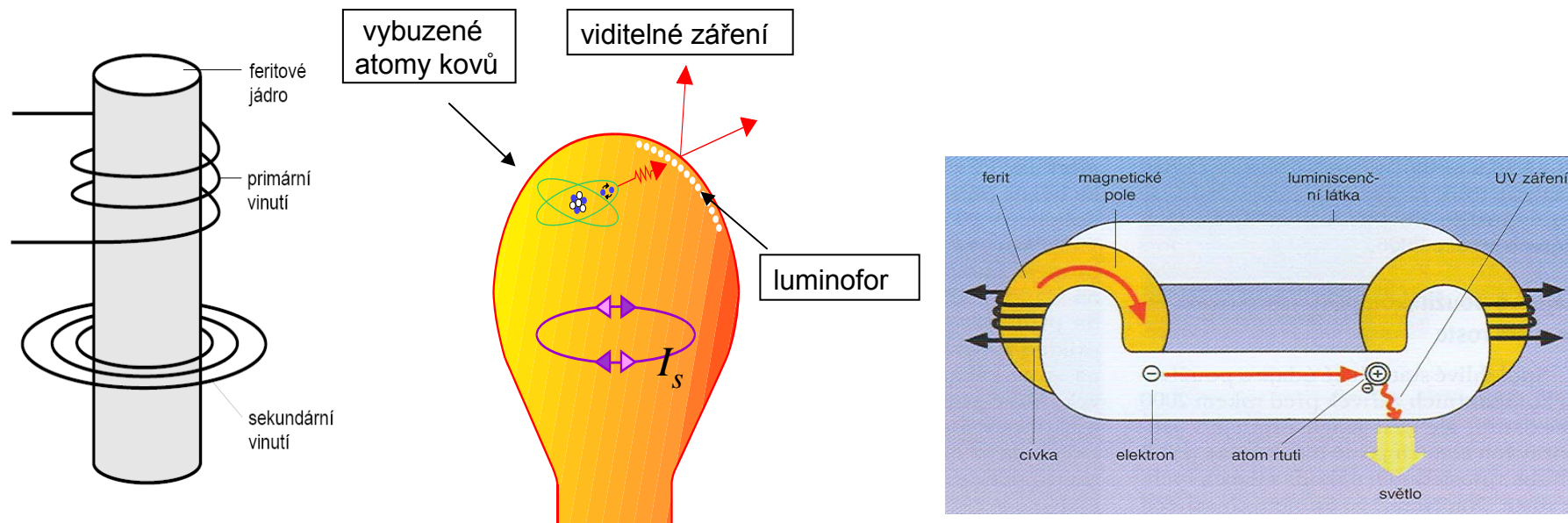


# BEZELEKTRODOVÉ SVĚTELNÉ ZDROJE



## NÍZKOTLAKÉ BEZELEKTRODOVÉ (INDUKČNÍ) VÝBOJKY - princip

- ❑ střídavý proud  $I_p$   $\Rightarrow$  střídavé mag. pole ve feritovém jádře
- ❑ střídavé mag. pole  $\Rightarrow$  indukuje proud v „sekundárním vinutí“  $I_s$  (páry kovů a plyn)
- ❑ urychlení volných elektronů  $\Rightarrow$  srážky s atomy  $\Rightarrow$  vybuzení  $\Rightarrow$  vyzáření fotonu
- ❑ záření UV oblast  $\Rightarrow$  luminofor  $\Rightarrow$  viditelné záření (2700, 300, 4000 K)



Obr. 4 Princip funkce nízkotlakých bezelektrodových výbojek



## NÍZKOTLAKÉ BEZELEKTRODOVÉ (INDUKČNÍ) VÝBOJKY – historický vývoj

- ❑ zač. 70. let 20. st. - navržen systém indukčního zdroje (USA)
- ❑ 1990 - indukční zdroj, typ „jednocívkový“ MASTER QL (Philips)
- ❑ 1996 - indukční zdroj, typ „dvoucívkový“ ENDURA (Osram)
- ❑ konec 90. let - období stagnace
- ❑ 21. století - rozšíření výroby v Asii (Tungda Lighting, Hongyuan)



Obr. 5 Nízkotlaké bezelektrodové výbojky Philips (2,65 MHz); Osram (250 kHz)



## NÍZKOTLAKÉ BEZELEKTRODOVÉ (INDUKČNÍ) VÝBOJKY - parametry

Tab. 2 Parametry vybraných nízkotlakých bezelektrodových světelných zdrojů

Výrobce	Typ	Příkon P (W)	Světelný tok $\Phi$ (lm)	Měrný výkon $\eta$ (lm/W)	$R_a$ (-)	Teplota chromatičnosti $T_{cn}$ (K)
Philips	Master QL	55 – 165	3 650 - 12 000	66 – 73	80	2700 – 4000
Tungda Lighting	Duralite	35 – 125	1 750 – 8 800	50 – 71	80	3000 – 4000
Osram	Endura	81 – 153	6 500 – 12 000	77 – 80	80	3000 – 4000
Hongyuan Lighting	Saturn	42 – 316	2 800 – 24 000	62 - 76	80	2700 – 6500

Hlavní aplikační oblasti : veřejné osvětlení, průmyslové prostory



## VYSOKOTLAKÉ BEZELEKTRODOVÉ (PLAZMOVÉ) VÝBOJKY - princip

- ❑ magnetron  $\Rightarrow$  zdroj mikrovlnného záření
- ❑ keramická rezonanční dutina (vlnovod + koncentrace RF energie)
- ❑ skleněná čirá baňka – plynná náplň, páry kovů (obdoba halogenidové výbojky)
- ❑ stojaté vlnění – maximum ve středu baňky, ionizace plynné náplně
- ❑ zadní část baňky pokovená – maximální využití vyzařovaného světla



Obr. 6 Základní části obvodu vysokotlakého bezelektrodového výbojové světelného zdroje



## VYSOKOTLAKÉ BEZELEKTRODOVÉ (PLAZMOVÉ) VÝBOJKY – historický vývoj

- ❑ 1990 - princip sirného zdroje (M. Ury, Ch. Wood)
- ❑ 1992 - 1. prototyp sirného zdroje (Fusion System Corporation, USA)
- ❑ 1994 - prezentace systému osvětlení se sirným zdrojem (Fusion Lighting Inc.)
- ❑ 1996 - systém SOLAR 1000, 140 klm, 1000 W (firma FL)
- ❑ 1996 - první ruský prototyp Svetoch PRO a SV a Svetoch-SV pro světlovody (firma Pluton a VEI)
- ❑ 1998 - systém Light Drive 1000 (firmy FL a IKL, Švédsko),

Zač. 21.st. – nové konstrukční řešení

- ❑ 2006 - Luxim, typ LIFI
- ❑ 2009 - Topanga Technologies, Ceravision



## VYSOKOTLAKÉ BEZELEKTRODOVÉ (PLAZMOVÉ) VÝBOJKY - parametry



Obr. 7 Vysokotlaká bezelektrodová  
sírná výbojka

- měrný výkon  $\eta = 95 \text{ lm/W}$
- příkon  $P = 1,3 \text{ kW}$
- index podání barev  $R_a = 79$
- teplota chromatičnosti:  $T_{cn} = 6000 \text{ K}$ ,
- doba života  $t = 60\,000 \text{ hodin}$

Tab. 3 Světelně technické parametry  
vysokotlakých bezelektrodových  
sírných výbojek

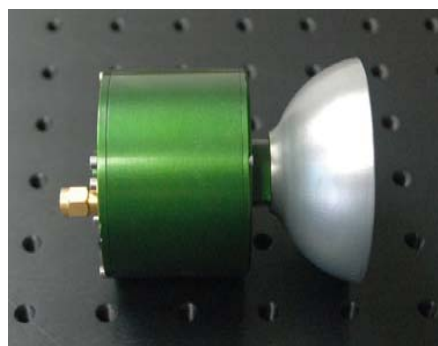




## VYSOKOTLAKÉ BEZELEKTRODOVÉ (PLAZMOVÉ) VÝBOJKY - parametry

Tab. 3 Světelně technické parametry vysokotlakých bezelektrodových výbojek nové generace

Výrobce	Typ	Příkon P (W)	Světelný tok $\Phi$ (klm)	Měrný výkon $\eta_{\text{sys}}$ (lm/W)	Index podání barev $R_a$ (-)	Teplota chromatičnosti $T_{\text{cn}}$ (K)
Luxim	STA	160 - 280	12 - 23	52 - 82	75 - 95	5 300 - 6 000
Topanga Technologies	APL	128 - 229	11 - 22	87 - 92	70 - 80	4 000 - 5 000
Ceravision	ALVARA	100 - 5 000	9 - 45	90	95	2 000 - 12 000



Obr. 8 Zleva:  
Luxim,  
Topanga Tech.  
Ceravision

Hlavní aplikační oblasti : veřejné osvětlení, průmyslové prostory

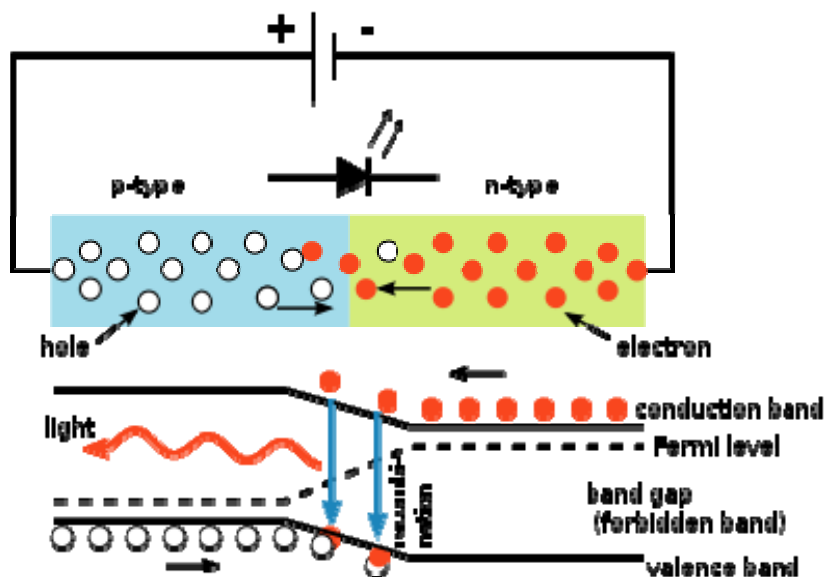


# **POLOVODIČOVÉ SVĚTELNÉ ZDROJE**

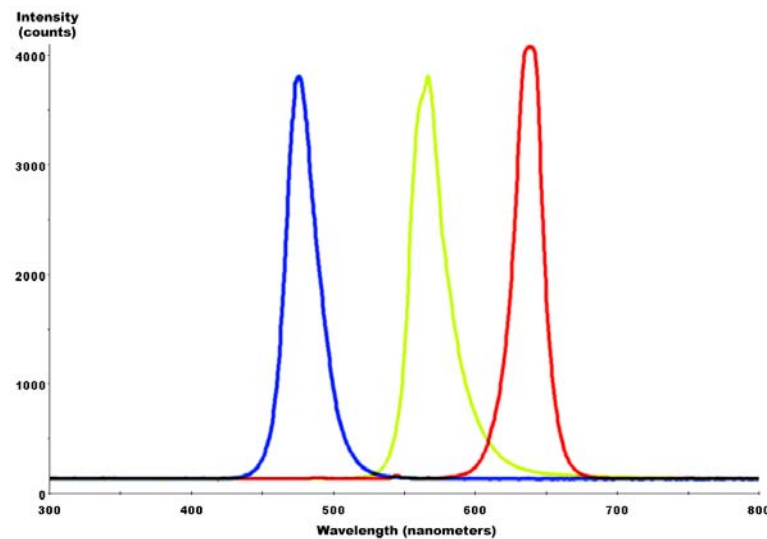


## SVĚTELNÉ DIODY - princip

- polovodičový PN přechod
- energetická bariéra
- úzké pásmo vyzařovaného spektra



Obr. 9 Princip funkce světelných diod

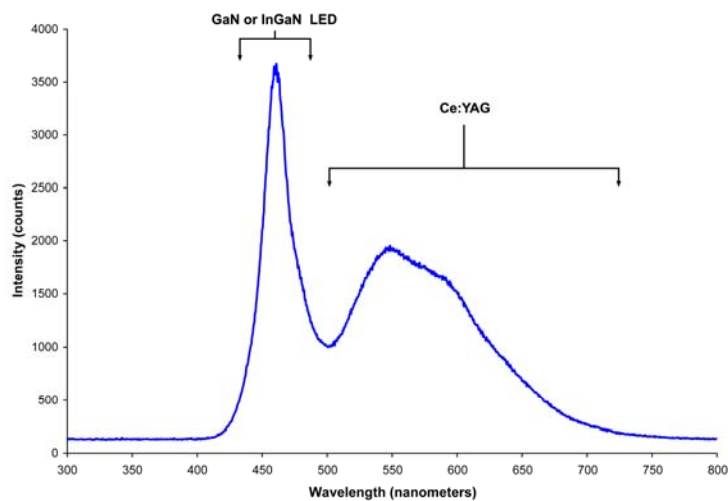


Obr. 10 Spektrum barevných LED

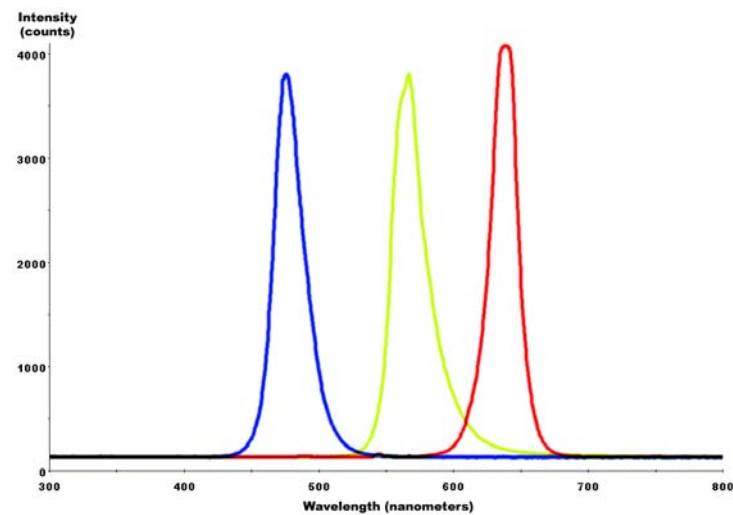


## SVĚTELNÉ DIODY - princip

- ❑ bílá : 1) kombinace modrá nebo NUV LED + luminofor  
2) míchání složení spektra diod R+G+B



Obr. 11 Modrá LED + luminofor



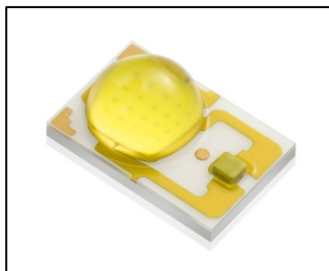
Obr. 12 Složení bílé LED z RGB



## SVĚTELNÉ DIODY – historický vývoj

- ❑ 1907 – objev elektroluminescence
- ❑ 1962 – první světelná dioda – červená (N. Holonyak, GE)
- ❑ 1993 – modrá dioda (Nakamura, Nichia)
- ❑ 1995 – bílá dioda, 20mA , YAG luminofor (Nichia)
- ❑ 1999 – výkonová dioda 350 mA (Lumileds)
- ❑ 2005 – 2010: COB LED

- ❑ Standardní:  $P = 0.1 - 1 \text{ W}$  ( $I = 20 - 350 \text{ mA}$ )
- ❑ Výkonové:  $P = 1 - 5 \text{ W}$  ( $I = 350 \text{ mA} - 2 \text{ A}$ )
- ❑ Vícečipové (COB):  $P = 5 - 180 \text{ W}$



Obr. 13 Typy světelných diod (zleva): standardní, výkonové, vícečipové



## SVĚTELNÉ DIODY – standardní LED

Všeobecného osvětlování: - lineární pevné nebo pružné LED moduly  
- plošné moduly



Tab. 4 Parametry vybraných typů standardních LED (0.3W)

Barva světla	Výrobce	Typ	Parametry		
			$R_a (-)$	$\Phi$ (lm)	$\eta$ (lm/W)
Chladně bílá	Cree	ML-C	80	31	96
	Osram	DURIS P5	80	36	119
	Sharp	Double dome	80	36	120
	Nichia	NSSW	85	33	107
Neutrálně bílá	Cree	ML-C	80	31	96
	Osram	DURIS P5	80	33	110
	Sharp	Double dome	80	34	114
Teple bílá	Cree	ML-C	80	31	96
	Osram	DURIS P5	80	33	110
	Sharp	Double dome	80	31	105
	Nichia	NSSL	85	30	96



## SVĚTELNÉ DIODY – výkonové LED

Všeobecného osvětlování: - typ určující vývoj LED  
 - směrová svítidla, optický systém – čočky, reflektory



Tab. 5 Parametry vybraných typů výkonových LED (1.0 W)

Barva světla	Výrobce	Typ	Parametry		
			$R_o (-)$	$\Phi (lm)$	$\eta (lm/W)$
Chladně bílá	Cree	XLM	65	150	154
	Nichia	NS9W	x	151	149
	Citizen	CL-L430	65	144	133
	Osram	Oslon SSL	70	140	130
	Philips	Rebel ES	70	135	129
Neutrálně bílá	Cree	XL-M	75	130	134
	Citizen	CL	80	121	111
	Osram	Oslon SSL	70	130	121
	Philips	Rebel ES	65	130	124
Teple bílá	Cree	XL-M	80	110	113
	Nichia	NS9L	80	124	122
	Citizen	CL	80	113	104
	Osram	Oslon SSL	82	115	107
	Philips	Rebel A	95	97	92





## SVĚTELNÉ DIODY – vícečipové LED (COB)

Všeobecného osvětlování: - nový směr vývoje LED  
 - směrová a přímá svítidla, optický systém - reflektory

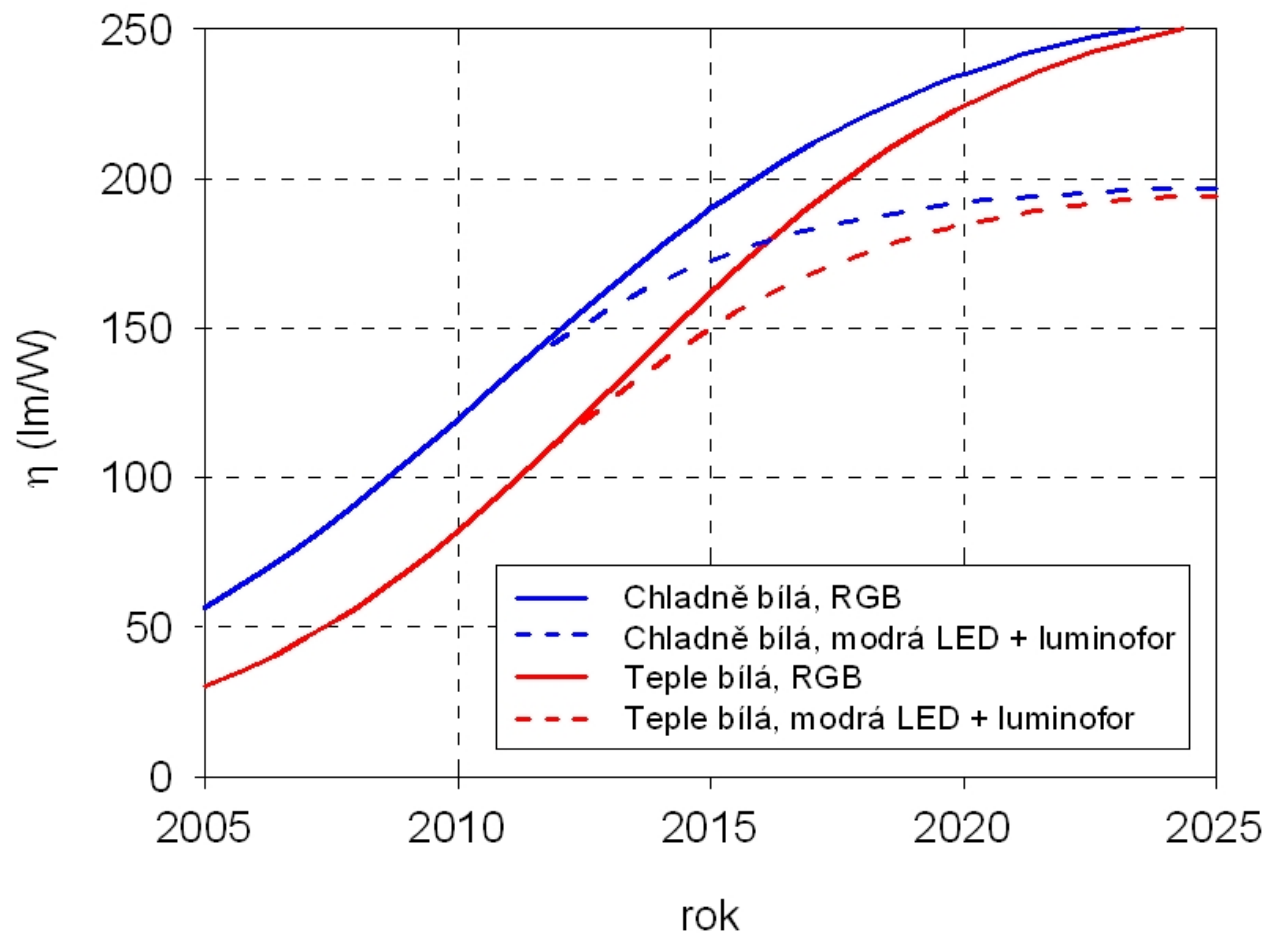


Tab. 6 Parametry vybraných typů vícečipových diod COB,  $R_a > 80$

Barva světla	Výrobce	Typ	1 000 lm		2 000 lm		3 000 lm	
			P (W)	$\eta$ (lm/W)	P (W)	$\eta$ (lm/W)	P (W)	$\eta$ (lm/W)
Neutrálně bílá	Citizen	CLL	7,9	123	16,8	119	24,6	120
	Sharp	Zenigata	10,0	100	26	79	42	71
	Osram	Solericq E	7,5	130	20	118	29,3	110
Teple bílá	Citizen	CLL	7,9	120	17,7	119	26,3	114
	Sharp	Zenigata	11,4	88	26	76	44	68
	Osram	Solericq E	9,0	110	20	100	32	94



## SVĚTELNÉ DIODY – vývoj měrného výkonu



Obr. 7 Odhady vývoje měrného výkonu sériově vyráběných diod, 350 mA (zdroj: DOE, 2012)



## SVĚTELNÉ DIODY – vývoj měrného výkonu

Výsledky teoretických prací ukázaly, že teplota chromatičnosti ani všeobecný index podání barev  $R_a$  nemusejí mít výraznější vliv na měrný výkon. V tab.7 je uveden dosažitelný odhad hodnot měrných výkonů pro dva způsoby výroby bílého světla, kombinací modré LED + luminofor a mícháním barevných složek RGB.

Tab. 7 Teoreticky a prakticky dosažitelné hodnoty měrného výkonu LED (RGB) (zdroj: DOE 2012)

$T_{cn}$ (K)	RGB			modrá LED + luminofor		
	$R_a$ (-)			$R_a$ (-)		
	70	85	90	70	85	90
<b>2 700</b>	287	273	264	211	200	196
<b>3 800</b>	273	261	254	199	190	189
<b>5 000</b>	255	245	239	189	182	179



## SVĚTELNÉ DIODY – porovnání cen

Tab. 8 Porovnání cen za světelný tok u vybraných typů svítidel (zdroj: DOE 2012)

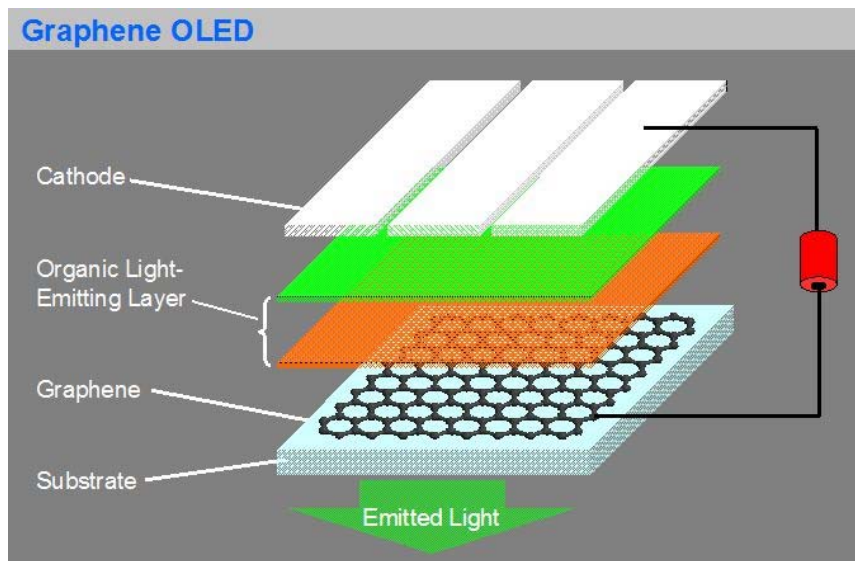
Světelný zdroj	Cena (US\$/klm)
Halogenová žárovka (A19, 43W, 750 lm)	2,5
Kompaktní zářivka (13W, 800 lm)	2,0
Kompaktní zářivka, stmívatelná (13W, 800 lm)	10,0
Lineární zářivka s předřadníkem (26mm)	4,0
Kompaktní LED (A19, 60W, 800 lm)	30,0
Svítidlo OLED	1 700,0

2012 – Světelné diody s 50% cenou za 1 lm: Cree (XT-E, XB-D)



## ORGANICKÉ SVĚTELNÉ DIODY - princip

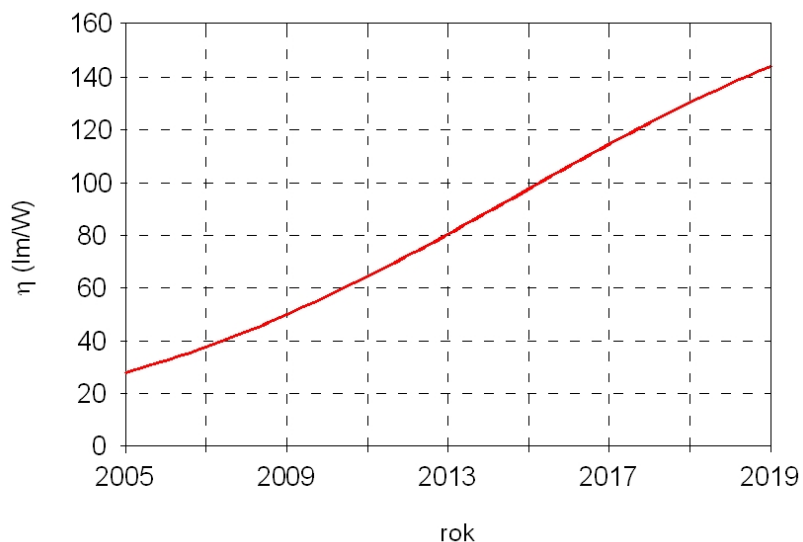
- polovodičový zdroj světla
- plošné zdroje světla
- kovová katoda, světlo propustná anoda
- různé typy nosných materiálů pro světlo vyzařující vrstvy





## ORGANICKÉ SVĚTELNÉ DIODY - vývoj

- ❑ plošné zdroje světla
- ❑ dnes: stádium výzkumu a vývoje
- ❑ testovací sady vzorků
- ❑ sériová výroba typ Orbeos (Osram)
- ❑ 2011 – nové výrobní závody fy. GE, Konica Minolta ( $56 \text{ lm/W}$ ), Osram



Obr. 9 Odhad vývoje OLED (DOE, 2012)



Obr. 10 Obreos (Osram), Lureon (Tridonic)



# NÁHRADA KLASICKÝCH SVĚTELNÝCH ZDROJŮ





## TYPY NÁHRAD KLASICKÝCH SVĚTELNÝCH ZDROJŮ



Kompaktní LED  
zdroje

Základní technické parametry:  
Světelný tok:  
Příkon  
Teplota chromatičnosti  
Index podání barev  
Doba života  
Účinnost



Lineární LED zdroje

Reflektorové LED zdroje

Základní technické parametry:  
Osová svítivost  
Úhel poloviční svítivosti  
Teplota chromatičnosti  
Index podání barev  
Doba života  
Účinnost



## SVĚTELNÉ ZDROJE PRO NÁHRADU ŽÁROVEK

- ❑ velké rozšíření žárovkových svítidel ⇒ snaha o účinnější náhradu
- ❑ 80. léta 20. století – kompaktní zářivky s integrovaným předřadníkem
- ❑ 90. léta 20. století - indukční výbojky (Thorn Lighting, Intersource Technologies, Matsushita), ale nedošlo ke spuštění výroby
- ❑ 1994 Genura (GE) – indukční světelný zdroj pro náhradu reflektorových žárovek
- ❑ zač. 21. století – rozšíření výroby v Asii (Čína)
- ❑ indukční výbojky v “kompaktním” provedení –
  - tepelný vliv předřadný přístroj x světelný zdroj
    - ⇒ vliv na dobu života (cca 15 000 h)
  - v porovnání s kompaktními zářivkami výrazně vyšší cena.
- ❑ 2009/2010 – světelné diody pro náhradu žárovek 40 – 60 W (400 – 700 lm)



## SVĚTELNÉ ZDROJE PRO NÁHRADU ŽÁROVEK



Philips



Osram



Sharp



Toshiba

Obr. 11 Příklady světelných diod pro náhradu klasických žárovek



Tab. 9 Vybrané typy světelných diod pro náhradu klasických žárovek (2012)

Výrobce	Náhrada za žárovku	Příkon P (W)	Světelný tok $\Phi$ (lm)	Měrný výkon $\eta$ (lm/W)	Doba života t (hod)	Index podání barev $R_a$ (-)	Teplota chromatičnosti $T_{cp}$ (K)
Osram	Parathom	12	810	68	25 000	90	2 700
Philips	Master LED bulb	12	806	67	25 000	80	2 700
Sylvania	ToLEDo	10,5	806	77	25 000	80	2 700
GE	GE Energy Smart	13	800	62	25 000	82	3 000
Lighting Science	DNF A19	13,5	800	59	50 000	85	2 700
Philips (USA)	A-Style	10	940	94	30 000	92	2 700
LEDnovation	LEDH-A19	7.8	810	104	50 000	93	2 700



## Vítěz soutěže L Prize



Tab. 10 Porovnání kompaktních zdrojů (2012)

Parametr	Označení	Požadavky soutěže L Prize	Klasická žárovka	Kompaktní zářivka	Kompaktní indučnická výbojka	Kompaktní LED, Philips
Světelný tok	$\Phi$ (lm)	> 900	710	900	750	910
Příkon	P (W)	> 10	60	16	15	9.7
Měrný výkon	$\eta$ (lm/W)	> 90	11.8	56	50	94
Teplota chromatičnosti	$T_{cp}$ (K)	2 700 - 3 000	2 700	2 700	2700	2 727
Index podání barev	$R_a$ (-)	> 90	100	82	80	93
Doba života	t (hod)	> 25 000	1 000	12 000	60 000	> 25 000



## SVĚTELNÉ ZDROJE PRO LINEÁRNÍCH ZÁŘIVEK



Obr. 11 Příklady lineárních světelných diod pro náhradu lineárních zářivek



Tab. 11 Výsledky měření a hodnocení lineárních LED zdrojů, 600 mm, ČVUT FEL Praha (2010)

Ozn.	Hodnocené parametry								
	Příkon			Světelný tok			Měrný výkon		
	$P_{z,k}$ (W)	$P_{z,m}$ (W)	$\Delta P_z$ (%)	$\Phi_k$ (lm)	$\Phi_m$ (lm)	$\Delta\Phi$ (%)	$\eta_k$ (lm/W)	$\eta_m$ (lm/W)	$\Delta\eta$ (%)
T06	12.0	11.2	-7%	983	864	-14%	82	77	-6%
T07	12.0	9.1	-32%	859	642	-34%	72	71	-1%
T08	12.0	12.0	0%	983	1007	2%	82	84	2%
T09	12.0	10.6	-13%	803	818	2%	67	77	13%
T10	9.0	8.2	-10%	557	557	0%	62	68	9%
T11	12.0	11.3	-6%	859	804	-7%	72	71	-1%
T12	9.0	8.8	-2%	682	656	-4%	76	74	-2%
T16	9.0	9.2	2%	736	661	-11%	82	72	-14%
T21	12.0	12.9	7%	1050	1097	4%	88	85	-3%
T22	10.0	10.0	0%	800	470	-70%	80	47	-70%
T24	8.0	8.4	5%	800	453	-77%	100	54	-85%
T25	8.0	8.7	8%	700	377	-85%	88	43	-102%