



EVROPSKÁ UNIE  
Evropské strukturální a investiční fondy  
Operační program Výzkum, vývoj a vzdělávání

MS  
MT  
MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ,  
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY

# Elektrické světlo



Studijní materiály k předmětu  
Osvětlovací soustavy a jejich projektování

## Parametry světelných zdrojů

1962 – LED  
1989 – modrá LED  
2015 – Nobelova cena



# Základní veličiny

## **Světelný tok [ $\Phi$ ]= lm (lumen)**

Světelný tok udává, kolik světla celkem vyzáří zdroj do všech směrů. Jde o světelný výkon, který je posuzován z hlediska lidského oka.

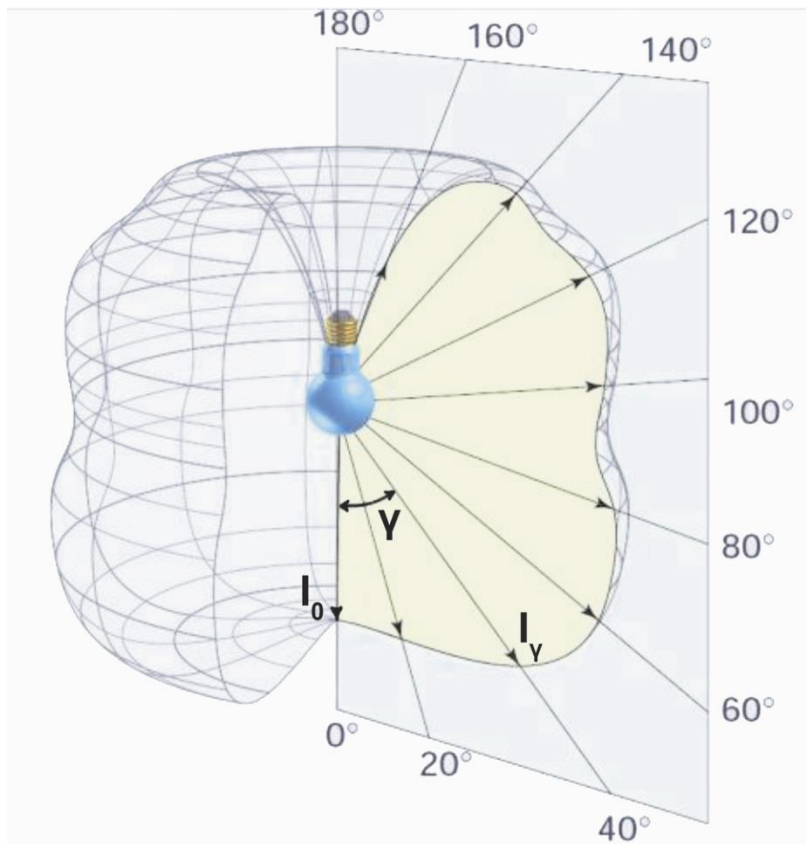
$$\Phi = 683 \int_0^{\infty} \left( \frac{d\Phi_e(\lambda)}{d\lambda} \right) V(\lambda) d\lambda$$

Z výše uvedeného vztahu je patrné, že světelný tok představuje zářivý tok, který je zpracován pomocí lidského oka za podmínek fotopického vidění. Pro složené záření se dále stanovují hodnoty světelné účinnosti záření  $K_\Phi(\lambda)$  a poměrné světelné účinnosti světelného záření složeného záření  $V(\lambda)$ .

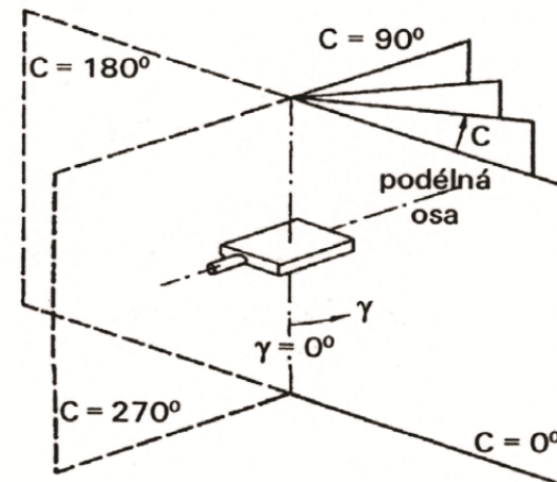
# Základní veličiny

## Svítivost $[I] = \text{cd}$ (kandela)

Veličina udává, kolik světelného toku  $\Phi$  vyzáří světelný zdroj nebo svítidlo do prostorového úhlu  $\Omega$  v určitém směru.



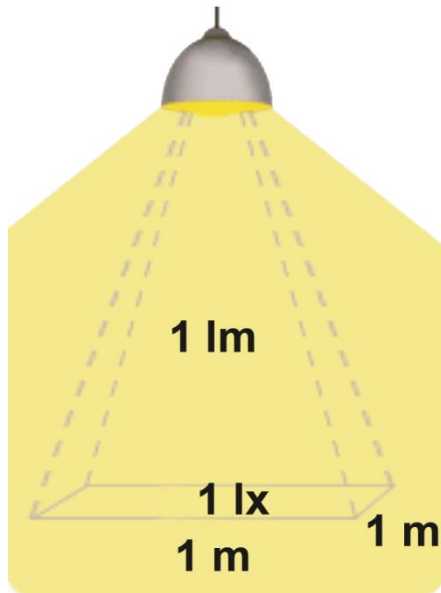
$$I = \frac{d\Phi}{d\Omega}$$



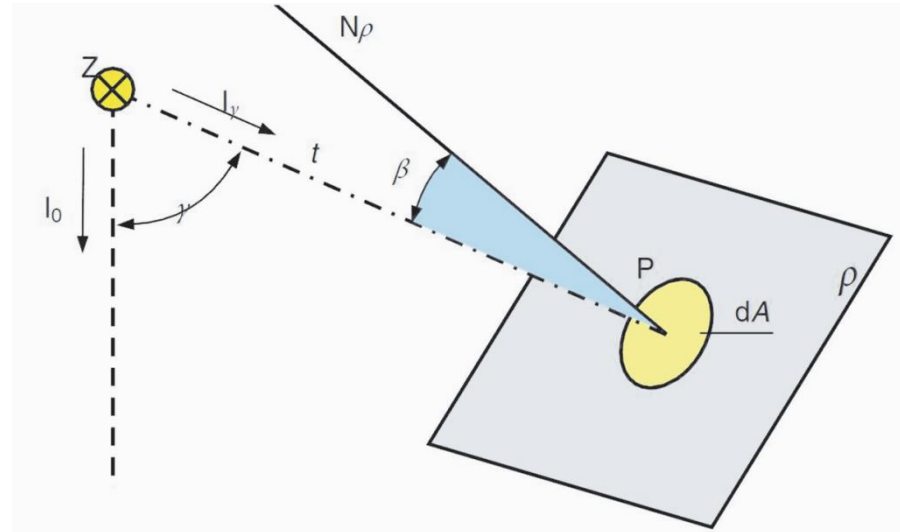
# Základní veličiny

**Osvětlenost (intenzita osvětlení) [E] = lx (lux)**

Veličina udává, jak je určitá plocha osvětlována, tj. kolik lm světelného toku dopadá na 1 m<sup>2</sup>.



$$E = \frac{d\Phi}{dA}$$



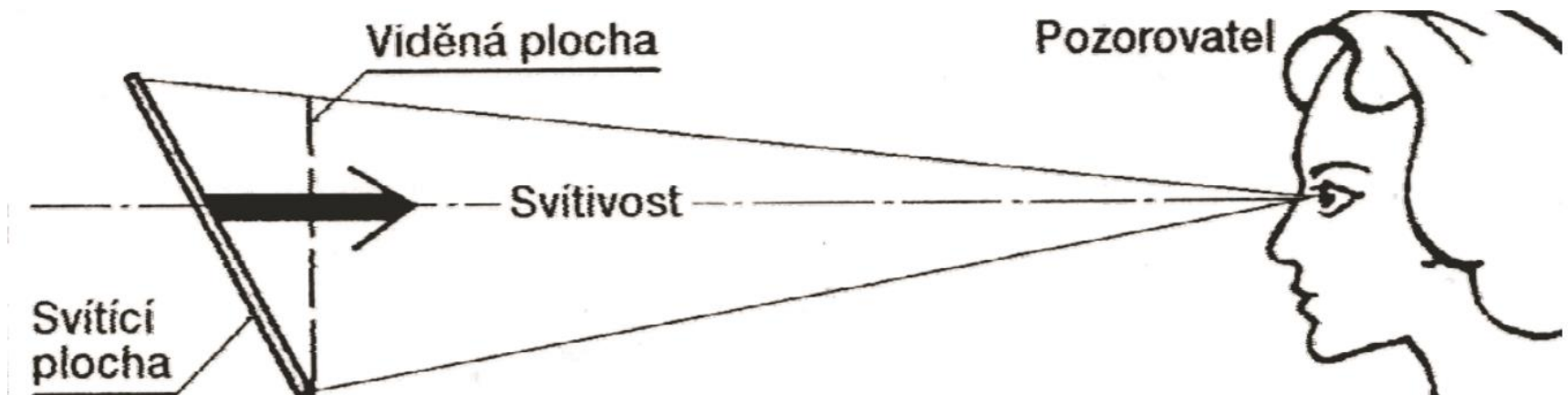
$$E = \frac{I_{\gamma} \cdot \cos \beta}{l^2}$$

**Čtvercový a kosinový zákon  
Základ světelné techniky !!!**

# Základní veličiny

**Jas [L] = cd.m<sup>-2</sup> (kandela na metr čtvereční)**

Jas je měřítkem pro vjem světlosti svítícího nebo osvětlovaného povrchu. Jas se vypočítá z podílu svítivosti  $I$  a průmětu svítící plochy  $S_p$ , kterou pozorovatel vidí. Pokud plochu vidíme pod určitým úhlem, bude průmět této plochy menší než skutečná plocha.



$$L = \frac{I}{S_p}$$

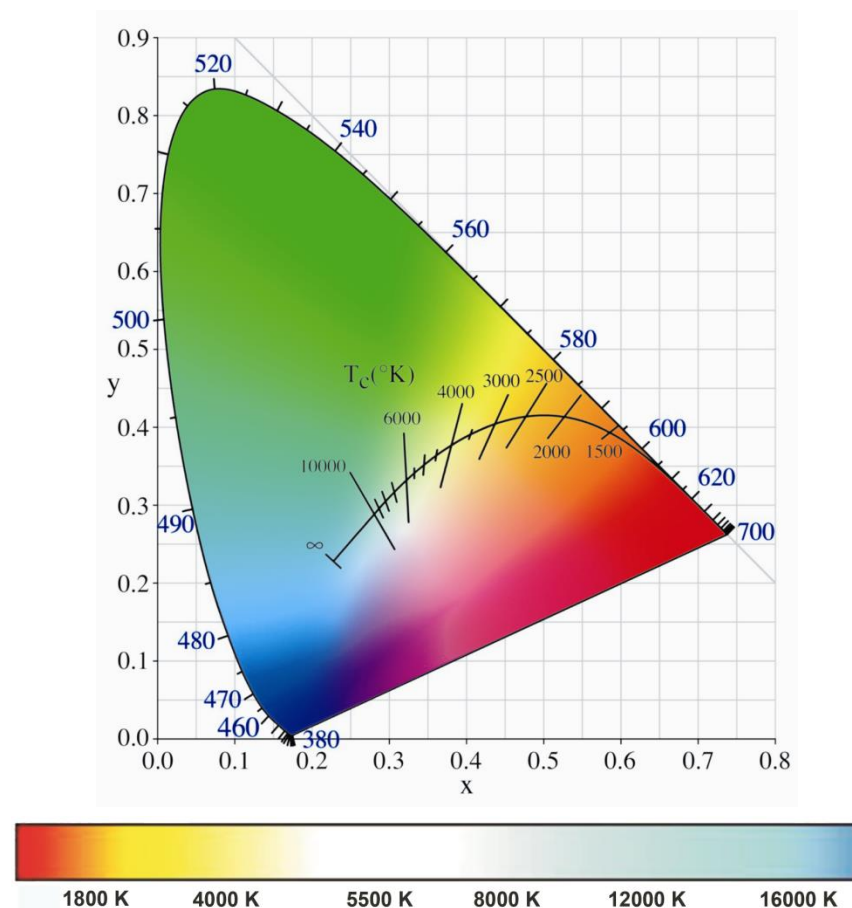
# Základní veličiny

**Měrný světelný výkon  $[\eta] = \text{lm} \cdot \text{W}^{-1}$  (lumen na watt)**

Udává s jakou účinností je ve zdroji světla elektřina přeměňována na světlo, tj. kolik lm světelného toku se získává z 1 W elektrického příkonu. **Maximální teoreticky dosažitelný měrný výkon je  $683 \text{ lm} \cdot \text{W}^{-1}$  pro monochromatické vyzařování na vlnové délce 555 nm a zanedbání všech ztrát.**

**Teplota chromatičnosti  $[T_c] = \text{K}$  (kelvin)**

Teplotou chromatičnosti zdroje je označována ekvivalentní teplota tzv. červeného zářiče (Planckova), při které je spektrální složení záření těchto dvou zdrojů blízké. Zvýší-li se teplota absolutně černého tělesa, zvýší se podíl modré části spektra a sníží se červený podíl. Žárovka s teple bílým světlem má např. teplotu chromatičnosti 2700 K, zářivka se světlem podobným dennímu má teplotu chromatičnosti 6000 K. Spektrum žárovek a halogenových žárovek je velmi blízké černému zářiči, takže je zřejmá souvislost mezi jejich spektrem a teplotou chromatičnosti.



# Základní veličiny

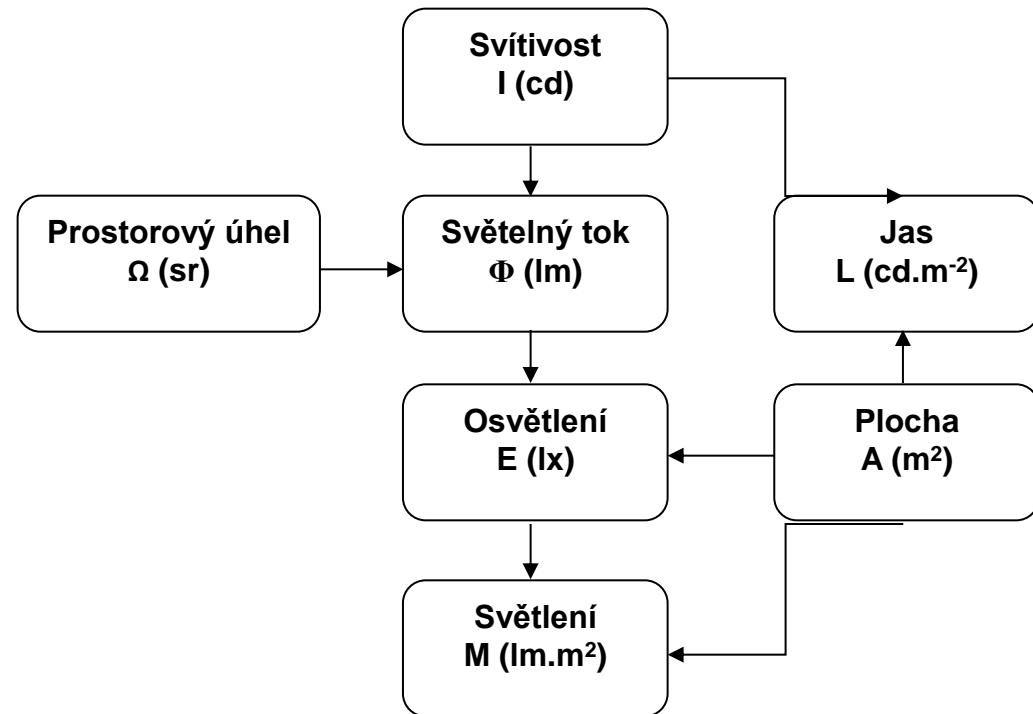
**Index podání barev  $[R_a]$  = -  
(bezrozměrná veličina)**

Každý světelný zdroj by měl podávat svým světelným tokem barvy okolí věrohodně, jak je známe u přirozeného světla nebo od světla žárovek. Měřítkem pro tuto vlastnost se stává všeobecný index podání barev  $R_a$  daný rozsahem  $100 \div 0$ .

$R_a=0$  – nízkotlaké sodíkové výbojky, jejich vyzařování se dá považovat za monochromatické.

$R_a=100$  – žárovky se spojitým vyzařováním na všech vlnových délkách viditelného světla.

Při stejné barvě světla mohou mít světelné zdroje různé vlastnosti v podání barev.



# Základní veličiny

## Světelně technické vlastnosti hmot

Světelný tok  $\Phi$ , který dopadá na povrch nějakého tělesa se od tohoto povrchu částečně odrazí  $\Phi_\rho$ , částečně projde  $\Phi_\tau$  a část tohoto toku je tělesem pohlcena  $\Phi_\alpha$ . Vzájemný vztah mezi těmito světelnými toky lze vyjádřit **zákonem o zachování energie**. Činitelé odrazu  $\rho$ , propustnosti  $\tau$  a pohlcení  $\alpha$  jsou bezrozměrné veličiny a jsou dány vztahy:

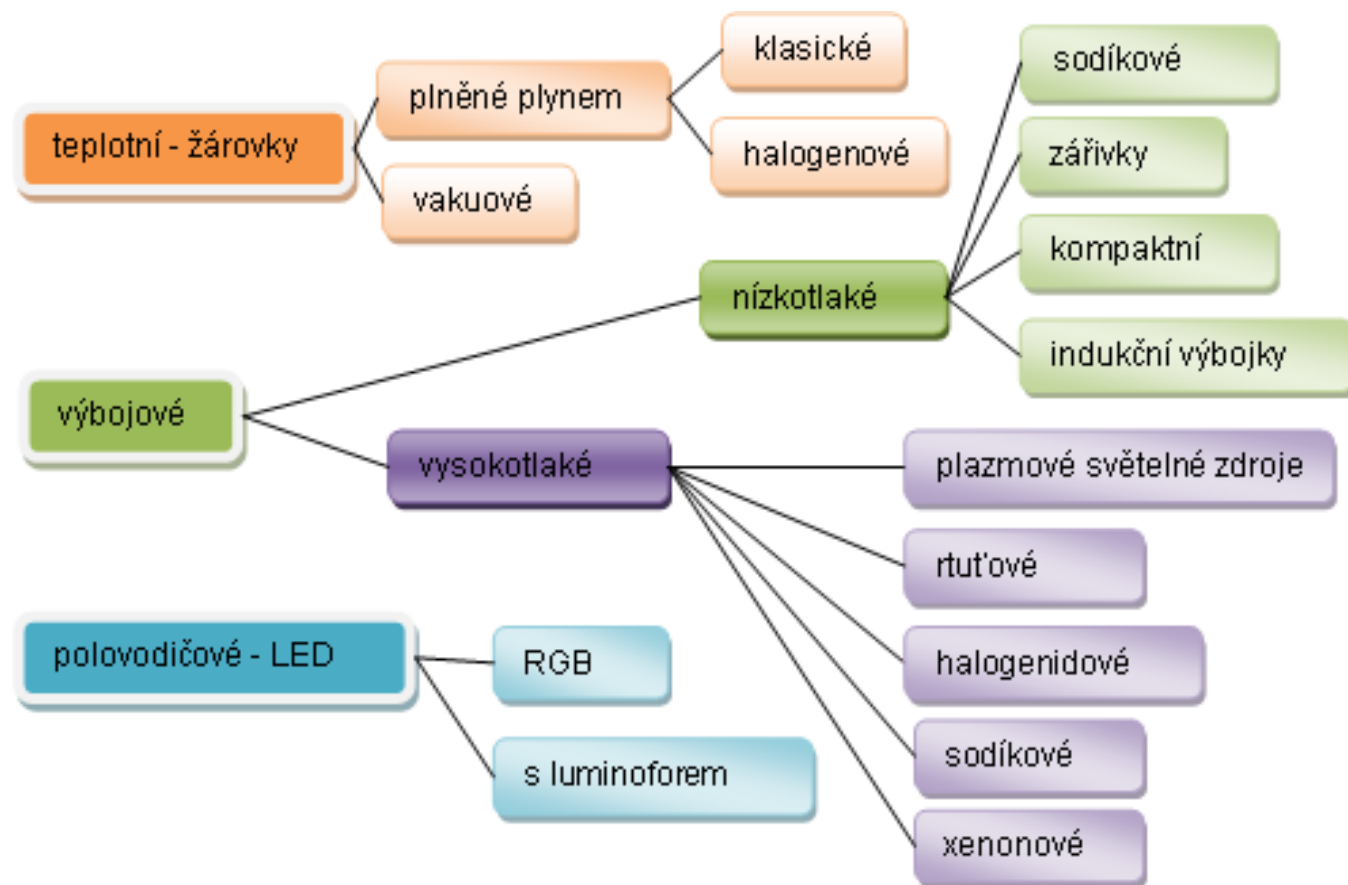
$$\rho = \frac{\phi_\rho}{\phi} \quad \tau = \frac{\phi_\tau}{\phi} \quad \alpha = \frac{\phi_\alpha}{\phi}$$

Vzájemný vztah mezi těmito světelnými toky lze vyjádřit také zákonem zachování energie ( **$\Phi = \Phi\rho + \Phi\tau + \Phi\alpha$** ). I vztah mezi těmito integrálními činiteli je vyjádřen zákonem o zachování energie ( **$1 = \rho + \tau + \alpha$** ).

Ve světelné technice se předpokládá, že **materiály** se kterými se pracuje **odráží respektive propouští záření na všech vlnových délkách stejně**. Pokud by tomu tak nebylo, je nutné přejít od integrálních činitelů ( $\rho, \tau, \alpha$ ) k činitelům, které jsou vztaženy k vlnové délce  $\rho(\lambda)$ ,  $\tau(\lambda)$ ,  $\alpha(\lambda)$ .



# Základní rozdělení světelných zdrojů



# 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.

## **Světelný tok $\Phi$ (lm)**

Světelný tok představuje množství světla vyzářeného světelným zdrojem za jednotku času. Světelný tok závisí na druhu a typu světelného zdroje. Pro konkrétní typ světelného zdroje se tento údaj dá najít v katalogu nebo na obalu světelného zdroje.

# Základní parametry světelných zdrojů

## Náhradní teplota chromatičnosti $T_c$ (K)

Používáme ji k popisu barevných vlastností světla; u teplotních světelných zdrojů (žárovek) odpovídá teplotě vlákna, u výbojových světelných zdrojů se používá pojem náhradní teplota chromatičnosti, která odpovídá ekvivalentnímu teplotnímu zdroji s podobným spektrálním složením, jaký má daný výbojový světelný zdroj.

teple bílá	< 3 300 K
bílá	3 300 ÷ 5 000 K
denní	> 5 000 K

Druh světelného zdroje	$T_c$ (K)
Zářivka studené denní světlo	6 500 a více
Zářivka denní světlo	5 400
Jasná obloha	6 500
Slunce v létě v poledne	5 500
Zářivka studená bílá	4 000
Slunce při západu	3 500 ÷ 4 000
Žárovka, žárovka teple bílá	2 700
Plamen svíčky	1 800

# Základní parametry světelných zdrojů

## Měrný světelný výkon $\eta$ ( $\text{lm}\cdot\text{W}^{-1}$ )

Představuje u světelného zdroje míru přeměny elektrické energie na světelnou, tedy definuje vztah mezi produkovaným světelným tokem a elektrickým příkonem světelného zdroje. Elektrický výkon  $P$  se přemění na světelný tok  $\Phi$ , přičemž se zohledňuje to, jak oko vnímá světelné záření. Teoretické maximum vypočtené pro fotonické vidění je  $683 \text{ lm}\cdot\text{W}^{-1}$ , nejúčinnější světelné zdroje dosahují měrných výkonů až  $200 \text{ lm}\cdot\text{W}^{-1}$ .

Druh světelného zdroje	Příkon (W)	Měrný výkon ( $\text{lm}\cdot\text{W}^{-1}$ )
Žárovka	15 – 200	6 – 15
Halogenová žárovka	10 – 2000	14 – 26
Kompaktní zářivka	5 – 60	56 – 88
Lineární zářivka T8	10 – 58	65 – 90
Lineární zářivka T5	14 – 80	70 – 104
Indukční výbojky	50 – 400	70 – 93
Rtuťová výbojka	50 – 1 000	50 – 80
Vysokotlaká sodíková výbojka	50 – 1 000	88 – 150
Halogenidová výbojka	35 – 3 500	94 – 103
Nízkotlaká sodíková výbojka	18 – 180	130 – 200
<b>Světelné diody - LED</b>	<b>1 – 3</b>	<b>až 180</b>
Xenonová výbojka	25 - 10 000	až 95
Plazmový světelný zdroj	až 250	až 85

$$\eta = \frac{\phi}{P}$$

# Základní parametry světelných zdrojů

## Všeobecný index podání barev $R_a$ (-)

Hodnota indexu podání barev určuje, do jaké míry je člověk schopen při daném spektru záření světelného zdroje věrně vnímat barvy. Index  $R_a$  se získává průměrováním indexů podání 14 zkušebních barevných vzorků. Čím je hodnota indexu vyšší, tím lepší je podání barev. Nejvyšší hodnotu, z umělých zdrojů světla, dosahuje obyčejná žárovka ( $R_a = 100$ ), nejnižší dosahují zdroje monochromatického záření, jako např. nízkotlaká sodíková výbojka ( $R_a = 0$ ).

## Životnost světelného zdroje (z)

Životnost světelných zdrojů je velmi důležitým parametrem, který nám říká, jak dlouho vydrží daný světelný zdroj hospodárně svítit. U žárovek je přitom životnost daná mezním stavem – přepálením vlákna. U jiných zdrojů, však s takovou definicí nevystačíme. Během funkčního života zářivky, výbojky nebo LED dochází zákonitě k poklesu světelného toku. Rozlišujeme proto dvě definice životnosti:

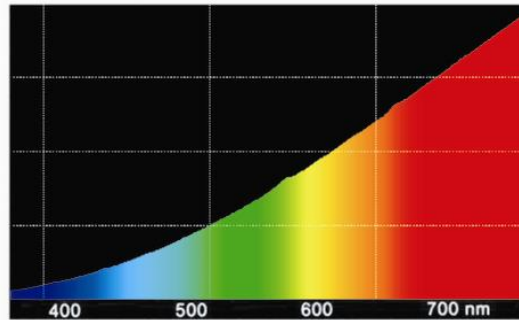
**Průměrná životnost** – doba je daná časem, za který bude svítit přesně polovina ze sledovaného počtu světelných zdrojů, tedy míra výpadků dosáhne 50 %. Během trvání postupně dochází k úbytku funkčních světelných zdrojů, což vyjadřuje křivka mortality (úmrtnosti).

**Užitečná (ekonomická) životnost** –konec užitečného života se dosáhne tehdy, když světelný tok zdroje bude na úrovni 80 % jmenovité hodnoty světelného toku (pro LED se často uvažuje 70 %).

# Žárovky a halogenové žárovky

Mezi výhody žárovek patří jejich jednoduchá konstrukce, malé rozměry a hmotnost, jednoduché napájení, nízká cena, okamžitý start, stabilní svícení během celé životnosti, spojité spektrum, index podání barev **Ra = 100**, široká škála příkonů a napětí, nezávislost na teplotě okolí a fakt, že neobsahují látky, které by enormně zatěžovaly životní prostředí.

Nevýhody žárovek spočívají v malé životnosti, malém měrném výkonu a výrazné závislosti parametrů na stabilitě napájení – změna napětí o 1 % vyvolá změnu měrného výkonu o 3,6 %.



Tc – 2700 – 3000K

T – 1000 – 2000h

Tnáběhu – cca 20ms

Teplotní nezávislost

Měrný světelný výkon – 10 – 20 lm/W

Odporovým vláknem žárovky, vyrobeným z wolframu, prochází elektrický proud. Vláknو zahřáté na vysokou teplotu se stává zdrojem záření. Z principu žárovek vyplývá, že až 95 % dodané elektrické energie se mění na teplo (odváděné zářením v infračervené oblasti spektra, kondukcí a konvekcí) a jen zbylých **5 %** se mění na světelné záření. Ačkoli jsou žárovky značně ne hospodárné, jsou však stále oblíbené a mají uplatnění hlavně tam, kde se svítí krátce.

# Zářivky a kompaktní zářivky

Zářivky jsou nízkotlaké rtuťové výbojky, které vyzařují hlavně v oblasti ultrafialového záření. Vlivem elektrického pole mezi elektrodami jsou vybuzeny páry rtuti, ve kterých dochází k emisi neviditelného UV záření. Speciální látka, luminofor, nanesený na vnitřním povrchu skleněné trubice přeměňuje neviditelné UV záření na světlo. Volbou luminoforu je možné ovlivnit spektrum světla vyzařované zářivkou. Jako všechny výbojky se ani zářivky neobejdou bez předřadných přístrojů.

Tc – volitelné

T – až 18000h

Tnáběhu – cca 3min

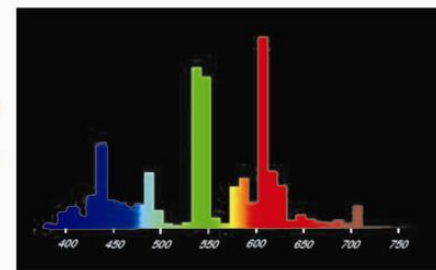
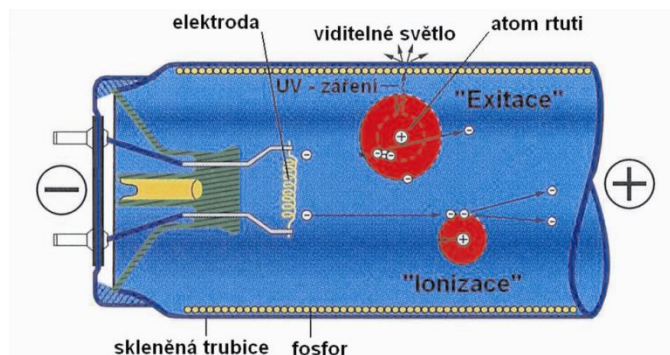
Teplotní závislost

Měrný světelný výkon – zářivka – max 93 lm/W

Měrný světelný výkon – kompaktní zářivka – max 88 lm/W

Ra – menší než 100 – dle volby luminoforů

Stmívání – dle předřadníku – 1 – 100%



# Indukční výbojky

Indukční výbojky jsou, stejně jako zářivky, nízkotlaké rtuťové výbojky. Na rozdíl od zářivek nemají elektrody a k zapálení a hoření výboje slouží vysokofrekvenční elektromagnetické pole vyrobené cívkou (cívkami). Používají se výhradně s elektronickým předřadníkem. Používají se v prostorech s vysokou náročností výměny světelných zdrojů. Jsou relativně velké.

Tc – volitelné

T – až 60000h

Tnáběhu – cca 3min

Malý úbytek světelného toku

Měrný světelný výkon – max 93 lm/W

Ra – menší než 100 – dle volby luminoforů

Stmívání – dle předřadníku – 1 – 100%

Rychlý náběh





# Vysokotlaké rtuťové výbojky

Viditelné záření vzniká u těchto zdrojů v obloukovém výboji a v parách rtuti při tlaku 0,1 MPa ve výbojové trubici z křemenného skla. Vysokotlaké rtuťové výbojky vyzařují přímo ve viditelné oblasti asi 15 % přivedené energie a jejich světlo je modrobílé až modrozelené. Záření UV, hlavně na vlnové délce 365 nm, je nutné pomocí luminoforu transformovat do viditelné oblasti. Primárně chybí červená složka.

Tc – vysoká

T – až 15000h

Tnáběhu – cca 5min

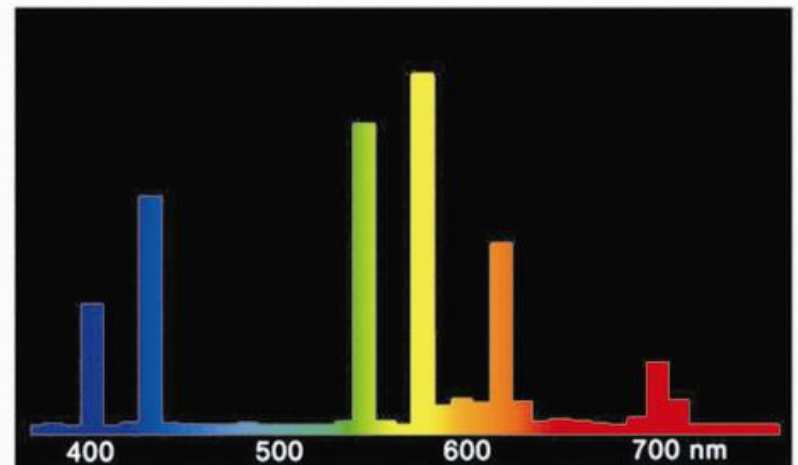
Malý úbytek světelného toku

Měrný světelný výkon – 50 - 80 lm/W

Ra – 60

Stmívání – ne

Teplý znovuzápal – až 7min



# Nízkotlaké sodíkové výbojky

U nízkotlakých sodíkových výbojek vzniká primární výboj, ve výbojové trubici vyrobené z boritého skla, v plynném argonu a neonu, výboj má klasickou neonovou barvu. Až po určité době, kdy sodík přejde do plynného skupenství, při tlaku sodíkových par 0,5 Pa a teplotě stěny výbojové trubice cca 300°C, se 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.

T<sub>c</sub> – nízká

T – až 24000h

T<sub>náběhu</sub> – cca 5min

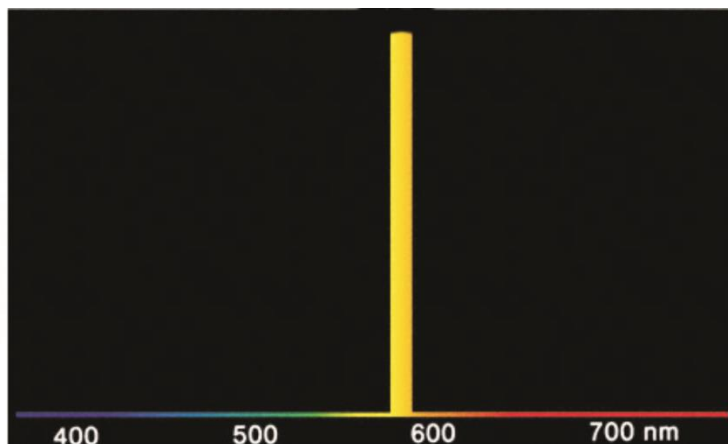
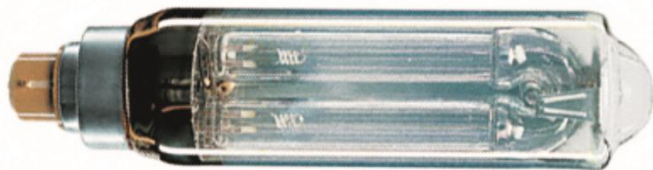
Velké rozměry

Měrný světelný výkon – 130 - 200 lm/W

**R<sub>a</sub> – 0**

Stmívání – ne

Teplý znovuzápal – až 7min



# Vysokotlaké sodíkové výbojky

Výboj v parách sodíku se vyznačuje intenzivním rezonančním dubletem, jako u nízkotlaké sodíkové výbojky, ve žluté části viditelného spektra s vlnovou délkou 589,0 a 589,6 nm. Těchto vlastností se využívá již od třicátých let při konstrukci nízkotlakých sodíkových výbojek. Se snižováním objemu výbojového prostoru se zvyšuje tlak par sodíku, až při tlaku cca 27 kPa dosahuje maxima a v závislosti na dalších parametrech (složení amalgamu sodíku, druh a tlak plnicího plynu, geometrické parametry hořáku, příkon výbojky apod.)

Tc – nízká cca 2200K

T – až 30000h

Tnáběhu – cca 5min

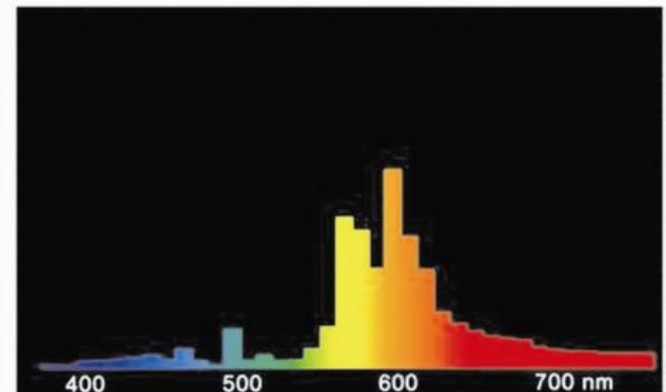
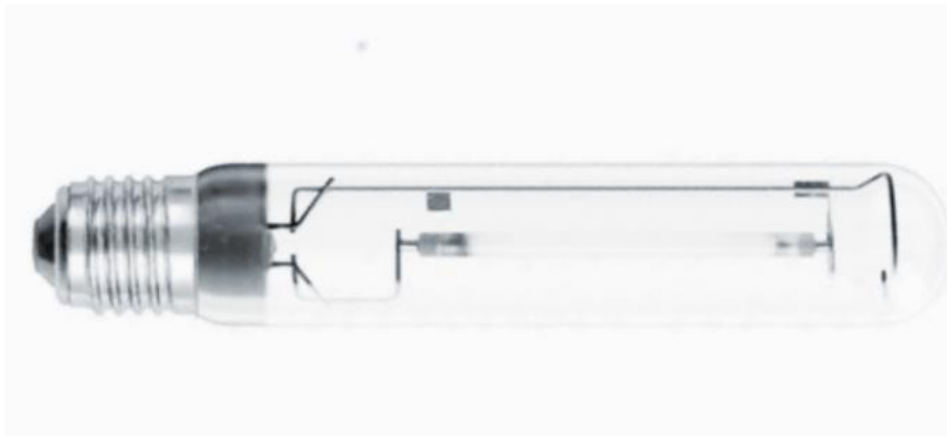
Malý pokles světelného toku

Měrný světelný výkon – až 150 lm/W

Ra – okolo 25

Stmívání – přepínání 100%/50%

Teplý znovuzápal – až 7min



# Halogenidové výbojky

Viditelné záření zde vzniká jednak v parách rtuti, ale hlavně zářením produktů halogenidů (90 % záření), to je sloučenin halových prvků např. s galiem, thaliem, sodíkem apod. Toto vede ke zvýšení indexu podání barev a měrného výkonu. V hořáku z křemene nebo keramiky vzniká cyklus podobný regeneračnímu cyklu jako u halogenových žárovek. Venkovní baňka je z borosilikátového skla. Halogenidové výbojky pracují při venkovní teplotě -20 až 60°C.

Tc – volitelná

T – až 15000h

Tnáběhu – až 15min

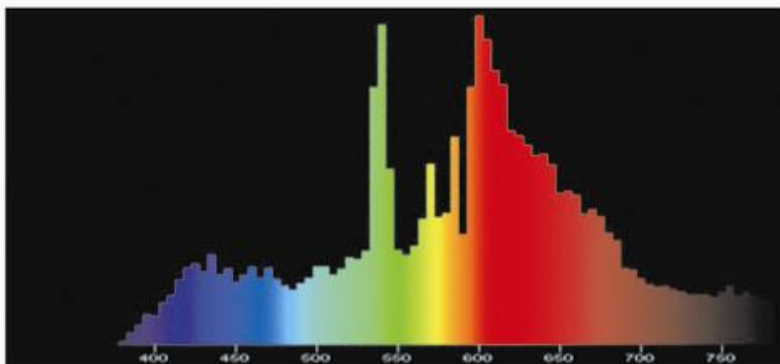
Velký pokles světelného toku

Měrný světelný výkon – až 130 lm/W

Ra – až 90

Stmívání – neregulovatelné

Teplý znovuzápal – až 7min



# Světelné diody - LED

Světelné diody představují elektronický prvek, který generuje světelné záření při průchodu proudu polovodičovým přechodem. Používá tedy jiný fyzikální princip než žárovky nebo výbojky a má mnoho vlastností, kterými se od předchozích klasických zdrojů světla odlišuje. Polovodičový přechod vyzařuje velmi úzké spektrum. Primární záření je v podstatě monochromatické. LED jsou již dnes vysoce účinný světelný zdroj, který se prosazuje namísto konvenčních světelných zdrojů. Technologie LED má velký potenciál rozvoje do budoucna.

Tc – volitelná

T – až 100000h

Tnáběhu – okamžitě

Teplotní závislost

Měrný světelný výkon – až 170 lm/W (potenciál přes 200m/W)

Ra – až 90

Stmívání – proud, PWM

Příkon čipu do 3W

