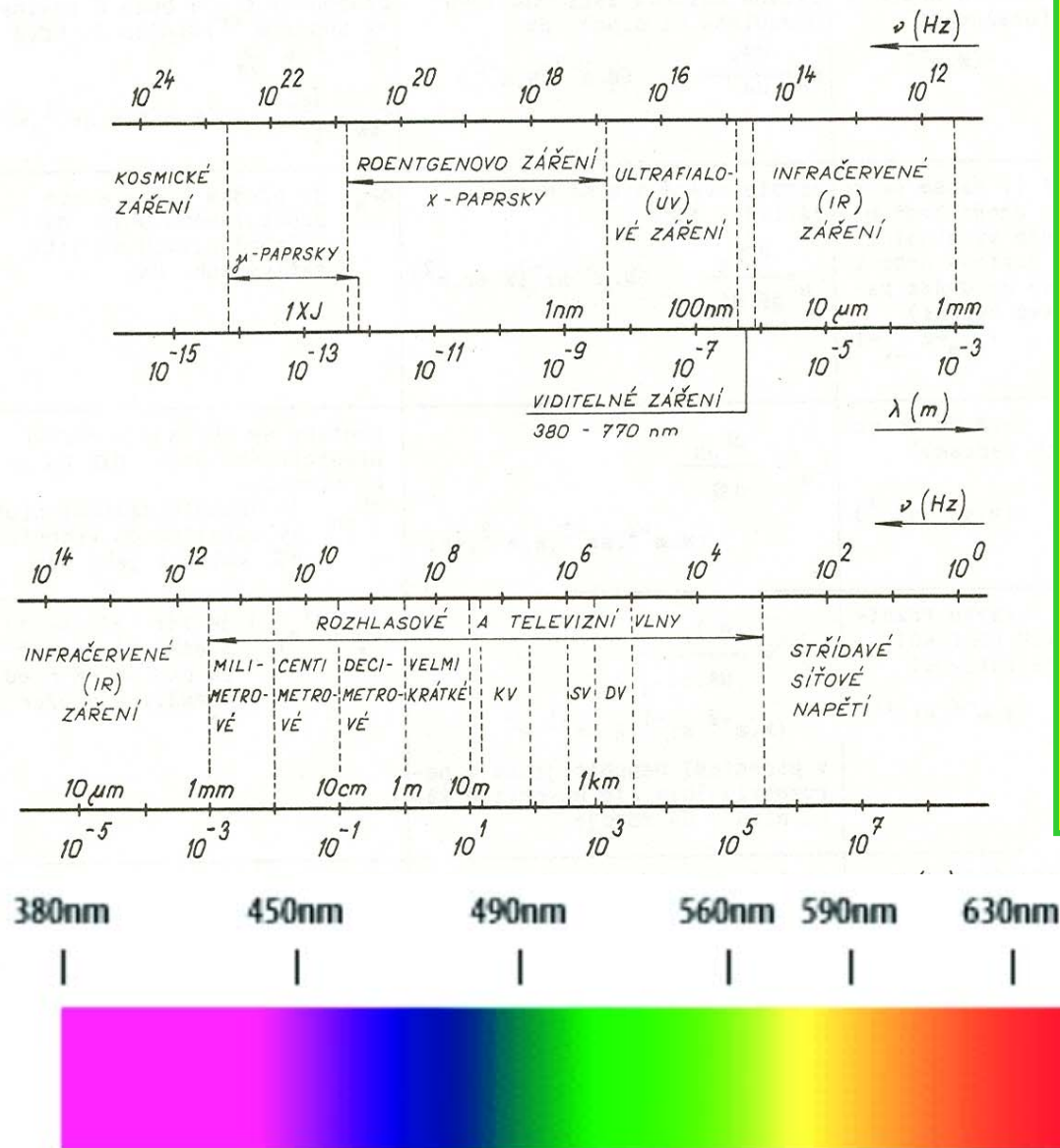


Světelná technika a osvětlování

Světlo, veličiny, zdroje

ELEKTROMAGNETICKÉ ZÁŘENÍ — přenos energie W_e ve formě elmag. vln či hmotných částic

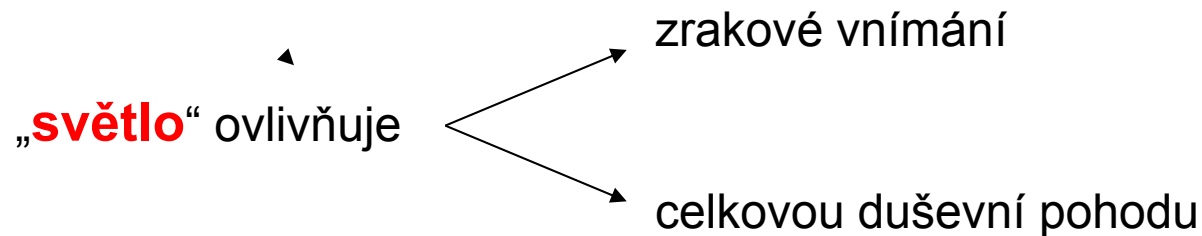


- Libovolné záření lze rozložit na složky se **sinusovým** průběhem
- každou složku charakterizuje **jediný kmitočet ν [Hz]**
či vlnová délka λ [m]
(**monofrekvenční záření**)
- ve vakuu $\lambda = c_0 / \nu$ (m; m.s⁻¹, Hz)
 $c_0 = 2,998 \cdot 10^8$ m.s⁻¹
- **spektrum záření** = složky záření seřazené podle kmitočtů či vln. délek
- energie přenášená zářením za 1 s =
= **výkon** přenášený zářením =
= **zářivý tok** $\Phi_e = dW_e / dt$

Rozložení barevných tónů ve spektrální oblasti viditelného záření

VIDITELNÉ ZÁŘENÍ

činitel tvorby životního prostředí



zrakem člověk získává 80 až 90 % informací

Spotřebuje na to až 25 % přijaté energie

Cíl : dobrým osvětlením vytvořit zrakovou pohodu

ZRAKOVÁ POHODA

- zrak pracuje optimálně – dobré vidění a rozlišování
- člověk se cítí psychicky dobře, prostředí je mu příjemné

OSVĚTLENÍ

- **DOBŘÉ**

- vyšší produktivita
- roste i jakost výroby
- vyšší bezpečnost
- únava roste pomaleji
- snazší regenerace

- **NEVHODNÉ**

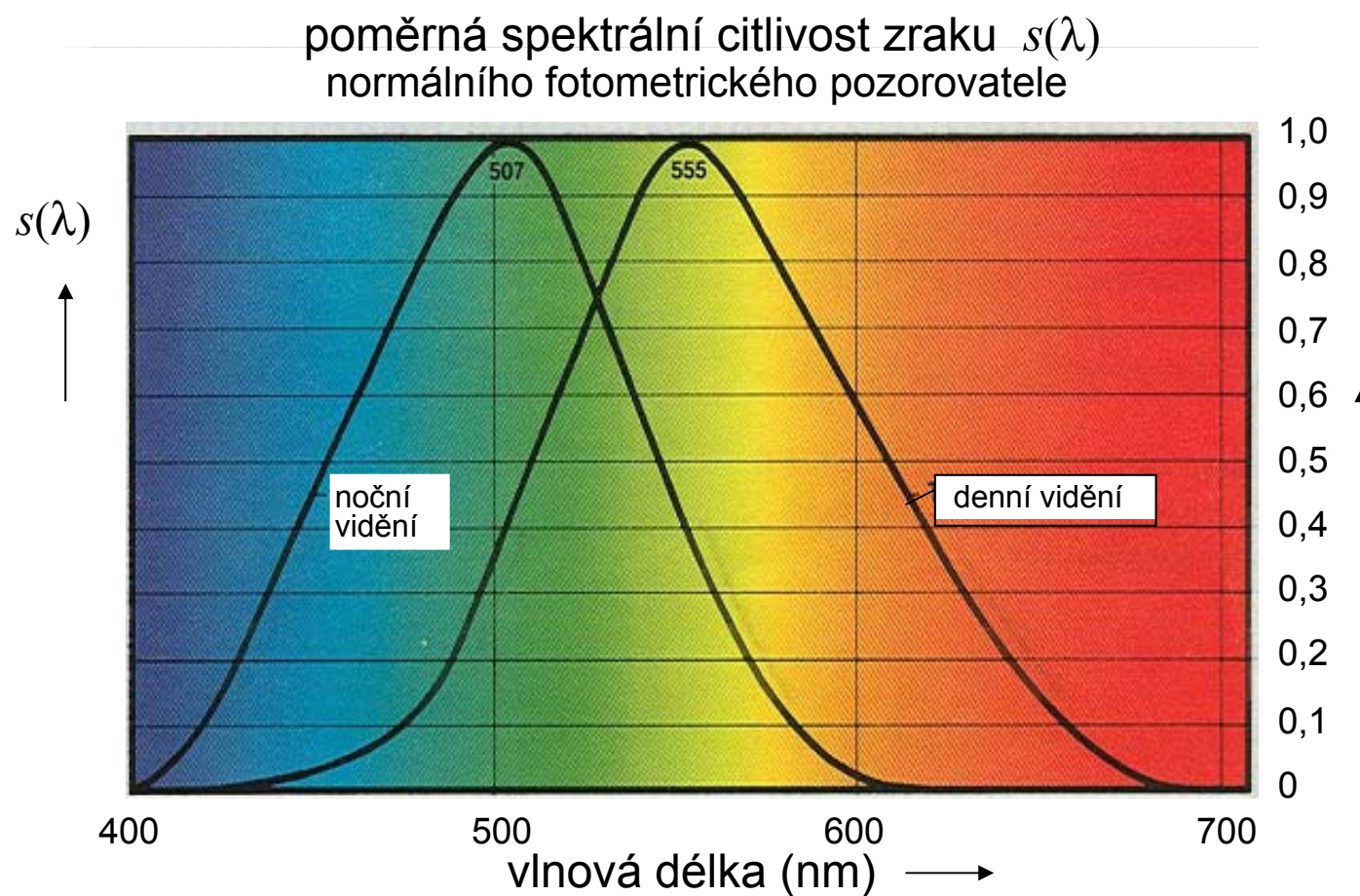
- růst počtu chyb
- pokles kvality výroby
- růst počtu úrazů
- vyšší únava zraku
- roste celková únava

Další možné důsledky nedostatečného osvětlení :

- zhoršení schopnosti soustředění, snazší vznik stresu
- snížení obranyschopnosti, zvýšení hladiny cholesterolu
- snížení tvorby vitaminů A a D – zhoršení funkcí zraku, horší absorpce Ca
- urychluje celkové stárnutí organismu
- podporuje vznik sezónních depresí, výkyv nálad, úbytek energie

SVĚTLO

**viditelné záření zhodnocené zrakem pozorovatele
podle spektrální citlivosti zraku k záření různých vlnových délek**



Oblast vlnových délek viditelného záření

Světlo řídí naše biologické pochody

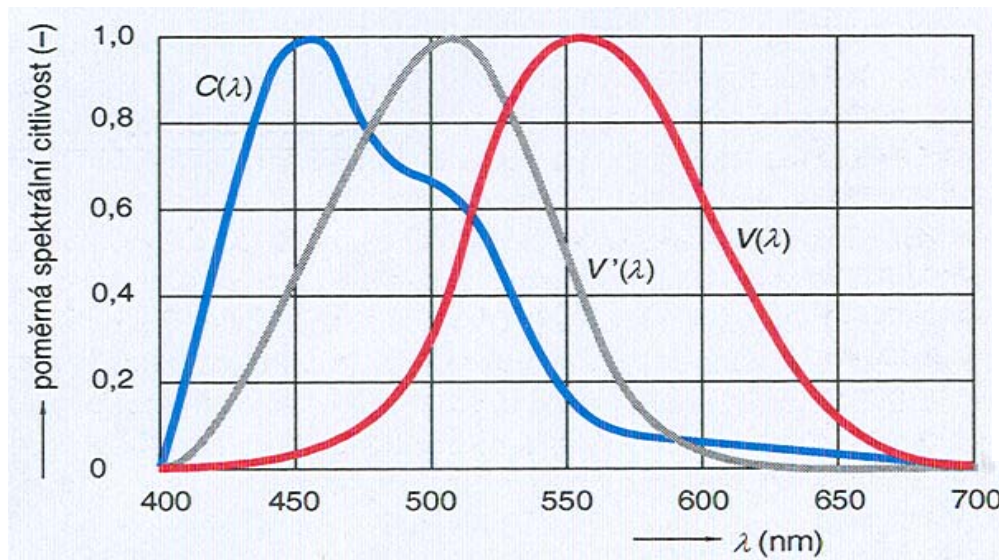
probíhají v cca 24 h (tzv. cirkadiánních) cyklech

v závislosti na otáčení Země kolem Slunce

aktivní fáze ve dne – klidová fáze v noci

Např. tělesná teplota, krevní tlak, tepová frekvence, látkový metabolismus, imunitní funkce, sexuální funkce, fyzická a duševní aktivita

Světlo řídí naše vnitřní hodiny – čidlem: třetí typ fotoreceptorů „C“



Normální fotometrický pozorovatel

poměrná spektrální citlivost

— $C(\lambda)$ - cirkadiánního čidla

— $V(\lambda)$ - očí při denním vidění
(převažují **čípky**)

— $V'(\lambda)$ - očí při nočním vidění
(převažují **tyčinky**)

ZRAKOVÝ ORGÁN A PROCES VIDĚNÍ

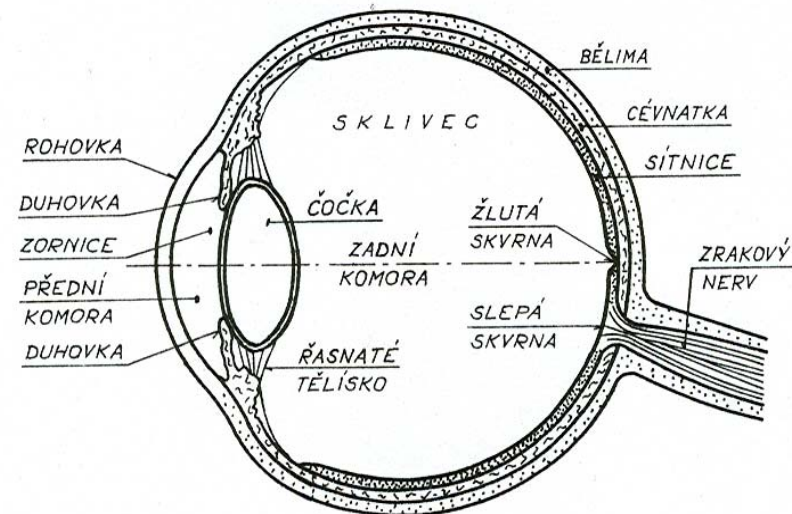
- VIDĚNÍ** -
1. čidlo zraku (oko) přijme informaci přinášenou světelným podnětem
 2. zpracování, výběr a zakódování informace (optic. podněty → nerv. vzruchy)
 3. přenos do mozkových center vidění – vzniká zrakový **počitek**
 4. syntéza počitků – vytváří se zrakový **vjem**
 5. zařídění vjemu ve vědomí
 - a) k bezprostřednímu využití
 - b) k uchování v paměti – pozdější aplikace

OKO

- a) **část optická** - zprostředkovává příjem informace;
rohovka, přední komora, duhovka se zornicí, čočka
- b) **část nervová** – sítnice (fotoreceptory, gangliové a další nervové buňky, vzájemné vazby), zrakový nerv, mozková centra vidění, vazby s ostatními centry

Adaptace – přizpůsobení oka různým osvětlenostem

Akomodace – přizpůsobení se oka vzdálenosti



Základní světelně technické veličiny

Zrak není schopen vnímat souhrnné působení záření za určitou dobu.
Pro vidění je proto rozhodující výkon přenášený zářením – **zářivý tok** Φ_e (W)

Světelný tok Φ (lm) = zářivý tok (W) zhodnocený zrakem podle spektrální citlivosti oka

Pro záření o jediné vlnové délce λ :

$$\Phi(\lambda) = K(\lambda) \cdot \Phi_e(\lambda) = K_m \cdot V(\lambda) \cdot \Phi_e(\lambda) = 683 \cdot V(\lambda) \cdot \Phi_e(\lambda) \quad (\text{lm}; \text{lm} \cdot \text{W}^{-1}, -, \text{W})$$

$K(\lambda)$ – **světelný účinek monofrekvenčního záření** λ ($\text{lm} \cdot \text{W}^{-1}$)

max. pro denní vidění [$V(\lambda)$] **$K_m = 683 \text{ lm} \cdot \text{W}^{-1}$** při $\lambda = \lambda_m = 555,155 \text{ nm}$

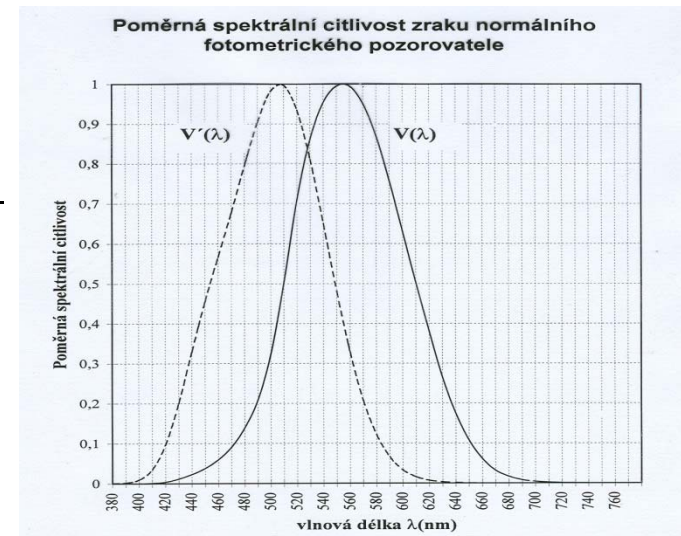
$V(\lambda)$ – poměrný světelný účinek záření (λ) = poměrná spektrální citlivost zraku pozorovatele
[obvykle normálního fotometrického pozorovatele při denním (fotopickém) vidění]

$$V(\lambda) = \frac{K(\lambda)}{K_m} = \frac{K(\lambda)}{683} \quad (-; \text{lm} \cdot \text{W}^{-1}, \text{lm} \cdot \text{W}^{-1})$$

Pro záření složené :

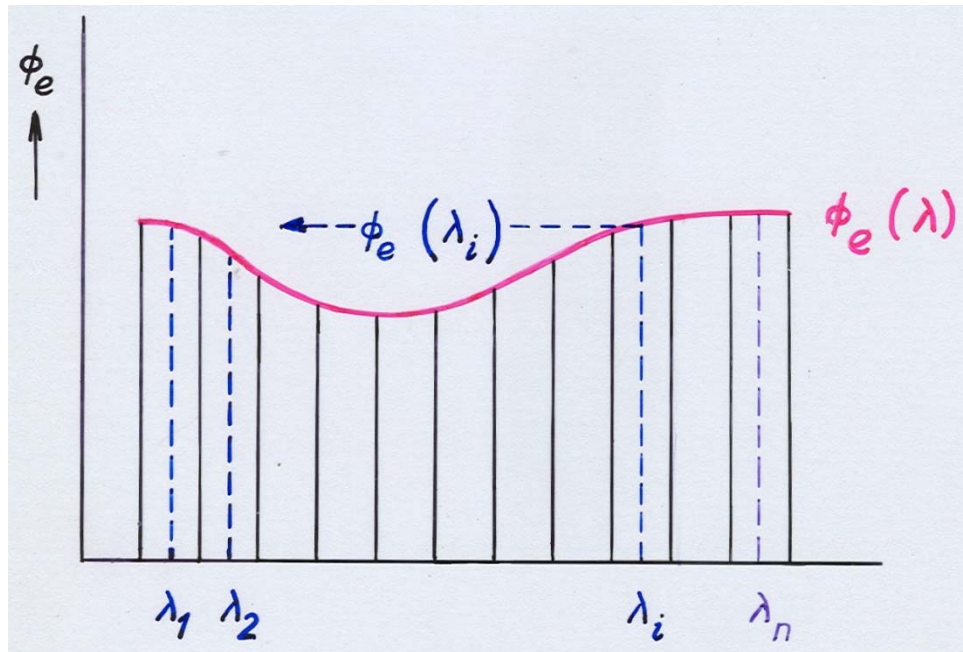
$$\Phi = 683 \int_0^\infty \left(\frac{d\Phi_e(\lambda)}{d\lambda} \right)_\lambda \cdot V(\lambda) \cdot d\lambda$$

$\left(\frac{d\Phi_e(\lambda)}{d\lambda} \right)_\lambda$ spektrální hustota zářivého toku Φ_e v bodě λ



Praktický výpočet světelného toku složeného záření $\Phi_e(\lambda)$

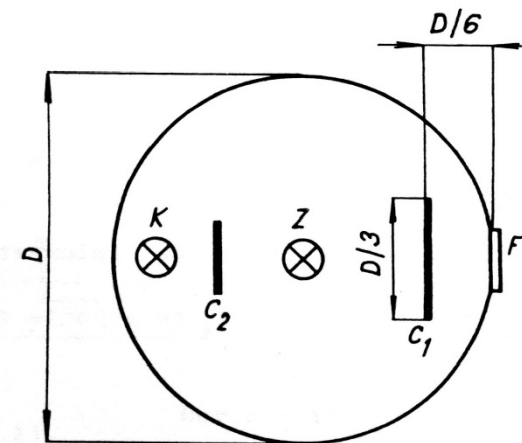
Obecně
$$\Phi = 683 \cdot \int_0^\infty \left(\frac{d\Phi_e(\lambda)}{d\lambda} \right)_\lambda \cdot V(\lambda) \cdot d\lambda$$



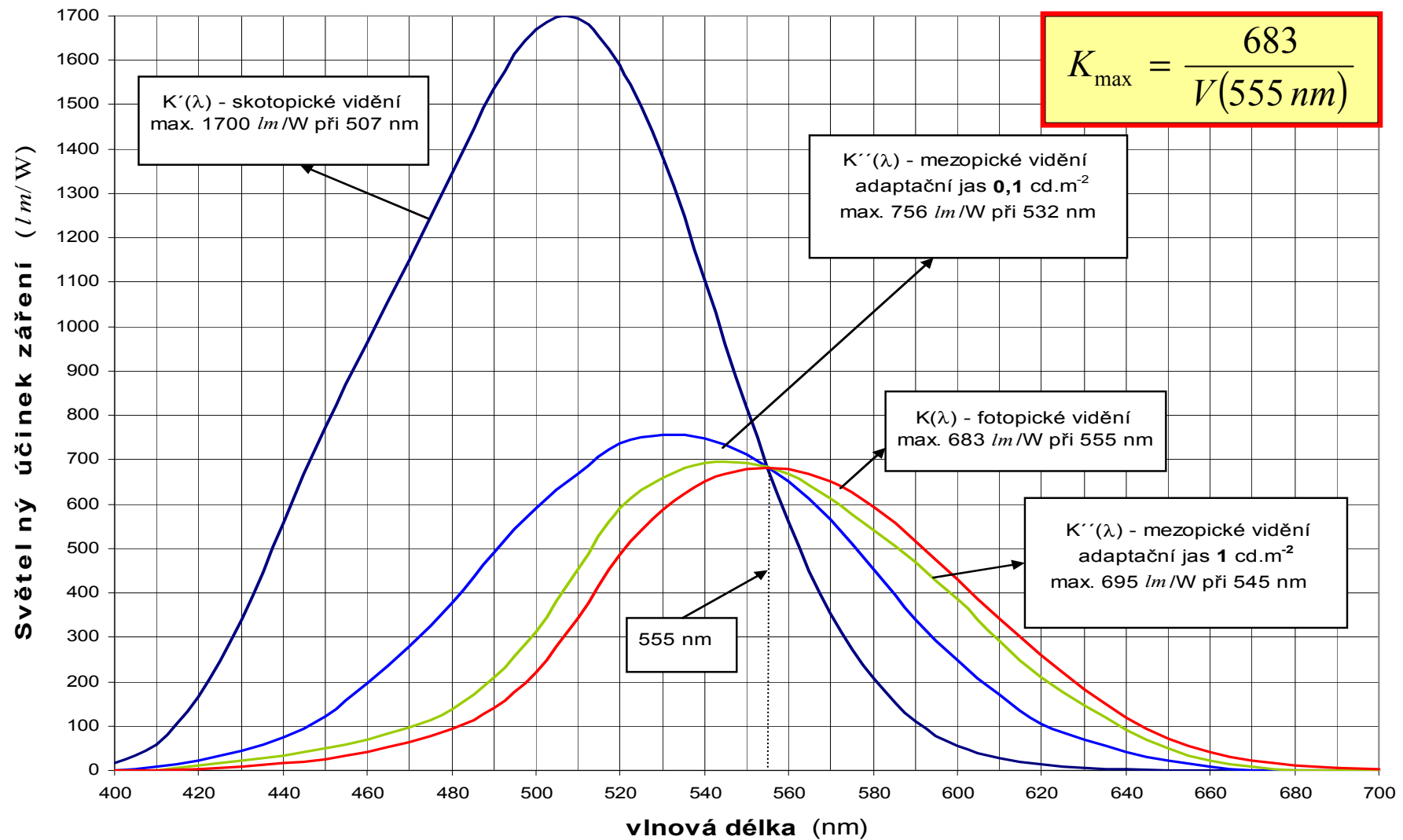
Praktické řešení

$$\Phi = 683 \sum_{i=1}^n \left(\frac{\Delta\Phi_e(\lambda_i)}{\Delta\lambda_i} \right)_{\lambda_i} \cdot V(\lambda_i) \cdot \Delta\lambda_i$$

Běžně se měří v **kulovém integrátoru**
($\varnothing D$; vnitřní povrch $\pi \cdot D^2$ difúzní; $\rho \approx 0,8$)



Průběhy absolutních hodnot světelných účinků záření pro vidění fotopické, mezopické a skotopické



Při základní vlnové délce $\lambda_m = 555 \text{ nm}$ je spektrální citlivost lidského zraku pro fotopické i skotopické vidění shodná a rovná $683 \text{ lm} \cdot \text{W}^{-1}$

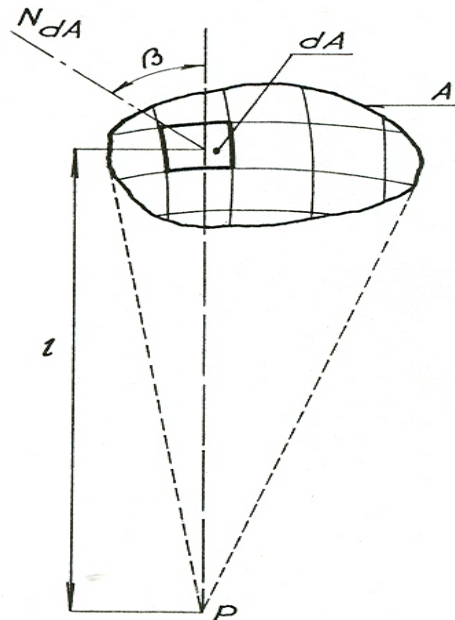
Prostorový úhel Ω

Ω = **velikost plochy vyřaté obecnou kuželovou plochou** (pod níž je vidět sledovaný předmět) **na povrchu jednotkové koule**,
přičemž středy koule, kuželové plochy a prostorového úhlu jsou totožné.

Jednotkou prostorového úhlu je **1 steradián** (sr),
určený jednotkovou plochou (1 m^2) na povrchu jednotkové koule ($r = 1 \text{ m}$).

Ω , pod nímž je ze středu koule o poloměru r vidět plocha A_k vyřatá na povrchu této koule, se stanoví ze vztahu $\Omega = A_k / r^2$ (sr ; m^2 , m)

Největší hodnoty $\Omega_{\max} = 4\pi$ nabývá prostorový úhel pro plochu A_k rovnou povrchu celé koule, kdy je velikost plochy A_k rovna $A_k = 4\pi r^2$.



Prostorový úhel $d\Omega$ elementu dA obecné plochy A pozorované z bodu P ze vzdálenosti l se vypočte z výrazu

$$d\Omega = \frac{dA \cdot \cos \beta}{l^2} \quad (\text{sr; m}^2, \text{ m})$$

kde β je úhel, který svírá osa prostorového úhlu $d\Omega$,
tj. paprsek l , s normálou N_{dA} plošky dA .

Celá plocha A je z bodu P vidět pod prostorovým úhlem Ω

$$\Omega = \iint_A \frac{\cos \beta}{l^2} dA \quad (\text{sr; m}^2, \text{ m})$$

SVÍTIVOST

 $I_{\gamma\zeta}$

1 kandela (cd)

$$I_{\gamma\zeta} = \frac{d\Phi}{d\Omega_{\gamma\zeta}}$$

= **prostorová hustota světelného toku**

= energie vyzářená bodovým zdrojem za jednotku času
do jednotkového prostorovém úhlu

Svítilno je umístěno ve vrcholu prostorového úhlu, tj. teoreticky v **bodě** $\Rightarrow$

svítivost je proto **definována** jen pro **bodový zdroj**

[pro svítidlo bodového typu]

Bodový zdroj = svítidlo s max. rozměrem a svítící plochy zanedbatelně malým
ve srovnání s jeho vzdáleností l od kontrolního bodu;

obvykle postačí $l \geq 5a$

Jednotka svítivosti

1 kandela (cd) – základní jednotka SI

1 cd = svítivost zdroje, který vyzařuje v určitém směru monochromatické **záření** o frekvenci **$540 \cdot 10^{12}$ Hz**, při němž **zářivost zdroje** v tomto směru je **$1/683 \text{ W.sr}^{-1}$** .

Ve standardním prostředí

[20 °C; 50% relat. vlhkost; tlak 101,325 kPa; $N = 1,000279668$]

kmitočet $\nu = 540 \cdot 10^{12} \text{ Hz}$ odpovídá vlnové délce $\lambda = 555 \text{ nm}$

SVÍTIVOST $I_{\gamma\zeta}$ (cd)

ZÁŘIVOST $I_{e\gamma\zeta}$ (W.sr⁻¹)

$$I_{\gamma\zeta}(\lambda) = K(\lambda) \cdot I_{e\gamma\zeta}(\lambda) = K_{\max} \cdot V(\lambda) \cdot I_{e\gamma\zeta}(\lambda) = 683 \cdot V(\lambda) \cdot I_{e\gamma\zeta}(\lambda)$$

Fotometrická plocha svítivosti

Fotometrická plocha svítivosti

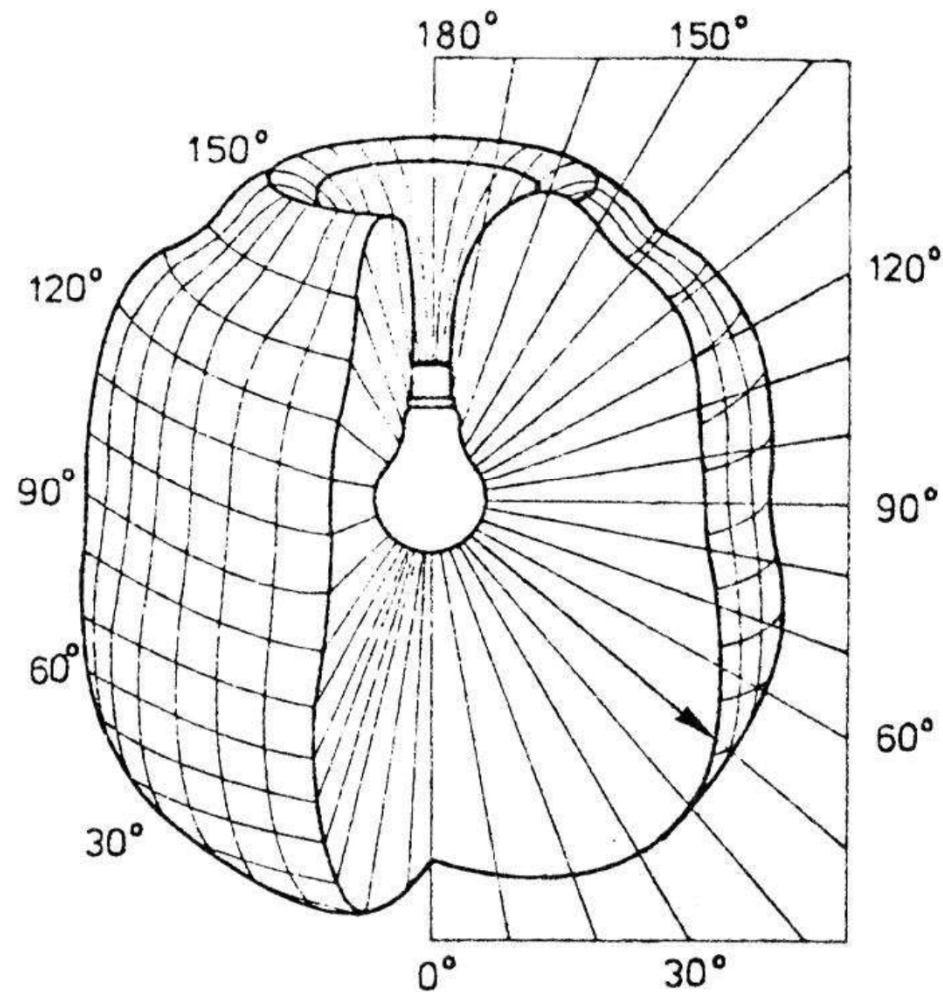
= plocha vzniklá propojením
koncových bodů hodnot

svítivosti $I_{\gamma\zeta}$ vynesných jako
radiusvektory od bodu zdroje
do odpovídajících směrů
prostoru.

Čáry svítivosti

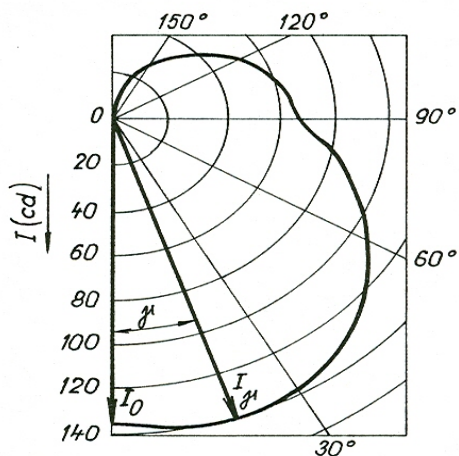
v polárních souřadnicích

– řezy plochou svítivosti
rovinami procházejícími
zdrojem



Příklad plochy svítivosti klasické žárovky

Čára svítivosti



matematický popis : $I_{\gamma} = I_0 \cdot f_I(\gamma)$

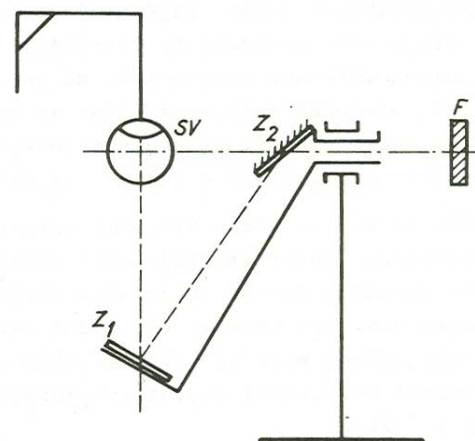
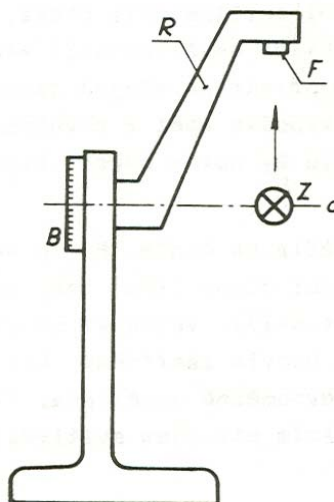
I_0 je **svítivost** uvažovaného zdroje **ve vztažném směru**,
tj. obvykle ve směru kolmém k hlavní vyzařovací ploše svítidla,
 $f_I(\gamma)$ je **charakteristická funkce** svítivosti (indikatrix) matematicky
popisující uvažovanou křivku svítivosti;
využívá se funkcí $\cos^n \gamma$ (kde $n = 0, 1, 2, 3$ a 5); $\sin \gamma$;
jejich součinů a lineárních kombinací

Hodnoty I_{γ} se obvykle přepočítávají na **1000 lm**

Pevný zdroj otočný fotometr

Pevné svítidlo i fotometr,
otočný zrcadlový systém

měří se na goniofotometru



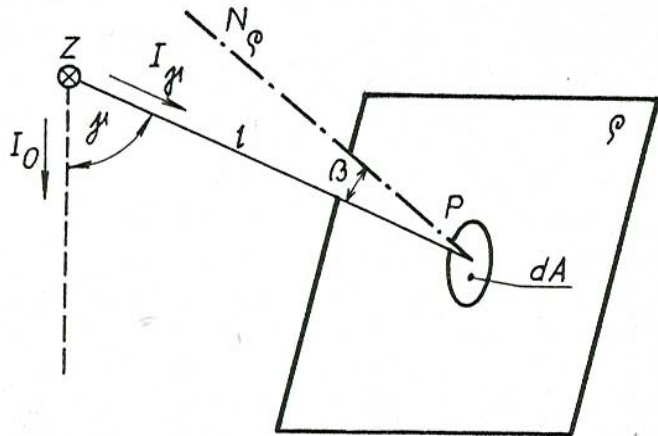
OSVĚTLENOST E 1 lux (lx)

$$E = \frac{d\Phi_{\text{dopad}}}{dA}$$

plošná hustota toku
 $d\Phi$ (lm) **dopadlého**
na plošku dA (m^2)

Průměrná osvětlenost E_A plochy A ,
na kterou dopadá tok Φ_A je

$$E_A = \Phi_A / A \quad (\text{lx; lm, } m^2)$$



Osvětlenost $E_{P\rho}$ v bodě P roviny ρ :

$$E_{P\rho} = \frac{I_\gamma}{l^2} \cdot \cos\beta \quad (\text{lx; cd, } m^2, -)$$

Osvětlenost je : 1. Nepřímo úměrná čtverci vzdálenosti l zdroje od bodu P

Zákon čtverce vzdálenosti

2. Přímě úměrná kosinu úhlu β dopadu paprsků

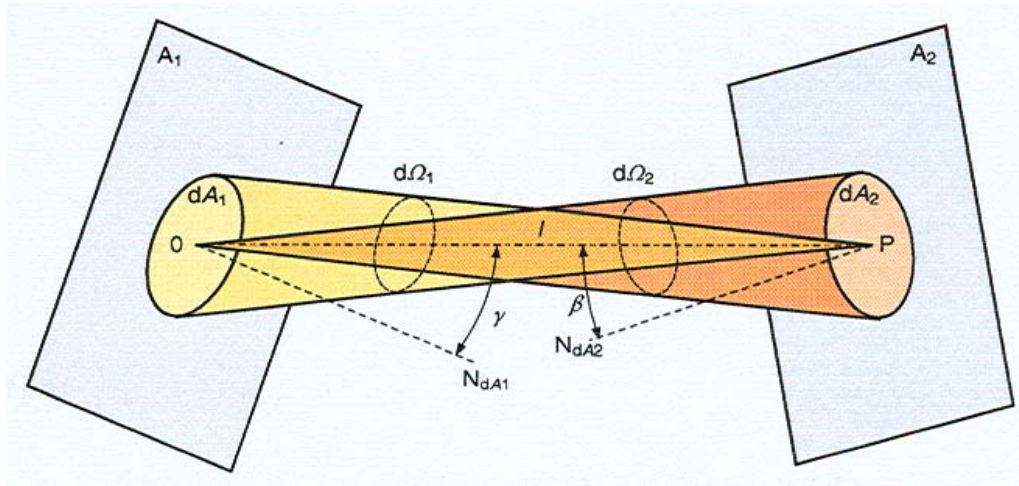
Lambertův kosinusový zákon

Max. E plošky dA je ve směru normály ($\beta = 0$), tzv. **normálová osvětlenost E_N**

měření luxmetry

$$E_{P\rho(\beta=0)} = E_N = \frac{I_\gamma}{l^2} \quad (\text{lx; lx; cd, m})$$

JAS L_γ SVAZKU PAPRSKŮ (cd.m⁻²)



$$L_{OP} = \frac{d^2\Phi}{d\Omega \cdot dA_n} \quad (\text{cd.m}^{-2}; \text{lm, sr, m}^2)$$

jas = prostorová a plošná hustota světelného toku

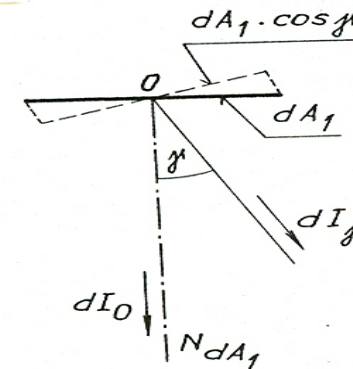
1. Jas L_{OP} svazku **paprsků sbíhajících** se v úhlu $d\Omega_1$ z plošky dA_1 do bodu P

$$L_{OP} = \frac{d^2\Phi}{d\Omega_1 \cdot dA_2 \cdot \cos \beta} = \frac{dE_N}{d\Omega_1}$$

dE_N značí normálovou osvětlenost, tj. osvětlenost průmětu plošky dA_2 do roviny kolmé k paprsku l

2. Jas $L_{OP} = L_\gamma$ svazku **paprsků rozbíhajících** se z bodu O v úhlu $d\Omega_2$

$$L_{OP} = L_\gamma = \frac{d^2\Phi}{d\Omega_2 \cdot dA_1 \cdot \cos \gamma} = \frac{dI_\gamma}{dA_1 \cdot \cos \gamma}$$



Definice **jasu L_γ svítící plochy zdroje**
v prostředí homogenním, nepohlcujícím a nerozptylujícím

SVĚTLENÍ M $(lm.m^{-2})$

$$M = \frac{d\Phi_{\text{vyzař}}}{dA}$$

plošná hustota toku
 $d\Phi_{\text{vyzař}}$ (lm) **vyzařovaného**
ploškou dA (m^2)

Průměrné světlení M_A plochy A vyzařující tok $\Phi_{\text{vyzař}}$

$$M_A = \Phi_{\text{vyzař}} / A \quad (lm.m^{-2}; lm, m^2)$$

SVĚTELNĚ TECHNICKÉ VLASTNOSTI MATERIÁLŮ

Světelný tok Φ dopadající na uvažovaný materiál se v obecném případě dělí na tři části, a to na část :

Φ_{ρ} **odraženou**, Φ_{τ} **prošlou**, Φ_{α} **pohlcenou**

$$\Phi = \Phi_{\rho} + \Phi_{\tau} + \Phi_{\alpha}$$

Vlastnosti látek charakterizují tři integrální činitele, a to **integrální činitel**

odrazu $\rho = \Phi_{\rho} / \Phi$, **prostupu** $\tau = \Phi_{\tau} / \Phi$ a

pohlcení $\alpha = \Phi_{\alpha} / \Phi$.

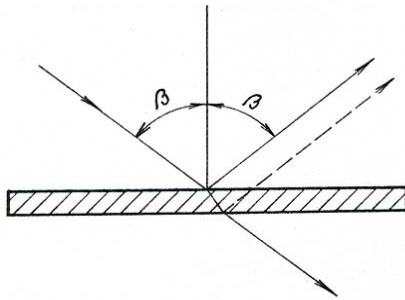
$$\rho + \tau + \alpha = 1$$

Činitele odrazu, prostupu a pohlcení nezávisí pouze na vlastnostech látky samotné, ale i na **vlnové délce dopadajícího záření**.

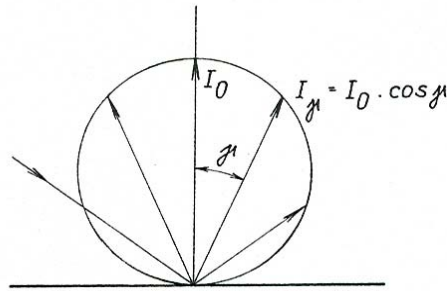
Proto se kromě integrálních hodnot zmíněných činitelů definují i jejich

spektrální hodnoty $\rho(\lambda)$, $\tau(\lambda)$, $\alpha(\lambda)$.

Zrcadlový a difúzní odraz



Zrcadlový odraz
přímý prostup



Difúzní odraz
rozložení svítivosti

Difúzní [rovnoměrně
rozptylný] povrch :

1. Jas konst.
do všech směrů
2. $I_\gamma = I_0 \cdot \cos \gamma$
3. $M = \pi \cdot L$
4. $M = \rho \cdot E = \pi \cdot L$

U většiny látek je odraz i prostup smíšený –
složka zrcadlová i difúzní

FOTOMETRIE

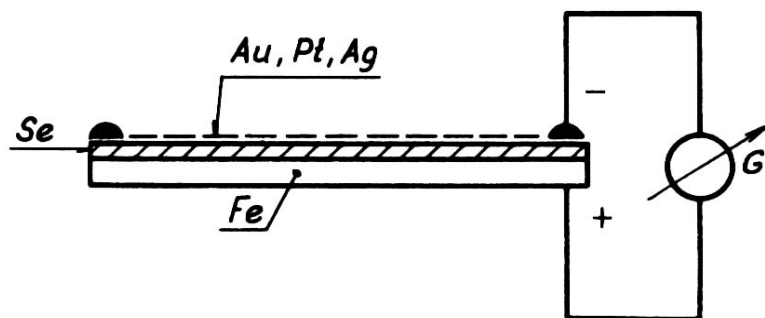
Měření světelně technických veličin

Subjektivní – vizuální
čidlo : **zrak**

Objektivní – fyzikální
čidlo : **fotočlánek**

Měření	přesná	provozní	orientační
Rozšířená nejistota měření U (%)	$U \leq 8 \%$	$8 \% < U \leq 14 \%$	$14 \% < U \leq 20 \%$

Běžné fyzikální čidlo **hradlový fotočlánek křemíkový** (dříve i selenový) :



Princip Si (Se) hradlového fotočlánku

Fe – základní železná (hliníková) deska

Se – polovodičová vrstva Si či Se

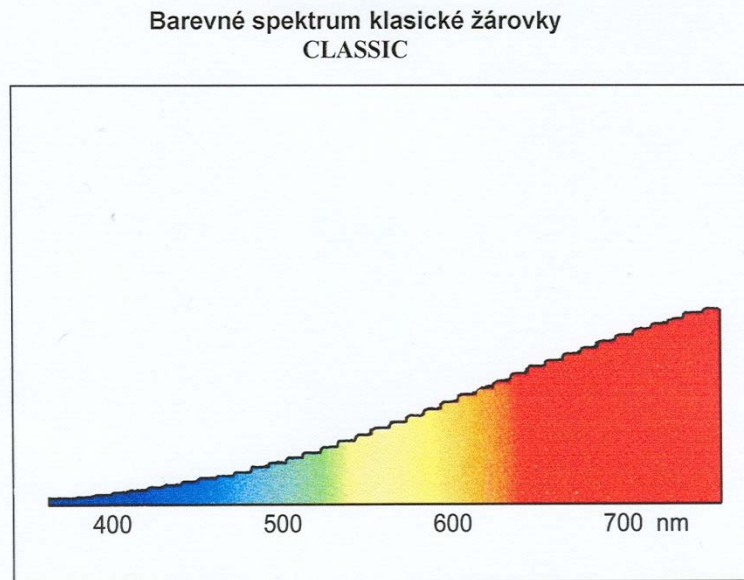
Au – průsvitná vrstvička Au, Pt, Ag

▲ – sběrný vodivý kroužek pro odvádění el. proudu

ELEKTRICKÉ SVĚTELNÉ ZDROJE

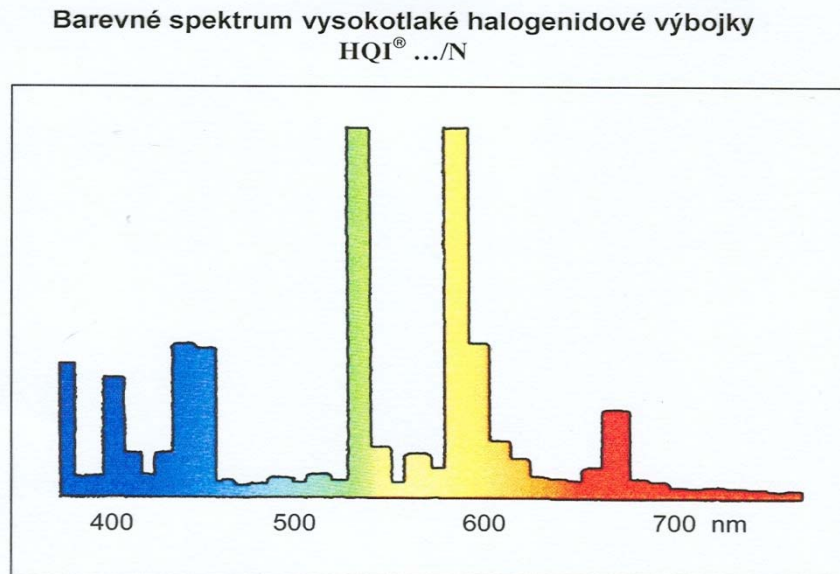
1. Teplotní - žárovky

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



PARAMETRY SVĚTELNÝCH ZDROJŮ

1. Elektrický příkon P_p (W)

2. Světelný tok Φ (lm)

3.

Měrný výkon sv.zdroje

$$\eta_E = \Phi / P_p \quad (\text{lm} \cdot \text{W}^{-1})$$

4. **Doba života** (h)

5. Barevná jakost vyzařovaného světla
souřadnice x, y ;

teplota chromatičnosti T_c (K)

6. Kvalita vjemu barev povrchů

index podání barev R_a

7. stabilita světelného toku

8. **Provozní vlastnosti** $\Phi(U)$; $\Phi(t)$;
rychlost ustálení Φ ; pracovní poloha

9. Rozdělení toku do prostoru

10. Rozměry, tvar, hmotnost

11. Pořizovací a provozní náklady

Orientační hodnoty parametrů vybraných zdrojů pro všeobecné osvětlování

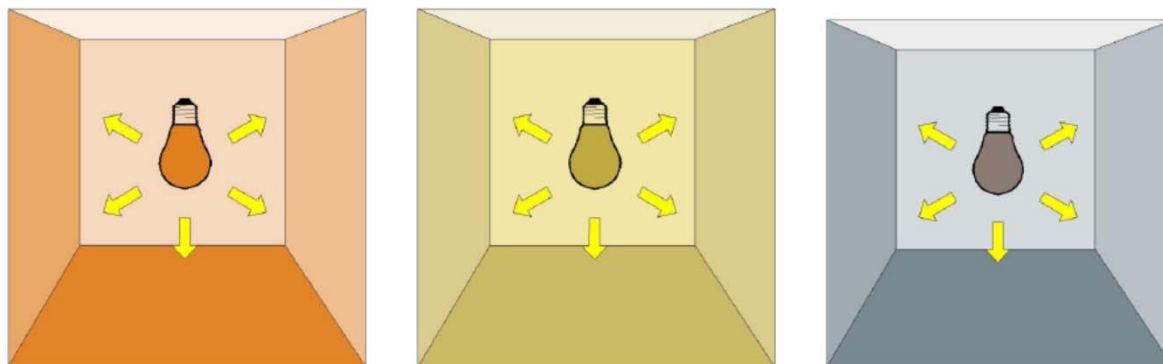
Typová skupina světelných zdrojů	Příkon (W)	Měrný výkon (lm . W ⁻¹)	Život (h)	Index podání barev R _a	Teplota chromatičnosti (K)
Žárovky klasické	25 - 100	9 - 13	1000	100	2700
Žárovky halogenové	20 - 300	10 - 20	2000 - 3000	100	3000
Zářivky lineární	14 - 80	70 - 100	až 20000	80 - 98	2700 - 6500
Zářivky kompaktní	5 - 80	50 - 100	až 20000	80 - 90	3300
Výbojky halogenidové	20 - 2000	65 - 100	až 18000	65 - 90	3000 - 6000
Výbojky sodíkové vysokotlaké	50 - 1000	75 - 150	až 28000	24	2000
Výbojky sodíkové nízkotlaké	18 - 180	100 - 175	16000	10 - 20	1700
Bezelektrodové indukční výb.	35 - 300	50 - 80	~ 60000	80	2700 - 6500
Světelné diody (LED)	0,01 - 3	80 - 130	~ 50000	70 - 90	2700 - 6500

Teplota chromatičnosti T_c (K)

T_c je rovna **teplotě černého zářiče**, jehož záření má tutéž barevnou jakost (chromatičnost) jako uvažované záření.

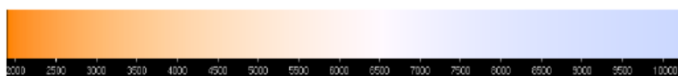
Definována přesně pro teplotní zdroje

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



Teplota chromatičnosti T_c (K)

Barevný tón bílého světla.



Barevný tón bílého světla	Teplota chromatičnosti T_c (K)
teple bílý	< 3 300 K
neutrálně bílý	3 300 – 5 300 K
chladně bílý	> 5 300 K

PODÁNÍ BAREV

charakterizuje vliv spektrálního složení světla zdrojů
na vjem barvy osvětlených předmětů.

Vjem barvy člověk přitom vědomě či nevědomě srovnává
s jejich vzhledem v denním světle či ve světle smluvního zdroje.

**Věrně vnímáme barvy v denním světle
a ve světle teplotních zdrojů - žárovek**

INDEX PODÁNÍ BAREV R_a

R_a = číslo 0 až 100 **vystihuje věrnost vjemu barev
ve světle daného zdroje**

100 - věrný vjem barev

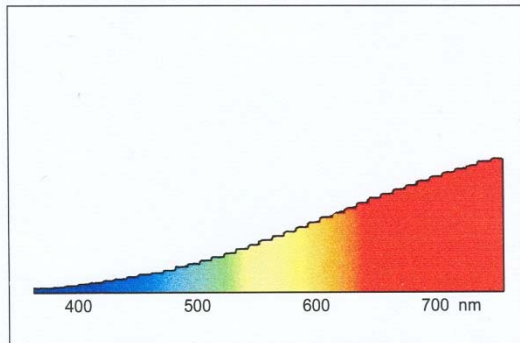
0 - barvy se nerozlišují vůbec

R_a vyjadřuje stupeň shodnosti vjemu barvy předmětů osvětlených uvažovaným
zdrojem a barvy týchž předmětů osvětlených smluvním zdrojem (žárovka)

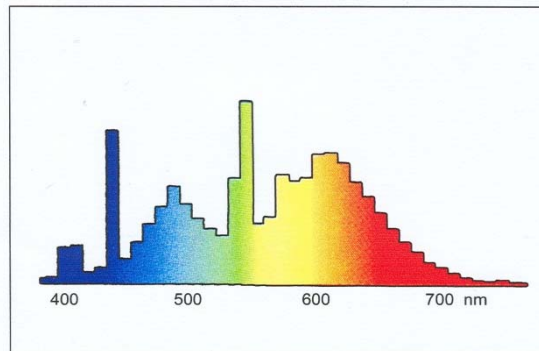
UKÁZKY SPEKTER VYBRANÝCH SVĚTELNÝCH ZDROJŮ

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

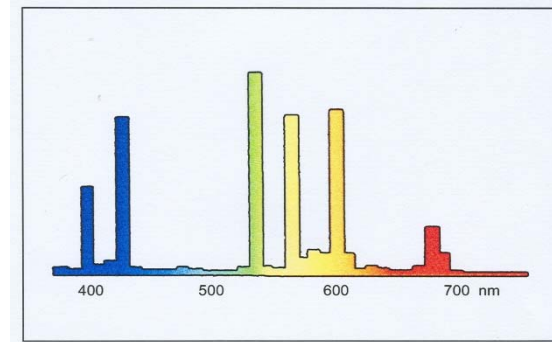
Barevné spektrum klasické žárovky
CLASSIC



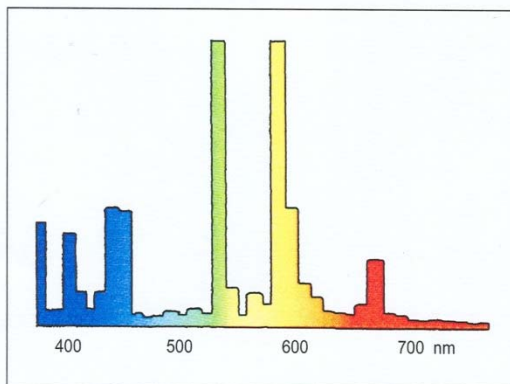
Barevné spektrum nízkotlaké rtuťové výbojky (zářivky)
LUMILUX® DE LUXE 940



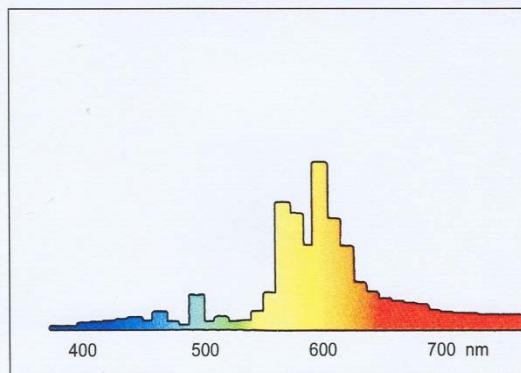
Barevné spektrum vysokotlaké rtuťové výbojky
HQL® DE LUXE



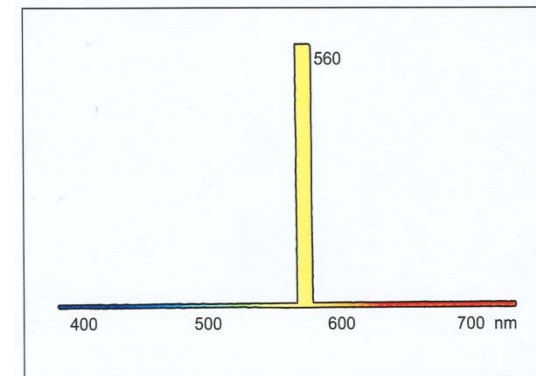
Barevné spektrum vysokotlaké halogenidové výbojky
HQL® .../N



Barevné spektrum vysokotlaké sodíkové výbojky
VIALOX®



Barevné spektrum nízkotlaké sodíkové výbojky
SOX



ŽÁROVKY KLASICKÉ

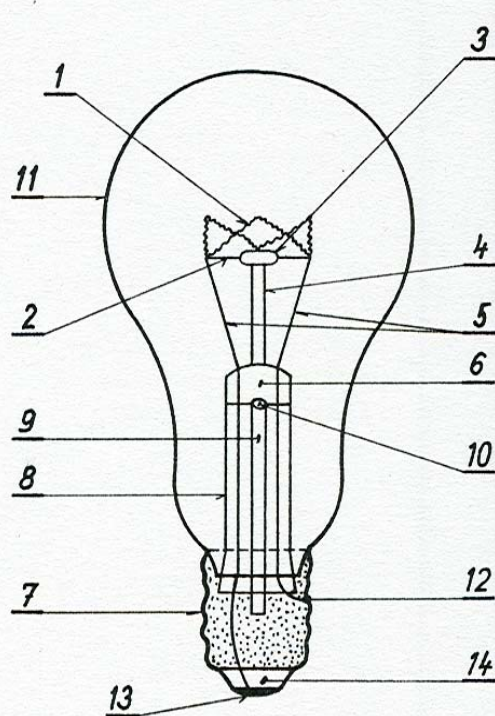
nejrozšířenější
snadná instalace
snadná údržba
široký sortiment



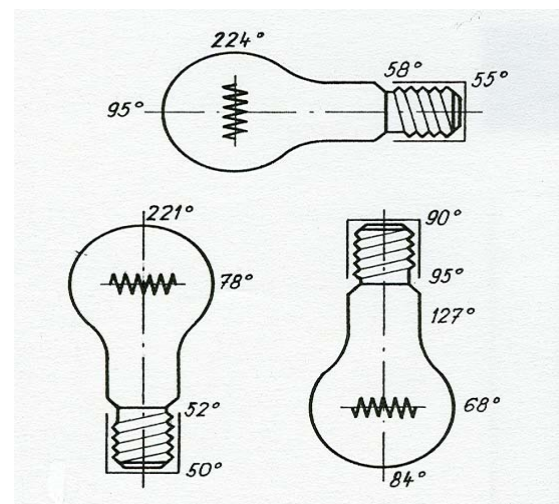
nízký měrný výkon
krátký život
neefektivní zdroj

Pozor na povrchovou teplotu

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



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

Zjednodušený popis

halogenového regeneračního cyklu

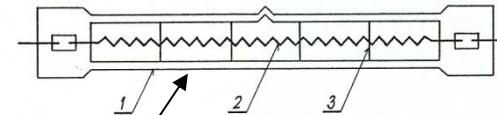
- W odpařený z vlákna putuje k baňce
- **poblíž baňky se W slučuje s J či Br**
- halogenid se vrací k vláknu
- Vlivem vysoké teploty **poblíž vlákna se halogenid štěpí** na :
 - J či Br (vracejí se k baňce)
 - W (zvyšuje koncentraci W u vlákna a brání dalšímu odpařování W).

Cyklus probíhá **kolmo k vláknu**.

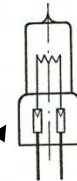
S fluorem i podél – zatím nezvládnuto technologicky.



Lineární halogenová žárovka
dvoupaticová



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



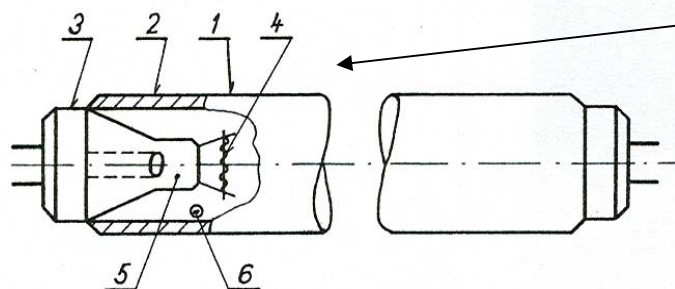
Jednopaticová HŽ
kompaktnější vlákno



ZÁŘIVKY

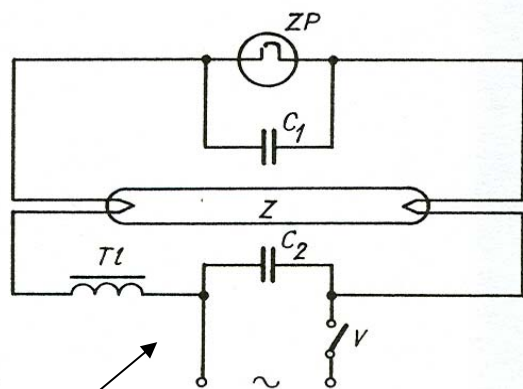
Luminiscenční zdroj

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



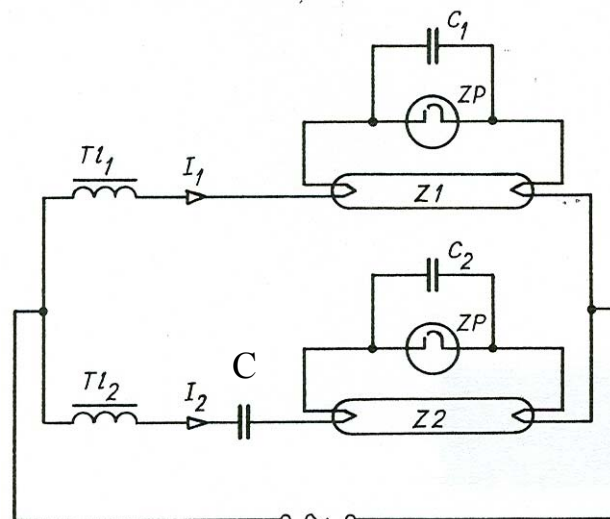
- 1 výbojová trubice
- 2 vrstva luminoforu
- 3 kolíčková patice
- 4 elektroda – W drátek
- 5 nosný systém
- 6 náplň Hg + argon, neon

**Každou výbojku
zapojit vždy
s předřadníkem**



Zapojení zářivky Z s

- indukčním předřadníkem 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



ELEKTRONICKÉ PŘEDŘADNÍKY

- **odpadají** zapalovače, těžké tlumivky, kompenzační kondenzátory
- provoz svítidel **bezhluchý**
- zářivky zapalují **bez blikání**
- vadná zářivka
automaticky odpojena
- **stabilita** parametrů zajištěna i při poměrně velkém kolísání napětí (např. 198 – 254 V při $U_n = 230$ V)
- tepelné zatížení prostoru o 30% nižší

- zářivky napájeny proudem vysoké frekvence (**30 – 40 kHz**)
 - nevzniká stroboskopický jev
 - odstraněno rušivé kolísání světeln. toku
 - vyšší měrný výkon zářivek cca o 10%
- doba života roste o **30 – 50%**
- **úspora** energie až o **25%** oproti provozu s indukčním předřadníkem

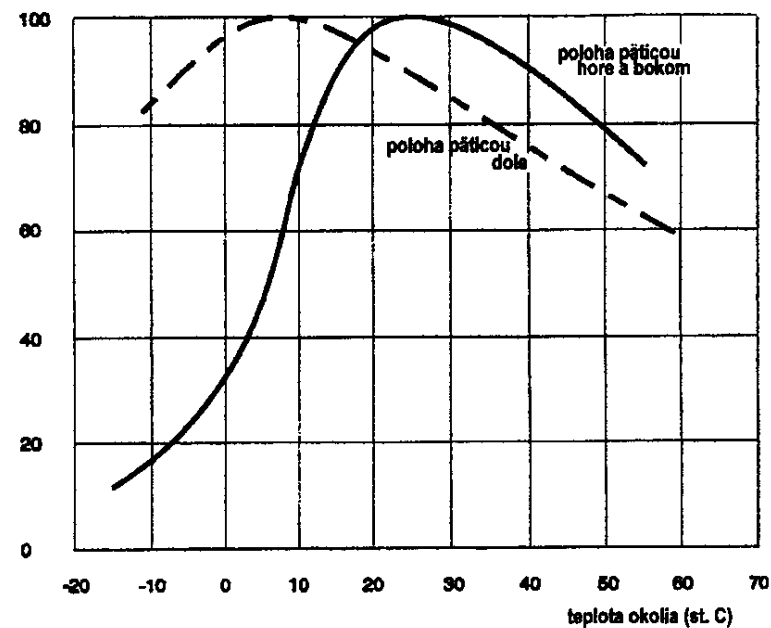
KOMPAKTNÍ ZÁŘIVKY KZ

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

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



Závislosť sv. toku od teploty okolia pre KŽ
s integrovaným el. predradníkom



5 W, 7 W, 9 W, 11 W
Ralux long 18 W, 24 W, 36 W

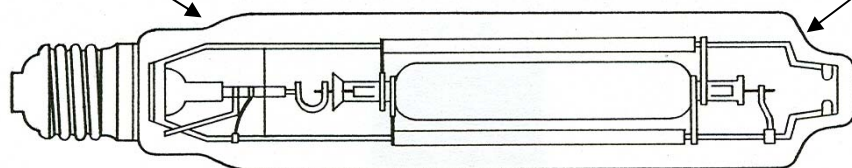
5 W, 7 W, 9 W, 11 W

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.

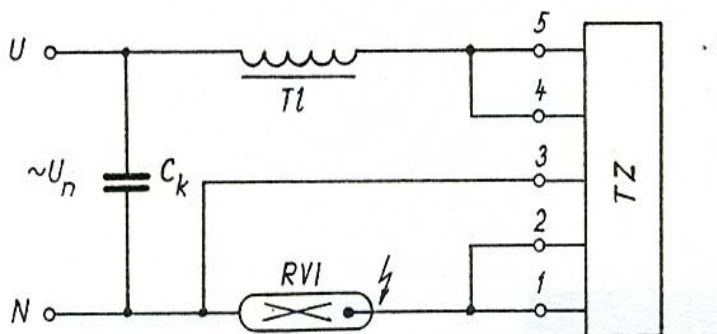


Schéma napájení halogenidové výbojky 1000 W
Tl - tlumivka, TZ – vnější zapalovací zařízení,
Ck - kompenzační kondenzátor

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.

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

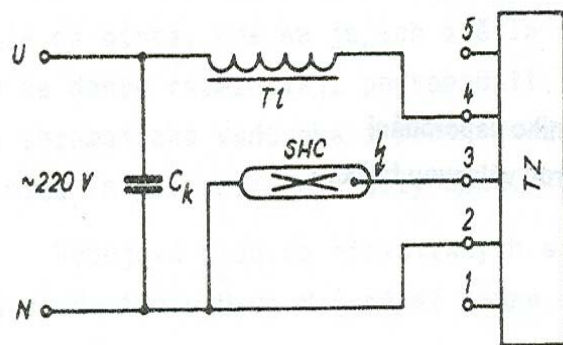
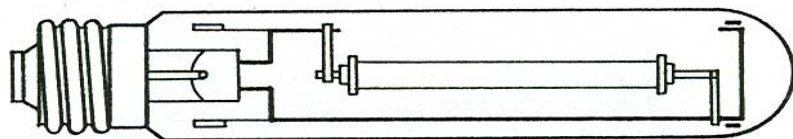


Schéma napájení vysokotlaké sodíkové výbojky
Tl - tlumivka, TZ - zapalovací zařízení
(impulzy 1,9 až 4,5 kV),
C_k - kompenzační kondenzátor

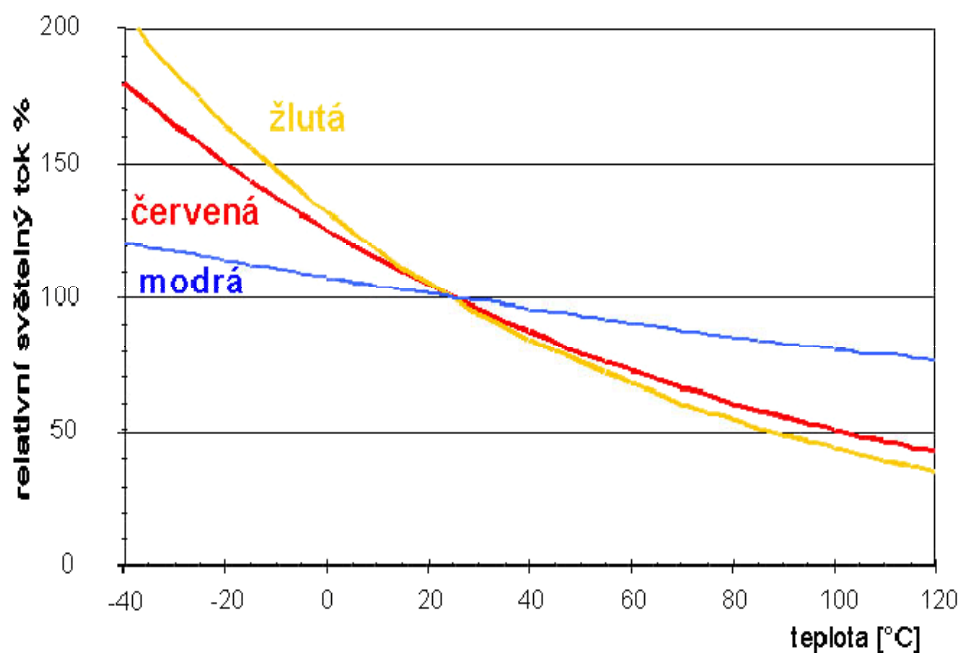
Náběhový proud výbojky je asi o 25%
vyšší než proud jmenovitý

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

SVĚTLO EMITUJÍCÍ DIODY LED

LED = elektronický prvek, který generuje světelné záření při průchodu proudu polovodičovým přechodem v propustném směru.

Při **rekombinaci elektronu** (spojení elektronu s iontem) se uvolňuje určité **kvantum energie**, které je buď vyzařeno nebo absorbováno ($\Rightarrow$ zvýšená teplota).
Záření je vždy omezeno na velmi **úzké spektrum**.



Závislost poměrného světelného toku různých typů diod LED na teplotě

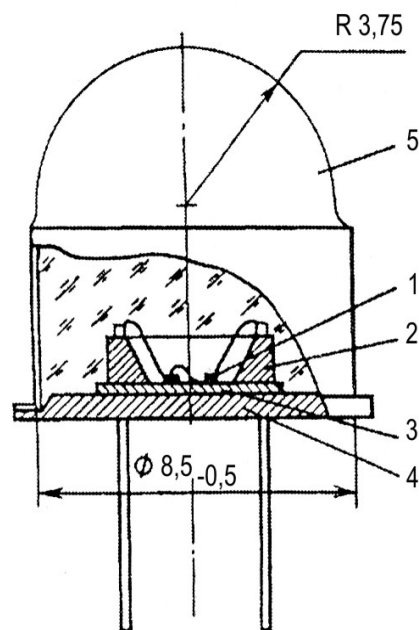
Možnosti **měrného výkonu LED** : modrá 60 lm.W^{-1} ; červená asi 260 lm.W^{-1} ; bílá přes 200 lm.W^{-1} ; žlutá $>500 \text{ lm.W}^{-1}$; zelená až 590 lm.W^{-1} ;

dnes **běžně** 100 lm.W^{-1} ; $T > 50.000 \text{ h}$ při **$R_a > 90$** a **4000 K** .

Výhled (Japonsko do 2025) : 200 lm.W^{-1}
 T až 100.000 h .

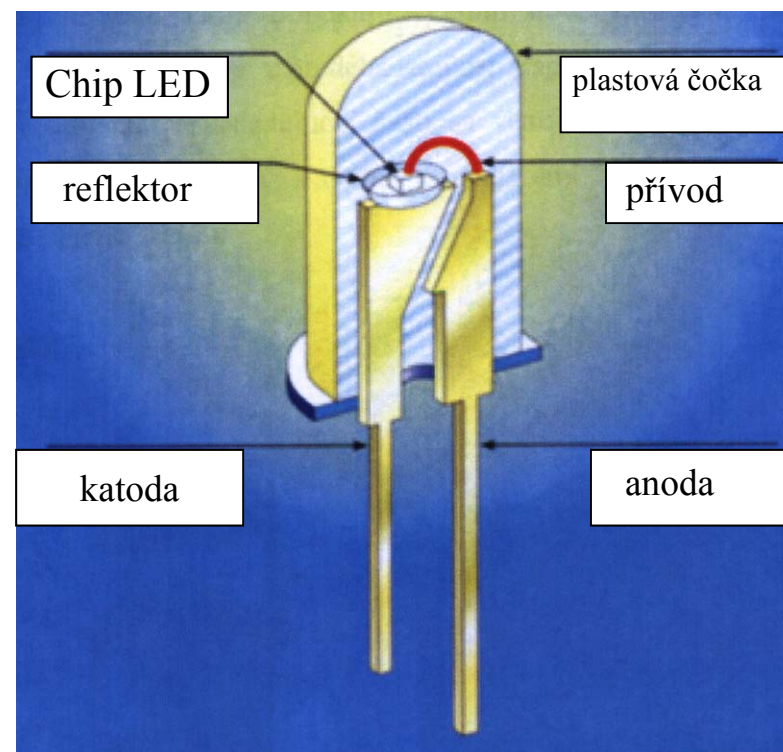
Jediná LED zatím malý světelný tok – proto se LED sdružují

Konstrukční uspořádání světelné diody



Příklad základního konstrukčního uspořádání světelné diody se dvěma krystaly

- 1 – polovodič s přechodem PN,
- 2 – reflektor,
- 3 – keramická destička odvádějící teplo,
- 4 – podložka,
- 5 – polokulová čočka



Příklady provedení světelných diod (LED)



Parametry LED

Velikost zdroje – polovodičového čipu: až několik mm^2 ;
Proud : jednotky až stovky mA; příkon : až 5 či 9 W ;
Měrný výkon : přední výrobci až 100 lm.W^{-1}

LED: 1. nízký výkon (jednotky mA; př. 1 – 2 mA)
2. standardní (desítky mA, př. 20 mA, 30 mA)
3. výkonné (stovky mA; až proud > 350 mA)

Čip se již při výrobě opatřuje :

- optickými prvky (reflektor, čočky) k usměrnění světla, [konfigurace reflektoru určuje oblast vyzařování (oblast úhlů od 8 do 120°)].
- krytem z epoxidové pryskyřice.

K provozu postačuje zapojit LED do série s diodou v propustném směru a přes vhodný rezistor se připojí k napájecímu zdroji, tj. k měniči (jeho výstupní napětí se přizpůsobí kombinaci zapojení a počtu LED).

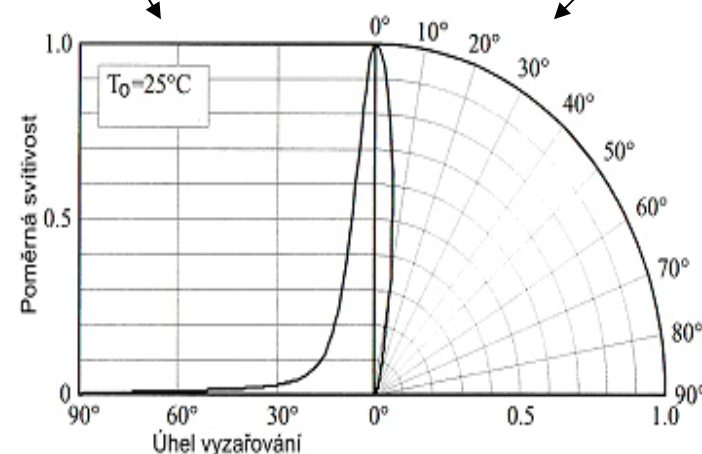
Jde o **zdroj konstantního proudu** – zajišťuje i optimální teplotu (**85° - 100°C**).

Vyšší teplota – rychlejší pokles sv. toku, výrazné snížení života.

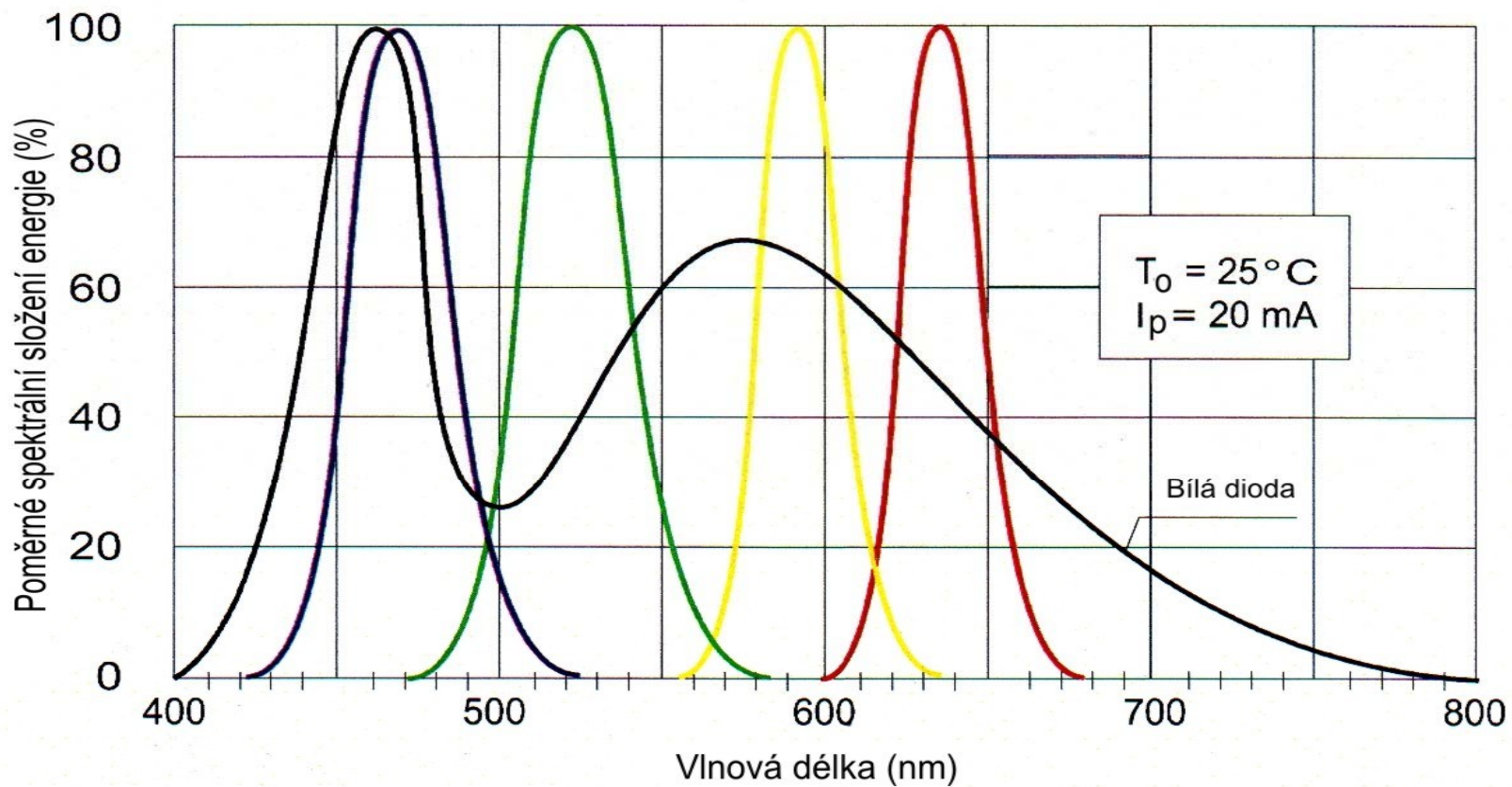
Příklad rozložení svítivosti LED v souřadnicích

pravoúhlých

polárních

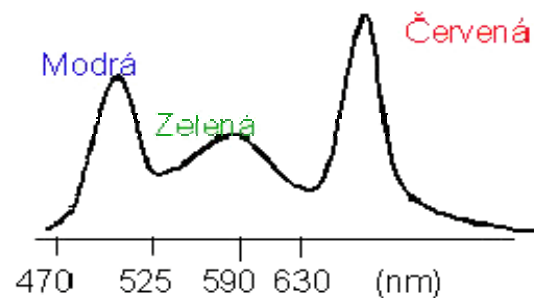
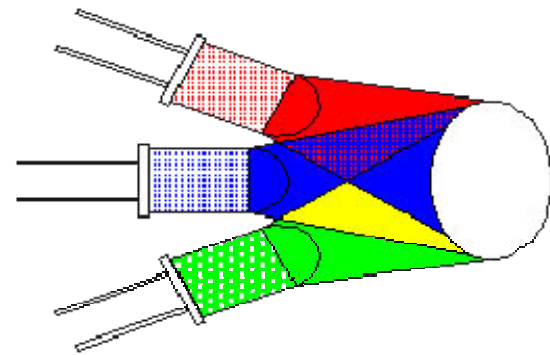


Emisní spektrum vybraných barevných LED a bílé světelné diody

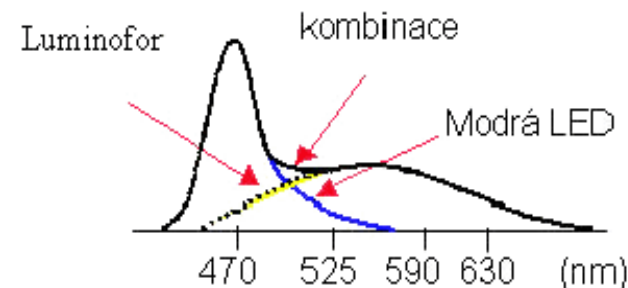
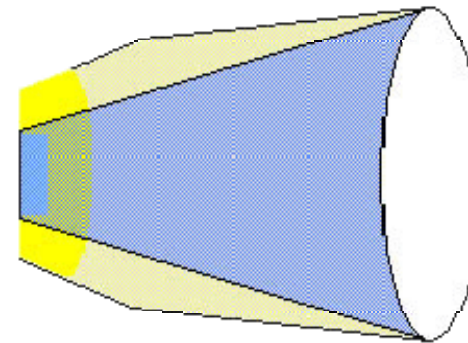


LED VYZAŘUJÍCÍ BÍLÉ SVĚTLO

1. aditivním **míšením** tří základních barev (červené, zelené, modré) ; (tvorba bodů zobrazovacích panelů).



2. použije se **čip modré LED** + speciální **luminofory** (RGB nebo OYGB) - převod části modrého záření do jiných λ (zvl. žluté). Výsledkem mísení modré a žluté je téměř bílý barevný tón světla.



Přednosti LED :

- malé rozměry
- malé napájecí napětí;
není nutná ochrana před nebezpečným
dotykovým napětím;
- vyššího sv. toku se dosahuje zapojením LED
do série;
- napájení ss napětím; snadná regulace,
plné stmívání;
minimální doba náběhu;
možný impulsní režim;
- možnost napájení solárními články;
úsporné osvětlení;
- možnost dynamického řízení jasu a barvy
světla;
- měrné výkony běžně 50 lm.W^{-1} ,
špičkově 100 lm.W^{-1} (i 130 lm.W^{-1})
výhled 200 lm.W^{-1} (r. 2012);
- barvy téměř monochromatické
(nezaměnitelnost - signalizace)

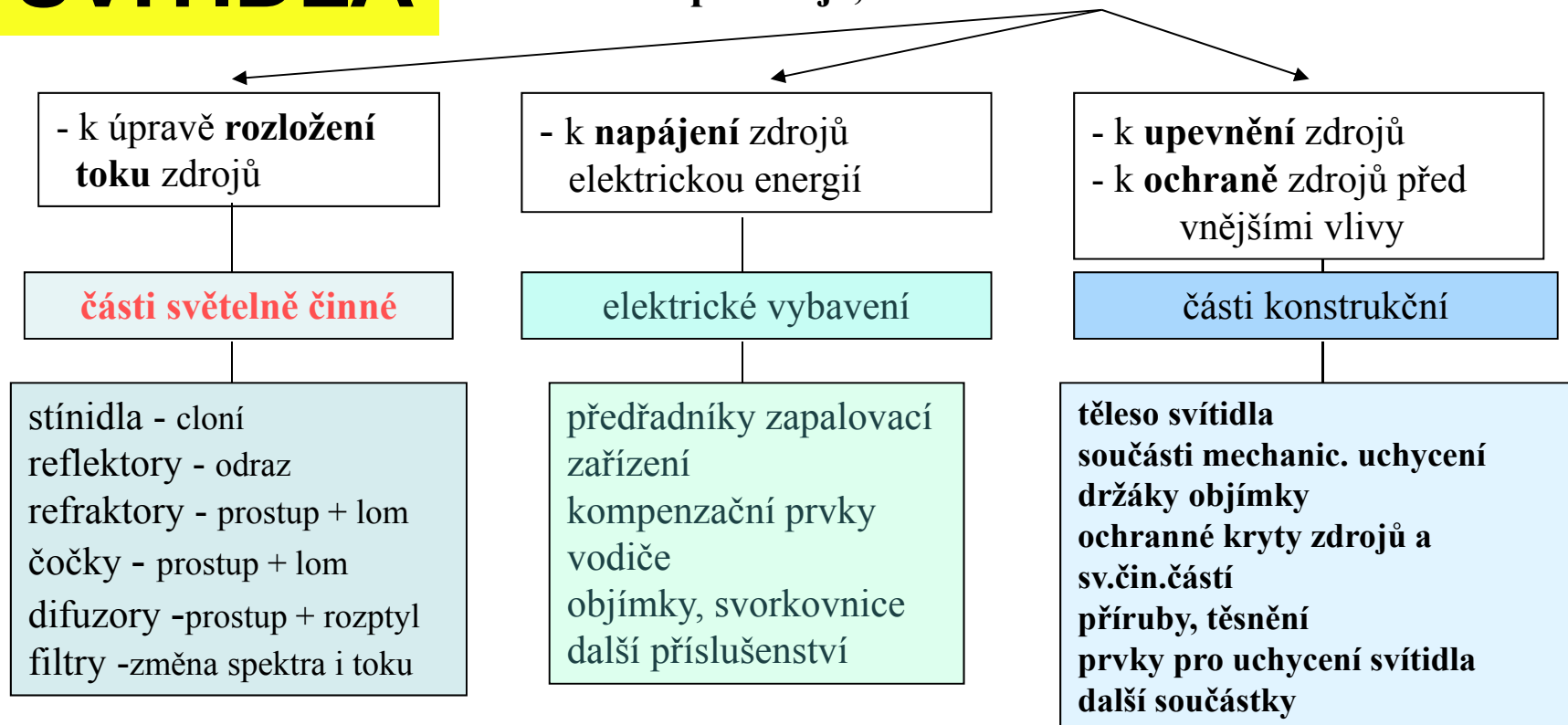
- možnost výroby bílé LED s dobrou účinností,
s vysokým R_a ;
- možnost výroby LED zářící v UV nebo IR oblasti;
- vysoká spolehlivost;
- dlouhý život [v závislosti na teplotě]
(60 až 100 tis.h.; pokles toku 30 až 40 %)
- provoz při teplotě okolí -30°C až $+60^{\circ}\text{C}$;
- odolná konstrukce; snáší otřesy i vibrace;
- neobsahují škodlivou rtuť;
- nemají negativní vliv na životní prostředí
ani po ukončení života; recyklovatelnost;

Nevýhody LED:

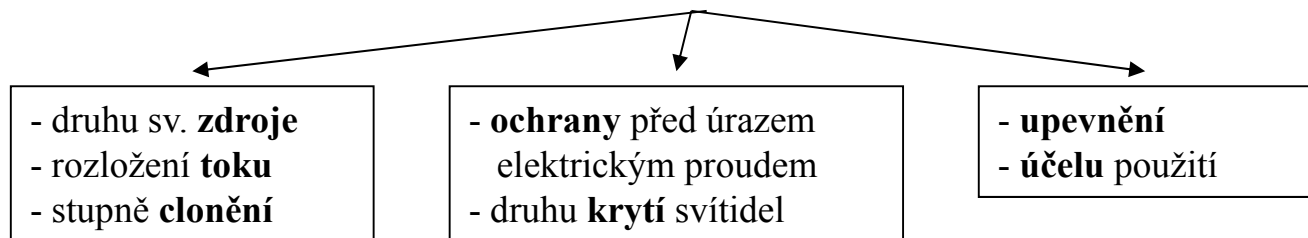
- zatím vysoká cena ;
- významná závislost hlavních parametrů LED na teplotě okolí .

SVÍTIDLA

= světelné přístroje, které **slouží** :



Svítidla se rozdělují podle :



SVĚTELNÁ ÚČINNOST SVÍTIDLA η_{sv}

$$\eta_{sv} = \frac{\Phi_{sv}}{\Phi_z} = \begin{array}{l} \text{poměr toku } \Phi_{sv} \text{ vyzařovanému svítidlem} \\ \text{k toku } \Phi_z \text{ světelných zdrojů instalovaných v daném svítidle} \end{array}$$

Tok Φ_{sv} lze změřit a pro dané prostorové rozložení svítivosti i vypočítat.

Příklad: účinnost **otevřeného** souměrně vyzařujícího svítidla
se **zrcadlovým reflektorem** s činitelem odrazu ρ

Ze svítidla vychází : - **přímo** část Φ_p toku Φ_z zdroje
- část Φ_r až **po odrazu** ($\rho \cdot \Phi_r$) od reflektoru.

Za předpokladu pouze jednonásobného odrazu vychází ze svítidla tok Φ_{sv}

$$\Phi_{sv} = \Phi_p + \rho \cdot \Phi_r$$

a pro účinnost svítidla vychází vztah

$$\eta_{sv} = \frac{\Phi_{sv}}{\Phi_z} = \frac{\Phi_p + \rho \cdot \Phi_r}{\Phi_z}$$

Je-li $\rho = 0,7$ a dopadá-li na reflektor ze zdroje tok $\Phi_r = 0,6 \cdot \Phi_z$ vychází $\eta_{sv} = 0,82$.

NÁVRH OSVĚTLENÍ INTERÉRŮ

=

= TVORBA SVĚTELNÉHO PROSTŘEDÍ

CÍL : uspokojit **tři základní potřeby** lidí :

zrakovou pohodu	tvorba zrakově příjemného prostředí pro psychologickou pohodu
zrakový výkon	dosažení potřebné ostrosti vidění, rozlišování tvaru a barev detailů i rychlosti vnímání při co nejnižší únavě a vysoké produktivitě
bezpečnost	zábrana oslnění, stroboskopického jevu, rušivých stínů či kontrastů ...

Hlavní parametry světelného prostředí

	Zásada	Ověřovaný parametr
1	úroveň jasů	hladiny jasů $\bar{L}_m$ a osvětleností $\bar{E}_m$
2	prostorové rozložení jasů	rovnoměrnost L a E
3	zábrana vzniku oslnění	Činitel (index) oslnění UGR
4	podání barev ; soulad T_c zdrojů s E	index podání barev R_a ; T_c světla zdrojů
5	podání tvaru ; směrovost a stínivost	sv. vektor , $E_{4\pi}$, Činitel podání tvaru P
6	stálost osvětlení	index míhání f ; zábrana stroboskop. jevu
7	denní osvětlení	Činitel denní osvětlenosti
8	nalézt technic. i ekonom. optimální variantu	rozbor nákladů, citlivostní analýza

HLADINY JASŮ A OSVĚTLENOSTÍ

Doporučené hodnoty jasů a osvětleností
vodorovné srovnávací roviny ve vnitřních prostorech

Požadavky na zrakové vnímání	Jas (cd.m⁻²)	Osvětlenost srovnávací roviny (lx)
Právě rozlišitelné rysy lidského obličeje	1	20
Uspokojivé rozlišení lidského obličeje	10 až 20	200
Optimální zrakové podmínky v běžných pracovních prostorech	100 až 400	2.000
Provádění kritických zrakových úkolů s malým kontrastem a jemnými detaily	1.000	20.000

Parametry osvětlení ve vybraných pracovních prostorech [ČSN EN 12464-1]

Typ prostoru, úkolů nebo činnosti	Udržovaná osvětlenost $\bar{E}_m$ (lx)	UGR_L (*)	R_a
Cirkulační prostory a chodby	100 1)	28 2)	40 2)
Schodiště, eskalátory, pohyblivé chodníky	150	25 2)	40 2)
Nakládací rampy a místa	150	25	40
Kanceláře - kopírování, kompletace atd.	300	19	80
psaní, čtení, zpracování dat	500 3)	19	80
Technické kreslení	750	16	80
Pracovní stanice CAD	500 3)	19	80
Konferenční a shromažďovací místnosti	500	19	80
Recepční stůl	300	22	80
Archiv	200	25	80
Učebny a konzultační místnosti	300 4)	19	80
Učebny pro večerní studium	500 4)	19	80
Přednáškové sály	500 4)	19	80
Tabule	500 5)	19	80
Místnosti pro výtvarnou výchovu	500	19	80
dtto na výtvarných školách	750 6)	19	90

*) UGR_L Index oslnění podle metody „Jednotného systému hodnocení oslnění UGR“

- 1) Osvětlenost na podlaze (150 lx, jsou-li na cestě vozidla).
Zabránit oslnění řidičů a chodců.
Osvětlení východů a vchodů bez náhlých změn osvětlenosti.
- 2) R_a a UGR_L podobné jako u přilehlých prostorů.
- 3) Při používání displejů respektovat i další požadavky.
- 4) Regulovatelné osvětlení.
- 5) Zamezit zrcadlovým odrazům.
- 6) $T_{cn} > 5\,000\text{ K}$.