Elektrické světlo
KEE/ESV

Lenka Raková

7. přednáška

2015/2016

Obsah

- **Svítidla - dokončení**
- **Světelné pole a integrální charakteristiky**

SVĚTELNĚ ČINNÉ ČÁSTI

= zajištění základní funkce svítidla

- Upravují rozložení světelného toku vyzařovaného SZ a upravují fotometrické vlastnosti svítidel
  - Rovnoměrné rozptýlení či usměrnění světelného toku, clonění, úprava spektrálního složení

Světelně činné části
- Reflektory
- Difuzory
- Čočky a refraktory
- Holografické optické prvky
- Světlovody
- Stínidla a kryty
- Filtry

Reflektorové zdroje = není třeba upravovat jejich světelně technické vlastnosti (např. halogenové žárovky, kompaktní zářivky)

CLONY A STÍNIDLA

- Neprůsvitný či rozptylný materiál
- Funkce = zabránění přímému pohledu na světelný zdroj (omezení přímého oslnění)
- **Clonění** – vlastní konstrukce svítidla či přídavné clonící prvky
- Popis míry clonění – pomocí tzv. **úhlu clonění (viz minulá přednáška)**

FILTRY

= světelně činné části určené ke změně spektrálního složení nebo zmenšení množství výstupního optického záření

- Základní jevy = absorpce a interference

- **Absorpční filtry**
= propouštějí vybranou část spektra a zbývající část pohlcují (více se zahřívají)

- **Interferenční filtry**
= vybranou část spektra propouštějí, zbývající odrážejí

Dělení filtrů z pohledu funkce a použití
- Barevné
- Konverzní
- Ochranné

FILTRY

- **Barevné**
  - absorpční i interferenční
- **Konverzní**
  - Vlivem upraveného průběhu spektrálního činitele prostupu mění teplotu chromatičnosti

- **Ochranné**
  - Odfiltrování UV a IR záření
  - **UV** – fotochemická reakce, změna barevných a mechanických vlastností materiálů
  - **IR** – ohřev, pnutí až mechanická deformace

ENERGETICKÁ NÁROČNOST SVÍTIDEL

ENERGETICKÁ NÁROČNOST

- **Příkon svítidla P_{sv} (W)**
  - Většina SZ mimo žárovek potřebují předřadné přístroje

  = elektrický příkon, který je odebírán z napájecí sítě pro provoz světelných zdrojů a na krytí ztrát v předřadných přístrojích v zapnutém stavu

  - Na štítku udán pouze příkon světelného zdroje
  - **Celkový příkon** – pouze z katalogových listů svítidel

- **Měrný výkon svítidla**

  = poměr světelného toku vyzářeného svítidlem a příkonu svítidla

Provozní účinnost svítidla

$$l = \frac{\Phi_{sv}}{P_{sv}} = \frac{\Phi_z \cdot \eta_{sv}}{P_z + P_p} \qquad (lm/W)$$

Příkon zdrojů

Příkon předřadných zařízení

ÚČINNOST SVÍTIDLA

= jak velké **množství světelného toku** ze všech světelných zdrojů, které jsou instalované ve svítidle, se **vyzáří do okolního prostoru** = **hospodárnost svítidla**

❖ Lze stanovit měřením v laboratoři či výpočtem

Příklad výpočtu

- svítidlo se zrcadlovým reflektorem a otevřené – nedochází k vícenásobnému odrazu

$$\Phi_{sv} = \Phi_p + \rho.\Phi_\rho$$

Světelný tok, který je vyzářen po odrazu na povrchu reflektoru

Světelný tok vycházející přímo ze svítidla

$$\eta_{sv} = \frac{\Phi_{sv}}{\Phi_z} = \frac{\Phi_p + \rho.\Phi_\rho}{\Phi_z} \qquad (-)$$

Platí pro tok **nezávislý na teplotě** → stanovení **optické, provozní či pracovní účinnosti při teplotě provozu**

ÚČINNOST SVÍTIDLA

- **Účinnost**
  - ❖ **Optická**

    = podíl celkového světelného toku svítidla a světelného toku, který vyzařují světelné zdroje uvnitř svítidla. (**Pozor** – světelný tok uvnitř svítidla nelze přesně stanovit.)

$$\eta_{sv} = \frac{\Phi_{sv}}{\Phi_z} \qquad (-)$$

Světelné toky při **stejné teplotě**

  - ❖ **Pracovní R_{LOW}**

    = podíl celkového světelného toku svítidla a součtu jednotlivých světelných toků zdrojů, které svítí s referenčními předřadníky mimo svítidlo za stanovených podmínek.

ÚČINNOST SVÍTIDLA

❖ **Provozní R_{LO}**

= podíl celkového světelného toku svítidla a součtu jednotlivých světelných toků zdrojů, které svítí se stejnými předřadníky mimo svítidlo za stanovených podmínek.

Světelný tok za **teploty ustálené ve zdroji**

$$R_{LO} = \frac{\Phi_{sv}}{\Phi_z} \qquad (-)$$

Světelný tok **při nominální teplotě doporučené a určené výrobcem**

Dolní a horní účinnost svítidla

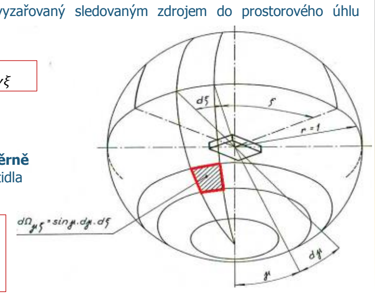
$$R_{DLO} = \frac{\Phi_d}{\Phi_z} \qquad (-) \qquad\qquad R_{ULO} = \frac{\Phi_h}{\Phi_z} \qquad (-)$$

- **Čím je dáno, že provozní účinnost může být větší než 1?**

SVĚTELNÝ TOK VYZAŘOVANÝ SVÍTIDLEM

- Je-li $I_{\gamma\xi}$ svítivost uvažovaného zdroje či svítidla ve směru určeném úhly γ , ξ , pak světelný tok $d\Phi$ vyzařovaný sledovaným zdrojem do prostorového úhlu $d\Omega_{\gamma\xi}$ je:

$$d\Phi = I_{\gamma\xi} \cdot d\Omega_{\gamma\xi}$$



- Světelný tok Φ **nesouměrně** vyzařujícího zdroje resp. svítidla **do celého prostoru**

$$\Phi = \int_0^{4\pi} I_{\gamma\xi} \cdot d\Omega_{\gamma\xi}$$

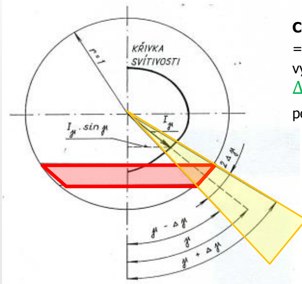
PRAKTICKÉ METODY VÝPOČTU TOKŮ VYZAŘOVANÝCH SVÍTIDLY

✓ **Rotačně souměrná vyzařující svítidla**
- Stačí čára svítivosti v jedné polorovině
  - Metoda pásmových toků
  - Metoda středových úhlů
  - Graficko-početní metoda Rousseauova

✓ **Rotačně nesouměrná vyzařující svítidla**
- čáry svítivosti v několika polorovinách C
- Každá čára I platí v určitém úhlu ξ
- Pro každou čáru se vypočítá tok Φ_i jako pro souměrné svítidlo

$$\boxed{\Phi = \sum_{i=1}^{n} \frac{\Delta\xi_i}{2\pi} \cdot \Phi_i}$$

METODA PÁSMOVÝCH TOKŮ



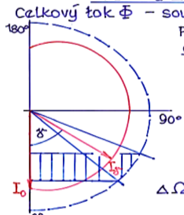
Celkový světelný tok
= součet dílčích pásmových toků $\Delta\Phi_\gamma$, vyzařovaných do prostorových úhlů $\Delta\Omega_\gamma$ vymezených úzkými kulovými pásy podle úhlu γ.

METODA PÁSMOVÝCH TOKŮ

Pásmový tok – vyzářený do prostorového úhlu určeného element. kulovým pásem

$\Delta\Phi = I\,\Delta\Omega$ I = konst.

Celkový tok Φ – součet $\Delta\Phi$



Pro kulový pás

$\Omega = 2\pi(\cos\gamma_1 - \cos\gamma_2)$

$= -4\pi \sin\frac{\gamma_1 - \gamma_2}{2} \sin\frac{\gamma_1 + \gamma_2}{2}$

$\gamma_1 = \gamma - \Delta\gamma$ úhlový interval

$\gamma_2 = \gamma + \Delta\gamma$ $2\Delta\gamma = 10°$

$\Delta\gamma = 5°$

$\Delta\Omega = -4\pi \sin(-\Delta\gamma) \sin\gamma$

$-\sin\Delta\gamma$

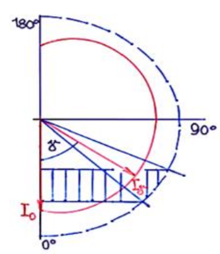
$\Delta\Omega = 4\pi \sin 5° \sin\gamma = 1{,}0952 \sin\gamma_{stř}$

$\gamma_{stř} = 5°, 15°, \ldots 175°$

Pásmový tok $\Delta\Phi_i = I_{stř\,i}\,\Delta\Omega_i = 1{,}0952\, I_{stř\,i} \sin\gamma_{stř\,i}$

Celkový tok $\Phi = 1{,}0952 \sum_{i=1}^{18} I_{stř\,i} \sin\gamma_{stř\,i}$

METODA PÁSMOVÝCH TOKŮ



1) Jednotková kružnice se rozdělí svazkem paprsků po 10°
2) Pro každý prostorový úhel se stanoví **svítivost**
3) Výpočet **střední svítivosti I_s**

   (Aritmetický průměr)
4) Výpočet světelného toku svítidla

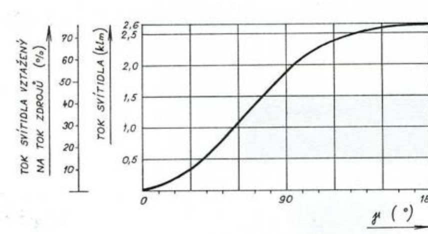
$$\boxed{\Phi = 4\pi \cdot I_s}$$

METODA PÁSMOVÝCH TOKŮ

Δγ [°]		ΔΩ	I_γ [cd]	$\Delta\Phi = I_\gamma \cdot \Delta\Omega$	I_γ [cd]	$\Delta\Phi = I_\gamma \cdot \Delta\Omega$
0 - 10	170 - 180	0,09545	I_5 =	$\Delta\Phi_{0-10}$	I_{175} =	$\Delta\Phi_{170-180}$
10 - 20	160 - 170	0,28346	I_{15} =	$\Delta\Phi_{10-20}$	I_{165} =	$\Delta\Phi_{160-170}$
20 - 30	150 - 160	0,46286	I_{25} =	$\Delta\Phi_{20-30}$	I_{155} =	$\Delta\Phi_{150-160}$
30 - 40	140 - 150	0,62819	I_{35} =	$\Delta\Phi_{30-40}$	I_{145} =	$\Delta\Phi_{140-150}$
40 - 50	130 - 140	0,77444	I_{45} =	$\Delta\Phi_{40-50}$	I_{135} =	$\Delta\Phi_{130-140}$
50 - 60	120 - 130	0,89715	I_{55} =	$\Delta\Phi_{50-60}$	I_{125} =	$\Delta\Phi_{120-130}$
60 - 70	110 - 120	0,99261	I_{65} =	$\Delta\Phi_{60-70}$	I_{115} =	$\Delta\Phi_{110-120}$
70 - 80	100 - 110	1,05790	I_{75} =	$\Delta\Phi_{70-80}$	I_{105} =	$\Delta\Phi_{100-110}$
80 - 90	90 - 100	1,09105	I_{85} =	$\Delta\Phi_{80-90}$	I_{95} =	$\Delta\Phi_{90-100}$
				$\Phi_d = \sum\Delta\Phi_{0-90}$		$\Phi_h = \sum\Delta\Phi_{90-180}$
		světelný tok do		dolního poloprostoru		horního poloprostoru
		celkový sv.tok		$\Phi = \Phi_d + \Phi_h$		

METODA PÁSMOVÝCH TOKŮ

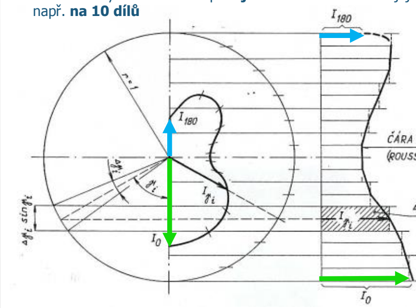
- Postupné sčítání dílčích pásmových toků – **diagram zonálních světelných toků**



Tok do **celého prostoru**, tj. horního i dolního poloprostoru

GRAFICKO-POČETNÍ METODA

- Rotačně souměrně vyzařující zdroje
- Kolem křivky svítivosti se opíše **jednotková kružnice** jejíž průměr se rozdělí např. **na 10 dílů**



- Prostorové úhly ve tvaru kulových pásů

Dílčí světelný tok je úměrný součinu výšky pásma a svítivosti, tj. ploše ΔA_i

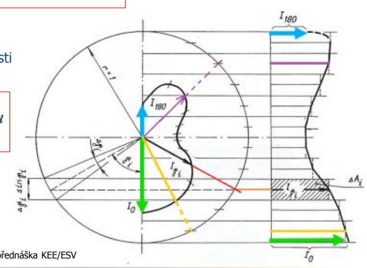
GRAFICKO-POČETNÍ METODA

- Celkový tok je dán součtem dílčích toků

$$\Phi = 2\pi \sum_{i=1}^{n} \Delta A_i = 2\pi \sum_{i=1}^{n} I_{\gamma_i} \,.\, \Delta\gamma_i \,.\, \sin\gamma_i$$

- Pokud je měřítko svítivosti **1 (cm) = u (cd)**

$$\Phi = \frac{2\pi}{r} \left(\sum_{i=1}^{n} \Delta A_i \right) . u$$



SVĚTELNÉ POLE A INTEGRÁLNÍ CHARAKTERISTIKY

SVĚTELNÉ POLE

= část prostoru ve kterém probíhá přenos světelné energie (můžeme prokázat nějakou světelně technickou veličinu)

- **Nezajímají nás silové účinky, ale rozložení světelných toků v prostoru**

Popis světelného pole
- Vlastnosti jsou charakterizovány světelně technickými veličinami, jejichž soubor hodnot vytváří fyzikální světelné pole (můžeme prokázat nějakou fyzikální veličinu)
  - **Veličiny**
    - Funkce bodu (místa) orientovaného směru = v každém bodě určeny hodnotou v každém směru – nekonečně mnoho hodnot např. fotometrická plocha jasu
    - Funkce bodu = každému bodu pole přiřazena jedna hodnota
      - Skalární – osvětlenost vodorovné roviny
      - Vektorová – světelný vektor
- **Fotometrické plochy**
  - **Rozložení jasu** – nejobecnější charakteristika (v každém bodě nekonečně mnoho hodnot a nekonečné množství kontrolních bodů ve fotometrické ploše)
  - **Rozložení osvětlenosti**

SVĚTELNÉ POLE

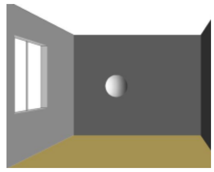
- **Světelný vektor** = jediná vektorová veličina ve světelném poli
- Všechny ostatní veličiny jsou skalární!!!

- Skupina skalární integrálních charakteristik

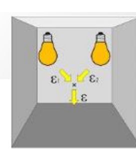
- **Integrální charakteristiky světelného pole**

= veličiny popisující světelné pole jsou označované jako **souhrnné nebo-li integrální** charakteristiky světelného pole

- Souhrnně vystiženy jedinou hodnotou dané veličiny



- Rozlišení 3D předmětů



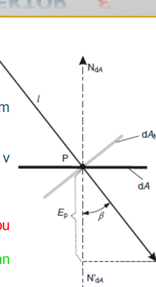
SVĚTELNÝ VEKTOR $\vec{\varepsilon}$

- Analogie Poyntingova vektoru v elektromagnetickém poli

- popisuje **převažující směr světelného toku** v daném bodě prostoru = **směrovost osvětlení**

- **Velikost**
  = energie prošlá za jednotku času jednotkovou plochou kolmou na směr šíření záření
  = rozdíl normálových osvětleností obou stran plošky kolmé ke směru

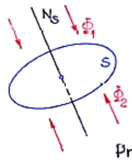
  - Orientovaný směr – směr přenosu světelné energie v daném bodě



SVĚTELNÝ VEKTOR V POLI JEDINÉHO BODOVÉHO ZDROJE

Porovnání s D – přijímací funkce $\vec{\varepsilon}$

$f_P = 1$



Světelný tok prošlý plochou S

$\Phi_P = \Phi_1 - \Phi_2 \qquad \Phi_1 > \Phi_2$

Velikost $\vec{\varepsilon}$

$$|\vec{\varepsilon}| = \frac{\Phi_P}{S} = \frac{\Phi_1}{S} - \frac{\Phi_2}{S} = E_{1S} - E_{2S}$$

Pro kolmou plochu – def.

$$|\vec{\varepsilon}| = E_{1SN} - E_{2SN}$$

Velikost $\vec{\varepsilon}$ v uvažovaném bodě svět. pole – rovna rozdílu normálových osvětleností plochy.

SVĚTELNÝ VEKTOR V POLI JEDINÉHO BODOVÉHO ZDROJE

Světelný vektor v bodě P = normálové osvětlenosti v bodě P

$$|\varepsilon_1| = \varepsilon_1 = \frac{d\Phi}{dA_N} = E_N$$

- Směr vektoru shodný se směrem paprsku
- **Tok světelného vektoru ploškou dA**

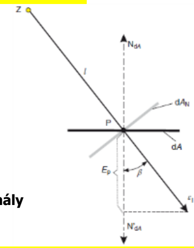
$$d\Phi = \varepsilon_1\, \mathbf{dA} = \varepsilon_1\, dA \cos\beta = E_N\, dA \cos\beta$$

- **Průmět světelného vektoru do směru normály**

= základní zákon pro výpočet osvětlenosti roviny

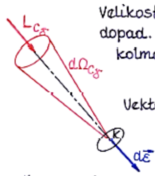
$$\varepsilon_1 \cos\beta = E_N \cos\beta = \frac{d\Phi}{dA} = E_P$$

Průmět světelného vektoru do normály k neosvětlené straně roviny představuje osvětlenost této roviny = **aplikace světelného vektoru.**



SVĚTELNÝ VEKTOR V POLI JEDINÉHO BODOVÉHO ZDROJE

Světelný vektor v **poli několika SZ** je v každém bodě dán **vektorovým součtem** dílčích světelných vektorů charakterizující pole jednotlivých SZ v konkrétním bodě.



Velikost světelné energie v K – rovna dopad. světelnému toku na 1. plochu kolmou k ose $d\Omega_{C\gamma}$

$$d\varepsilon = dE_N = L_{C\gamma}\, d\Omega_{C\gamma}$$

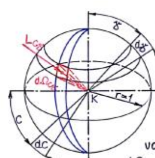
Vektor $d\vec{\varepsilon}$ – směr osy úhlu $d\Omega_{C\gamma}$

Výsledná hodnota $\vec{\varepsilon}$ v K – vektorový součet radiuvektorů plošky – normála se otáčí do všech směrů v prostoru

$$\vec{\varepsilon} = \int_{(4\pi)} dE_N = \int_0^{4\pi} L_{C\gamma}\, d\vec{\Omega}_{C\gamma}$$

$d\vec{\Omega}_{C\gamma}$ – vektor elementárního prostor. úhlu – směr osy úhlu

OBECNÁ INTEGRÁLNÍ CHARAKTERISTIKA



Def.: $D = \lim_{S_P \to 0} \frac{\Delta\Phi}{S_P}$

$\Delta\Phi$ – tok dopad. na povrch přijímací plochy S_P

Elementární prostorový úhel

$d\Omega_{C\gamma} = \sin\gamma\, d\gamma\, dC$

Svět. tok dopad. na jednotkovou plochu kolmou na osu $d\Omega_{C\gamma}$ → normálová osvětlenost

$dE_N = L_{C\gamma}\, d\Omega_{C\gamma}$

Skalární integrální charakteristiky = střední osvětlenosti povrchu různých modelových přijímačů (např. válce, koule, krychle)

Reakce přijímače záření – závisí na směru – charakterizována funkcí f_P – matematicky vyjadřuje přijímací charakteristiku uvažov. přijímače

Svět. tok zhodnocený přijímačem záření

$dE_N f_P = L_{C\gamma}\, d\Omega_{C\gamma} f_P$

Obecná integrální charakteristika

$$D = \int_0^{4\pi} L_{C\gamma} f_P\, d\Omega_{C\gamma}$$

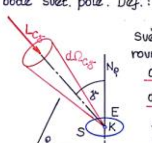
$$D = \int_{\gamma=0}^{\pi} \int_{C=0}^{2\pi} L_{C\gamma} f_P \sin\gamma\, d\gamma\, dC$$

OSVĚTLENOST VODOROVNÉ ROVINY

Nejčastěji využívána – vyhovuje pro hodnocení vlastností svět. pole – při zrakových úkolech rozlišování plochých předmětů na rovnoměrně rozptylně odrážejícím povrchu (čtení, psaní textu)

Náhradním přijímačem záření – elementární vodorovná rovinná ploška – střed v uvažovaném bodě svět. pole. Def.:

$$E = \lim_{S \to 0} \frac{\Delta\Phi}{S}$$



Svět. tok na jednotkovou vodorovnou plochu v bodě K

$dE_K = dE_N \cos\gamma$

$dE_K = L_{C\gamma}\, d\Omega_{C\gamma} \cos\gamma$

Světelné zdroje rozmístěny v celém poloprostoru – výsledná osvětlenost v K

$$E_K = \int_0^{2\pi} L_{C\gamma}\, d\Omega_{C\gamma} \cos\gamma = \int_{\gamma=0}^{\frac{\pi}{2}} \int_{C=0}^{2\pi} L_{C\gamma} \cos\gamma \sin\gamma\, d\gamma\, dC$$

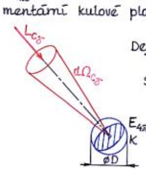
Porovnání s obecnou int. charakteristikou

$f_P = \cos\gamma$

STŘEDNÍ KULOVÁ OSVĚTLENOST $E_{4\pi}$ (lx)

Střední kulová osvětlenost $E_{4\pi}$

$E_{4\pi}$ – střední hodnota osvětlenosti povrchu elementární kulové plochy – střed v uvažovaném bodě svět. pole



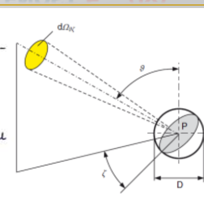
Def.: $E_{4\pi} = \lim_{D \to 0} \frac{\Delta\Phi}{\pi D^2}$

Svět. tok na plošku průmětu kulového přijímače kolmou na osu úhlu $d\Omega_{C\gamma}$

$d\Phi_{4\pi} = dE_N \frac{\pi D^2}{4}$

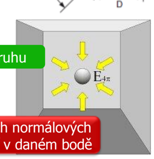
na 1. plochu

Obsah kruhu



$$E_{4\pi} = \frac{1}{4} \int_0^{4\pi} dE_N = \frac{1}{4} \int_0^{4\pi} L_{\vartheta\varsigma}\, d\Omega_{\vartheta\varsigma}$$

Součet všech normálových osvětleností v daném bodě



STŘEDNÍ KULOVÁ OSVĚTLENOST $E_{4\pi}$ (lx)

Střední hodnota osvětlenosti povrchu koule

$$dE_{4\pi} = \frac{d\Phi_{4\pi}}{\pi D^2} = \frac{1}{4}\,dE_N$$

Pro světelné zdroje v celém prostoru – výsledná $E_{4\pi}$ v K

$$E_{4\pi} = \frac{1}{4}\int_0^{4\pi} L_{C\gamma}\,d\Omega_{C\gamma} = \frac{1}{4}\int_{\gamma=0}^{\pi}\int_{C=0}^{2\pi} L_{C\gamma}\sin\gamma\,d\gamma\,dC$$

Porovnání s D – přijímací funkce $E_{4\pi}$

$$f_P = \frac{1}{4}$$

Stř. kulová osvětlenost je rovna $\frac{1}{4}$ algebraického součtu všech normálových osvětleností v daném bodě svět. pole.

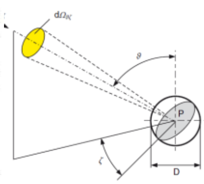
$E_{4\pi}$ se volí při pozorování předmětů s libovolným tvarem pro libovolný směr pohledu pozorovatelů.

$E_{4\pi}$ – v daném bodě pole úměrná objemové hustotě energie – může vystihnout subjektivní pocit dostatečnosti osvětlení.

Další používanou veličinou prostorová osvětlenost E_o

$$E_o = 4\,E_{4\pi}$$

Nezáleží směru dopadu!!!



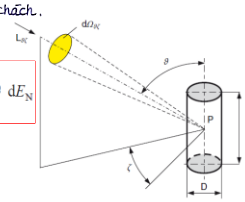
STŘEDNÍ VÁLCOVÁ OSVĚTLENOST E_Z (lx)

E_c – střední hodnota osvětlenosti pláště elementárního válečku umístěného svisle do uvažovaného bodu svět. pole – základny válečku neprůsvitné.

Použití E_c – v prostorech, kde převládají vodorovné směry pohledů pozorovatelů (společenské pr.) a zrakový vjem závisí na velikosti a rozložení jasů a osvětlenosti na svislých plochách.

$$E_Z = \frac{1}{\pi}\int_0^{4\pi}\sin\vartheta\,L_{\vartheta\zeta}\,d\Omega_{\vartheta\zeta} = \frac{1}{\pi}\int_0^{4\pi}\sin\vartheta\,dE_N$$

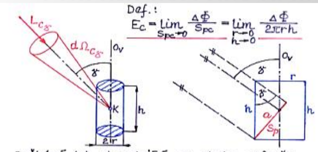
Prostory s převažujícími vodorovnými směry pohledu



STŘEDNÍ VÁLCOVÁ OSVĚTLENOST E_Z (lx)

Def.:

$$E_c = \lim_{S_{pc}\to 0}\frac{\Delta\Phi}{S_{pc}} = \lim_{\substack{r\to 0\\ h\to 0}}\frac{\Delta\Phi}{2\pi r h}$$



Světelný tok dopadající na plochu průmětu pláště válce S_p kolmého na osu úhlu $d\Omega_{C\gamma}$

$a = h\sin\gamma \qquad S_p = 2rh\sin\gamma$

$$d\Phi_c = dE_N\,S_p = L_{C\gamma}\,d\Omega_{C\gamma}\,2rh\sin\gamma$$

na 1. plochu

Stř. hodnota osvětlenosti pláště válce

$$dE_c = \frac{d\Phi_c}{2\pi r h} = \frac{1}{\pi}L_{C\gamma}\,d\Omega_{C\gamma}\sin\gamma$$

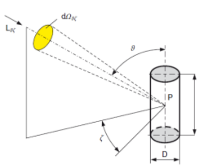
Pro světelné zdroje v celém prostoru – výsledná E_c v K

$$E_c = \frac{1}{\pi}\int_0^{4\pi}L_{C\gamma}\sin\gamma\,d\Omega_{C\gamma} = \frac{1}{\pi}\int_{\gamma=0}^{\pi}\int_{C=0}^{2\pi}L_{C\gamma}\sin^2\gamma\,d\gamma\,dC$$

Porovnání s D – přijímací funkce E_c

$$f_P = \frac{1}{\pi}\sin\gamma$$

$$E_Z = \frac{1}{\pi}\int_0^{4\pi}\sin\vartheta\,L_{\vartheta\zeta}\,d\Omega_{\vartheta\zeta} = \frac{1}{\pi}\int_0^{4\pi}\sin\vartheta\,dE_N$$

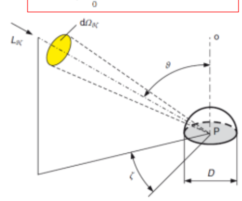


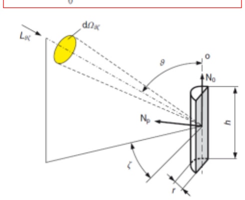
STŘEDNÍ POLOKULOVÁ A STŘEDNÍ POLOVÁLCOVÁ OSVĚTLENOST

Svítidla pro všeobecné osvětlování

$$E_{hs} = \frac{1}{4}\int_0^{4\pi}(1+\cos\vartheta)\,L_{\vartheta\zeta}\,d\Omega_{\vartheta\zeta}$$

$$E_{sz} = \frac{1}{\pi}\int_0^{2\pi}\sin\vartheta\,(1+\cos\zeta)\,L_{\vartheta\zeta}\,d\Omega_{\vartheta\zeta}$$





Příště

VÝPOČTOVÉ METODY