

ZÁKLADY SVĚTELNÉ TECHNIKY

(Kapitola č. 1)



Studijní cíle

- **Popis a vysvětlení zrakového systému a podstaty světla. Zrakové mechanismy.**
- **Základní světelně technické pojmy a veličiny – přehled.**
- **Základní výpočetní vztahy a pojmy. Prostorové rozložení svítivosti.**
- **Světelně technické vlastnosti hmot. Barevné vlastnosti zdrojů a předmětů.**



Klíčová slova

Akomodace, adaptace, zrakový systém, barevné vidění rychlost vnímání, setrvačnost zrakového vjemu, světelný tok, svítivost, jas, barva světla, měrný výkon, oslnění, užitečný život, fyzický život.



Čas potřebný ke studiu

100 minut



Text k prostudování

1.1 Podstata světla, zrakový systém

1.1.1 Podstata světla

Světlo je elektromagnetické záření, které je schopno prostřednictvím zrakového orgánu vzbudit zrakový vjem. Záření lze charakterizovat frekvencí anebo vlnovou délkou. Vlnové délky viditelného světla jsou v rozmezí $(3,8 \text{ až } 7,8) \cdot 10^{-7} \text{ m}$. S viditelným světlem sousedí ultrafialové záření na straně kratších vlnových délek a infračervené záření na straně delších vlnových délek. Ke vzniku světla v současných světelných zdrojích dochází z hlediska druhu dodávané energie a látky, ve které se tato energie mění na světelnou na těchto třech základních principech:

- inkandescencí neboli tepelným buzením vznikajícím při zahřátí pevné látky na vysokou teplotu
- vybuzením atomů v elektrickém výboji
- luminiscencí pevných látek

Typickým představitelem prvního typu světelných zdrojů jsou obyčejné a halogenové žárovky. Dodávanou energií je energie tepelná, vzniklá průchodem elektrického proudu wolframovým vláknem. Druhý typ představují všechny nízkotlaké a vysokotlaké výbojové zdroje, to znamená zářivky, rtuťové, sodíkové, halogenidové a nové typy výbojek popsané v kapitole světelné zdroje. Světlo zde vzniká při nepružných srážkách atomů, iontů a elektronů ve sloupci výboje, který se nachází v elektrickém poli. Třetí typ vzniku světla je založen na principu přeměny záření o kratší vlnové délce například ultrafialového na viditelné záření o delší vlnové délce. Tento jev nastává v tzv. luminoforu, což je u zářivky světlá vrstva látky nanesená na vnitřní povrch trubice. Zářivka bez luminoforu vyzařuje hlavně na vlnové délce $\gamma = 2,53 \cdot 10^{-7} \text{ m}$. Toto záření patří do oblasti ultrafialového záření. Při použití luminoforu se ultrafialové záření transformuje do viditelné oblasti. Zářivka s luminoforem vyzařuje podstatně více světla než zářivka bez luminoforu.

Tab. 1.1 Jednotlivé složky optického záření

Druh záření	Označení	Vlnová délka λ (nm)	Kmitočet f (hz)	Energie W_e (eV)
Ultrafialové	UV-C	100 ÷ 280	$(30 \div 10,7) \cdot 10^{14}$	12,4 ÷ 4,4
	UV-B	280 ÷ 315	$(10,7 \div 9,5) \cdot 10^{14}$	4,4 ÷ 3,9
	UV-A	315 ÷ 380	$(9,5 \div 7,89) \cdot 10^{14}$	3,9 ÷ 3,2
Viditelné	fialová	380 ÷ 430	$(7,89 \div 6,98) \cdot 10^{14}$	3,2 ÷ 2,9
	modrá	430 ÷ 490	$(6,98 \div 6,12) \cdot 10^{14}$	2,9 ÷ 2,5
	zelená	490 ÷ 570	$(6,12 \div 5,26) \cdot 10^{14}$	2,5 ÷ 2,2
	žlutá	570 ÷ 600	$(5,26 \div 5,0) \cdot 10^{14}$	2,2 ÷ 2,0
	oranžová	600 ÷ 630	$(5,0 \div 4,76) \cdot 10^{14}$	2,0 ÷ 1,9
	červená	630 ÷ 780	$(4,76 \div 3,84) \cdot 10^{14}$	1,9 ÷ 1,6
Infračervené	IR-A	780 ÷ 1400	$(3,84 \div 2,14) \cdot 10^{14}$	1,6 ÷ 0,9
	IR-B	1400 ÷ 3000	$(2,14 \div 1,0) \cdot 10^{14}$	0,9 ÷ 0,4
	IR-C	3000 ÷ 10000	$(1,0 \div 0,3) \cdot 10^{14}$	0,4 ÷ 0,12

1.1.2 Zrakový systém, zrakové mechanismy

Viditelné světlo je zpracováno zrakovým orgánem ve zrakový vjem. Proces vnímání je velice složitý, při kterém fyziologické a také psychofyzikální vlivy mají větší vliv než jevy čistě optické. Zrakový orgán je definován jako soubor složený z oka, optických nervových drah, podkorových zrakových center a části mozkové kůry, jenž mění světelný podnět (záření) v komplex nervových podráždění vytvářejících zrakový vjem.

Oko je smyslový orgán obsahující optický aparát a přijímající systém - sítnici, sloužící k vytvoření převráceného, souměrného a neskutečného obrazu. Sítnice je tvořena systémem fotoreceptorů (čípky, tyčinky) a dále velmi složitým systémem neuronů (nervových buněk) a nervových (reléových) spojů, které dopadající obraz registrují, provádějí jeho selekci, užitečnou část informace o obrazu zpřesní a transformují do přenosového systému nervových vláken formou nervových podráždění. Nervová vlákna z celé sítnice se sjednocují ve zrakovém nervu, který vyúsťuje v konečné fázi ve zrakovém mozkovém centru. Centrum nejen pasivně přijímá informace, nýbrž také systémem zpětných vazeb řídí funkci jak optického aparátu oka, tak i sítnice, aby přijímaná informace byla co nejpřesnější a zároveň aby byla oproštěna v co největší míře od rušivých vlivů působících na vstup zrakového ústrojí.

Vidění neboli zrakové vnímání je proces poznávání okolního prostředí. Jedná se o proces příjmu zrakové informace, rozlišení rozdílu (kontrastu) jasů a barev, tvarů, a na základě tohoto identifikace a analýza. To je poznávání předmětů a vztahů mezi nimi a nakonec zařazení do našeho vědomí, buď k okamžitému použití pro danou činnost, nebo k uložení do paměti. **Cílem vidění je tedy poznávání.**

Mezi základní zrakové mechanismy patří akomodace a adaptace.

Akomodace je samovolné přizpůsobení se oka vzdálenosti pozorovaného předmětu. Oko dosahuje akomodací zostření obrazu na sítnici. Akomodace je aktivní proces dosahovaný

nervovou činností, při které se mění zakřivení čočky oka. Nejbližší bod, který může plně akomodované oko vidět ostře se nazývá blízký bod. Tento bod se s přibývajícím věkem vzdaluje a to od 10 cm u dětí do 50 cm u padesátileté osoby.

Adaptace je přizpůsobení se oka různým hladinám osvětlenosti. Oko je schopno vnímat při osvětlenostech od hodnot 0,25 lx až do 10^5 lx. Adaptace je dvojí. Adaptace na tmu trvá až 40 minut. Adaptace na světlo trvá 5 až 7 minut. Optický systém oka je charakterizován ostrostí zobrazení v úrovni sítnice.

Mezi nejznámější vady oka patří krátkozrakost, která se kompenzuje rozptylnými čočkami a dalekozrakost, která se kompenzuje spojnými čočkami. Pokles akomodační schopnosti věkem se nazývá stařecké vidění. Část prostoru, kterou může pozorovatel postřehnout upřeným pohledem bez pohybu oka a hlavy se nazývá **zorné pole**.

Pro posouzení zrakové obtížnosti prováděné práce je důležitý útvar tzv. **kritický detail**, který si oko umísťuje do centra zorného pole. Kritickým detailem je např. u žáka písmeno v sešitě, u hodináře kolečko nebo šroubek v hodinkách atd. Pro přímé rozlišení kritického detailu je rozhodující jeho bezprostřední okolí. Kritický detail s **bezprostředním okolím** tvoří pozorovaný předmět. Okolí navazující na bezprostřední okolí se nazývá **pozadí**, zbývající část zorného pole, která se na rozlišení kritického detailu podílí nepřímo se nazývá vzdálené pozadí. Rozlišení předmětů je založeno na schopnosti zrakového orgánu rozeznat rozdíly jasů rozlišovaných detailů, které musí být dostatečné. **Kontrast jasů** K je definován na základě znalostí jasu rozlišovaného detailu L_a a jasu pozadí L_b dle vztahu:

$$K = \frac{|L_a - L_b|}{L_b} \quad (- ; \text{cd.m}^{-2}, \text{cd.m}^{-2}) \quad (1.1)$$

Nejmenší rozlišitelný rozdíl jasů se nazývá **práh rozlišitelnosti jasů**.

Zrakový orgán není stejně citlivý na záření různých vlnových délek. Největší citlivost oka při dobrém osvětlení je na vlnové délce okolo $5,55 \cdot 10^{-7}$ m. Spektrální citlivost zraku normálního fotometrického pozorovatele je dána křivkou spektrální citlivosti, která je normovaná. Při nočním vidění dochází k posunu křivky z maxima $5,55 \cdot 10^{-7}$ m na hodnotu $5,07 \cdot 10^{-7}$ m.

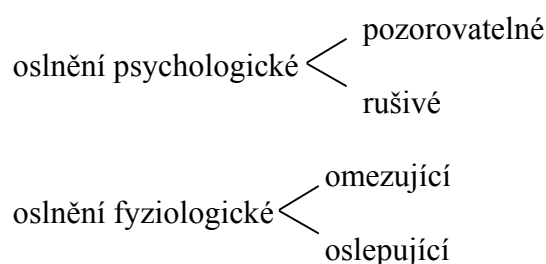
Barevné vidění je schopnost rozlišovat pestré barvy, to znamená barvy, mající barevný tón. Barevné vidění usnadňuje identifikaci barevných předmětů v prostoru a rozšiřuje naše identifikační možnosti. Barevné vidění se vysvětluje tzv. třísloužkovou teorií, to znamená, že v sítnici oka jsou tři různé typy fotoreceptorů, z nichž každý je jinak citlivý na různé vlnové délky. Jeden je citlivý na červenou, druhý na zelenou a třetí na modrou barvu. Všechny ostatní barvy vnímá tím, že dochází k aditivnímu mísení těchto tří základních barev v různých poměrech.

Vyskytují-li se v zorném poli oka příliš velké jasy nebo jejich rozdíly nebo vzniknou-li časové kontrasty jasů, které výrazně překračují meze adaptability zraku vzniká **oslnění**. Oslnění ruší zrakovou pohodu, zhoršuje až znemožňuje vidění.

Podle příčiny se rozlišuje jednak oslnění přímé, způsobené nadměrným jasnem svítících částí svítidel nebo hlavních světelně činných povrchů prostoru (např. stropu a stěn při nepřímém osvětlení), jednak oslnění odrazem, způsobené odrazy svítících ploch na lesklých částech

pozorovaných předmětů a jejich bezprostředního okolí. Při náhlé změně adaptačního jasu (např. při náhlém přechodu z tmavšího do světlejšího prostředí), které se zrakový systém nestačí dostatečně rychle přizpůsobit, dochází k oslnění přechodovému. Zvláštním případem je oslnění závojové, které vzniká, je-li před pozorovaným pozadím prostředí s vyšším jasnem, např. při pozorování přes osvětlenou záclonu, při mlze před světlomety, zrcadlení ve skle a podobně.

Z hlediska světelné techniky je nejdůležitější oslnění kontrastem (relativní oslnění), způsobené tím, že se v zorném poli vyskytnou jasy (např. vlivem primárních či sekundárních zdrojů) příliš vysoké v porovnání s jasnem, na který je zrak adaptován. Podle psychofyzilogických následků se oslnění kontrastem člení na:



Dynamický režim oka souvisí s dvěma mechanismy zrakového orgánu. Jsou to rychlost vnímání a setrvačnost zrakového vjemu.

Rychlost vnímání je dána převrácenou hodnotou doby od vzniku světelného podnětu v zorném poli do jeho uvědomění. Tato doba je především funkcí jasu. Při jasu předmětu v zorném poli $0,15 \text{ cd.m}^{-2}$ je to 1 s, při jasu 1 cd.m^{-2} je to asi 0,5 s a zmenšuje se při zvyšování jasu až do 300 cd.m^{-2} . Toto zjištění je důležité všude tam, kde je třeba rychle reagovat. Rychlost vnímání ovlivňuje také zraková pozornost, kontrast jasů, mění se s fyzickým a duševním stavem atd.

Setrvačnost zrakového vjemu je schopnost adaptačních mechanismů udržet zrakový vjem ještě určitou dobu potom, co světelný podnět skončil. Uvádí se, že např. blesk, který trvá několik μs vyvolá vjem, trávající asi 0,3 s. Mění-li se intenzita světelných podnětů s frekvencí větší než je tzv. frekvence splývání, je zrakový vjem stejný jako při nepřerušovaném světelném podnětu s intenzitou rovnou aritmetickému průměru intenzit přerušovaných podnětů.

Je-li frekvence světelných podnětů nižší než frekvence splývání, může míhající světlo vyvolat nepříjemný pocit, čímž je narušen zrakový vjem. Bylo zjištěno, že rušivost je ovlivněna hlavně amplitudou, tvarem a frekvencí světelných podnětů. Nejvíce ruší frekvence mezi 8–12 Hz. Největší míhání světla v závislosti na kolísání napětí vyvolávají žárovky, následují vysokotlaké výbojky, nejméně míhají zářivky.

1.2 Základní světelnotechnické pojmy a veličiny

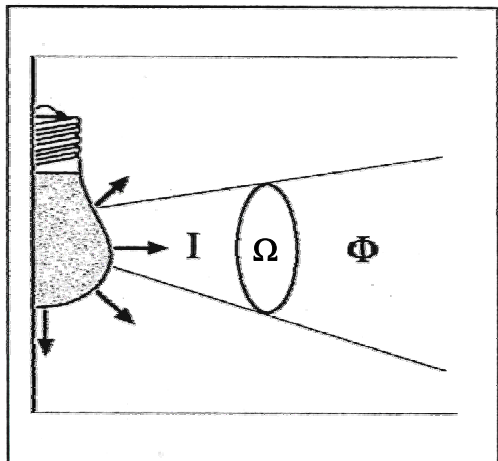
1.2.1 Přehled pojmů a veličin

➤ Světelný tok $[\Phi] = \text{lm}$ (lumen)

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

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

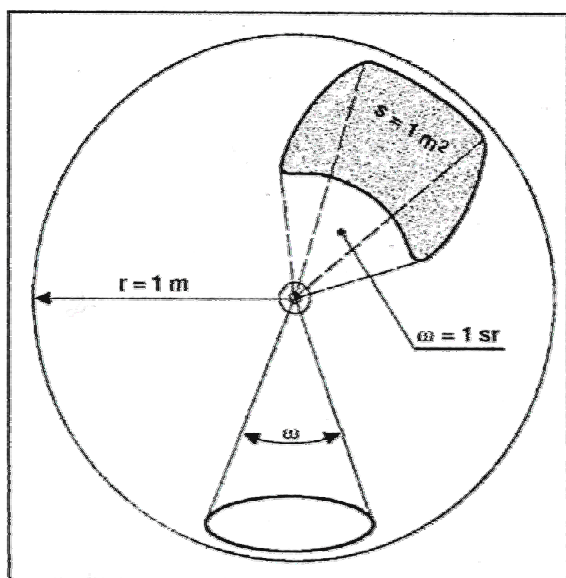
Veličina udává, kolik světelného toku Φ vyžáří světelný zdroj nebo svítidlo do prostorového úhlu Ω v určitém směru.



Obr. 1.2 Definice svítivosti

➤ Prostorový úhel $[\Omega] = \text{sr}$ (steradián)

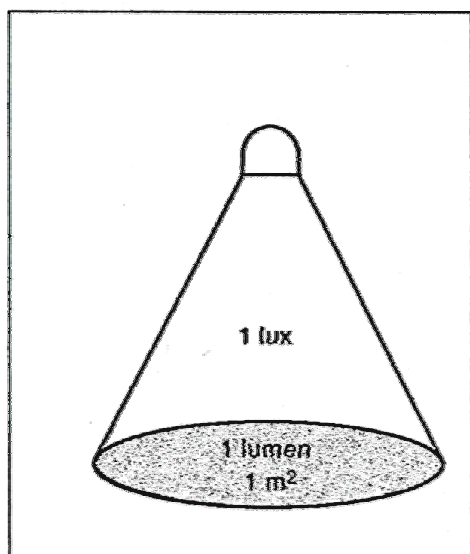
Prostorový úhel je úhel při vrcholu kuželu. Jeho velikost je definována jako poměr kulové plochy A , kterou vyřezává úhel Ω v kulové ploše o poloměru r a druhé mocniny tohoto poloměru ($\Omega = A^2 / r$). Prostorový úhel má hodnotu 1 steradián, když vyřizne z kulové plochy koule o poloměru 1 m plochu 1 m^2 .



Obr. 1.3 Definice prostorového úhlu

➤ Osvětlenost (intenzita osvětlení) $[E] = \text{lx}$ (lux)

Veličina udává, jak je určitá plocha osvětlována, t.j. kolik lm světelného toku dopadá na 1 m^2 .



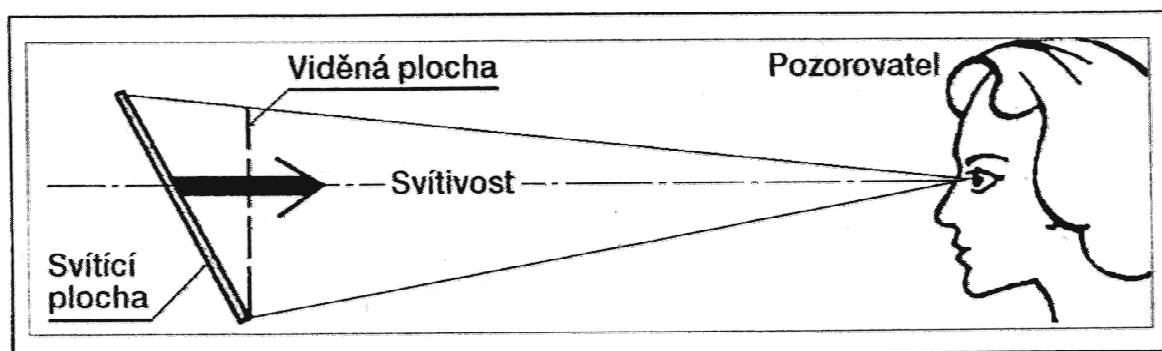
Obr. 1.4 Definice osvětlení

➤ Světlení $[H] = \text{lm} \cdot \text{m}^{-2}$ (lumen na metr čtvereční)

Tato veličina stanovuje velikost světelného toku vycházejícího z plochy.

➤ Jas $[L] = \text{cd} \cdot \text{m}^{-2}$ (kandela na metr čtvereční)

Jas je měřítkem pro vjem světlosti svítícího nebo osvětlovaného povrchu.



Obr. 1.5 Definice jasu

➤ 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, t.j. kolik lm světelného toku se získá z 1 W elektrického příkonu.

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

Teplotou chromatičnosti zdroje je označována ekvivalentní teplota tzv. černého 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 spektrem a teplotou chromatičnosti.

➤ Index barevného podání $[R_a] = -$ (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 barevného podání R_a daný rozsahem $100 \div 0$.

➤ Barva světla

V barvě světla můžeme rozlišovat tři důležité skupiny:

- teple bílá < 3300 K
- neutrální bílá 3300 ÷ 5000 K
- denní bílá > 5000 K

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

➤ Provozní účinnost svítidel

Je důležité kritérium hodnocení svítidla. Udává poměr světelného toku vycházejícího ze svítidla ke světelnému toku zdroje, kterým je svítidlo osazeno. (Pozor na použití svítidla pro jiný zdroj, než pro který bylo určeno, může dojít ke snížení účinnosti.)

➤ Činitel využití

Je důležitý pro hodnocení celkové účinnosti osvětlovací soustavy. V případě venkovního osvětlení je ho možno definovat jako poměr užitečného světelného toku, (který dopadá na plochu, kterou chceme osvětlovat) k toku světelných zdrojů. Činitel využití v tomto pojetí tak zahrnuje jak provozní účinnost svítidel, tak směřování světelného toku soustavy do užitečného směru.

➤ Oslnění

Vyskytují-li se v zorném poli oka příliš velké jasy nebo jejich rozdíly, popřípadě vzniknou-li velké prostorové či časové kontrasty jasů, které významně překračují meze adaptability zraku, vzniká oslnění. Oslnění je tedy nepříznivý stav zraku, k němuž dochází, je-li sítnice nebo její část vystavena jasů vyššímu, než na jaký je oko adaptováno. Oslnění je tím větší, čím větší je jas oslňujícího zdroje ve srovnání s jasnem adaptačním, čím větší je prostorový úhel, pod kterým je z daného místa oslňující zdroj vidět. Dále záleží na poloze oslňujícího zdroje vzhledem k ose pohledu pozorovatele. Oslnění hodnotíme indexem oslnění, eventuálně činitelem oslnění.

➤ Život světelného zdroje

Život světelného zdroje je doba funkce zdroje do okamžiku, kdy přestal splňovat stanovené požadavky. Obvykle se vyjadřuje v hodinách. V průběhu činnosti probíhají ve světelném zdroji různé procesy, které způsobují postupné změny jeho parametrů, a určují tak možnosti jeho funkce. V této souvislosti se používá pojem užitečný a fyzický život. Ukazatelem je křivka úmrtnosti, která udává, kolik zdrojů z daného souboru svítí v časovém průběhu až do 50% výpadků.

Užitečný život je doba funkce zdroje, během níž si jeho parametry zachovávají hodnoty ležící v určitých stanovených mezích. Např. u zářivek je užitečný život definován jako doba, během níž neklesne jejich světelný tok pod 70% počáteční hodnoty.

Fyzický život je celková doba svícení do okamžiku úplné ztráty provozuschopnosti (např. u žárovek do přerušení vlákna, u výbojek do ztráty schopnosti zapálit výboj).

1.2.2 Základní výpočetní vztahy a pojmy

- Měrný (světelný) výkon

$$\eta = \frac{\Phi}{P} \quad (\text{lm} \cdot \text{W}^{-1}; \text{lm}, \text{W}) \quad (1.2)$$

Φ ...světelný tok

P ...elektrický příkon

U zdrojů bez předřadníků to znamená žárovek je výkon zdroje totožný s příkonem svítidla, u zdrojů s předřadníkem jako jsou zářivky anebo výbojky je nutno k příkonu světelného zdroje přičíst příkon předřadníku. Např. jednotrubicové svítidlo s zářivkou 36 W bude mít při klasickém předřadníku příkon asi o 5 W vyšší, to je 41 W. Navýšení příkonu pokrývá ztráty v předřadníku (tlumivce).

- Svítivost

$$I = \frac{\Phi}{\Omega} \quad (\text{cd}; \text{lm}, \text{sr}) \quad (1.3)$$

Ω ...prostorový úhel

- Osvětlenost (intenzita osvětlení)

$$E = \frac{\Phi}{A} \quad (\text{lx}; \text{lm}, \text{m}^2) \quad (1.4)$$

A ...osvětlená plocha

- Jas

$$L = \frac{I}{S_p} \quad (\text{cd} \cdot \text{m}^{-2}; \text{cd}, \text{m}^2) \quad (1.5)$$

S_p ...viděná svítící plocha

- Světlení

$$H = \frac{\Phi_v}{A_v} \quad (\text{lm} \cdot \text{m}^{-2}; \text{lm}, \text{m}^2) \quad (1.6)$$

Φ_v ...světelný tok vyzářený svítidlem

A_v ...plocha, ze které světelný tok vyzařuje

- Celková rovnoměrnost osvětlenosti (jasů)

$$\frac{E_{\min}}{E_p} \approx \frac{L_{\min}}{L_p} \quad (1.7)$$

- Podélná rovnoměrnost jasů

$$\frac{L_{\min}}{L_{\max}} \quad (1.8)$$

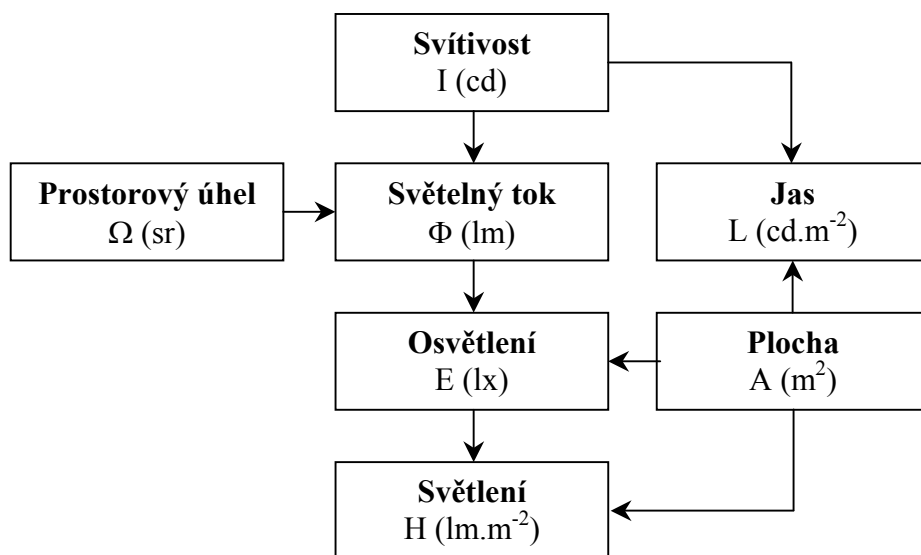
E_{\min} ... minimální osvětlenost v poli kontrolních bodů

E_p ... průměrná osvětlenost v poli kontrolních bodů

L_{\min} ... minimální jas v poli kontrolních bodů

L_p ... průměrný jas v poli kontrolních bodů

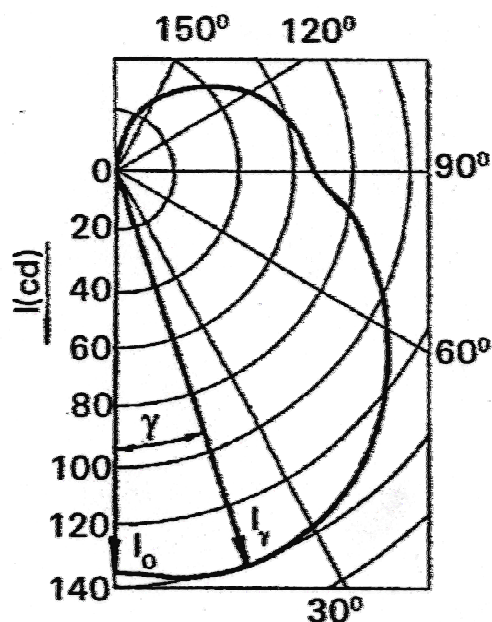
L_{\max} ... maximální jas v poli kontrolních bodů



Obr. 1.6 Soustava fotometrických veličin

1.2.3 Prostorové rozložení svítivosti

Ve světelné technice potřebujeme znát při výpočtech osvětlení svítivosti v různých směrech. Prostorové rozložení svítivosti určujeme pomocí fotometrických ploch svítivosti.



Obr. 1.7 Příklad čáry svítivosti v polárních souřadnicích

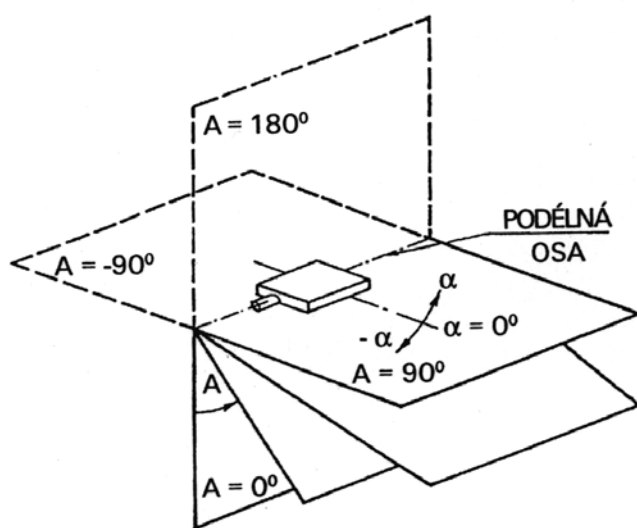
Fotometrická plocha svítivosti je plocha, která vznikne tak, že se zjistí hodnoty svítivosti zdroje světla ve všech směrech prostoru a nanese se prostorově od bodu zdroje jako radiusvektory. Spojením všech koncových bodů těchto radiusvektorů dostaneme zmíněnou fotometrickou plochu svítivosti. Při výpočtech obvykle postačuje znát jen některé řezy touto plochou, a to rovinami procházejícími bodovým zdrojem. V rovinách řezů se takto dostanou čáry (křivky) svítivosti v polárních souřadnicích např. viz obr. 1.7. Počátek diagramu svítivosti se umísťuje do tzv. světelného středu zdroje či svítidla (můžeme si jej představit jako bod, do něhož je soustředěn uvažovaný zdroj). Základní či vztahový směr diagramu svítivosti, od něhož se měří úhly, se obvykle umísťuje do normály k hlavní vyzařovací ploše zdroje či svítidla. Jednotlivé čáry svítivosti se získávají měřením na speciálních zařízeních (goniofotometrech) a výrobci svítidel, popř. zdrojů je uvádějí v dokumentaci.

Čáry svítivosti se obvykle udávají v určitých polorovinách vybraných z některých ze tří typů svazků rovnoběžných rovin, jejichž průsečnice (osa svazku) prochází světelným středem svítidla, popř. zdroje. Na Obr. 1.8, 1.9, 1.10 jsou znázorněny soustavy fotometrických polorovin A- α , B- β , C- γ doporučených Mezinárodní komisí pro osvětlování CIE. Nejčastěji se používá svazek polorovin C- γ , jehož osa je kolmá k hlavní vyzařovací ploše svítidla či zdroje. V některých případech je však výhodnější využít čáry svítivosti v polorovinách ze svazku rovin, jehož osa je totožná s podélnou (A- α), popřípadě s příčnou (B- β) osou svítidla.

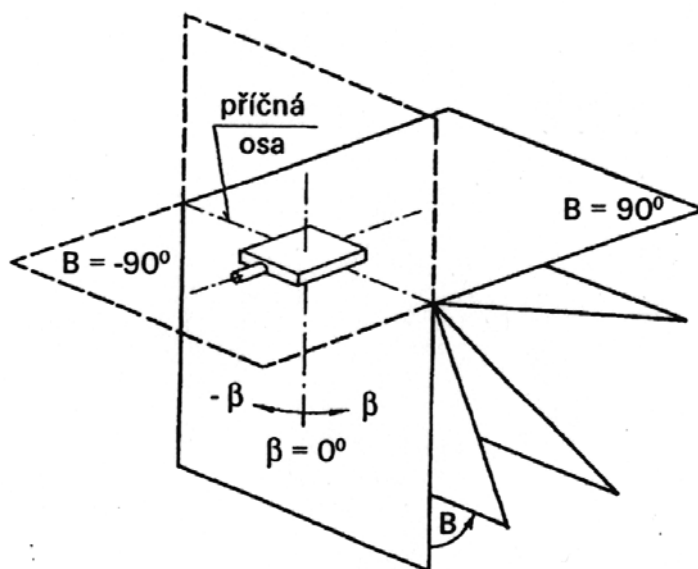
Aby čáry svítivosti svítidel udávané v katalogích byly nezávislé na skutečném světelném toku použitých zdrojů svítidel, přepočítávají se diagramy svítivosti na světelný tok 1000 lm.

Skutečná svítivost I_γ svítidla se zdrojem, jehož tok je Φ_z , se určí vynásobením svítivosti I_γ' přečtené z diagramu svítivosti pro 1000 lm poměrem $\Phi_z / 1000$.

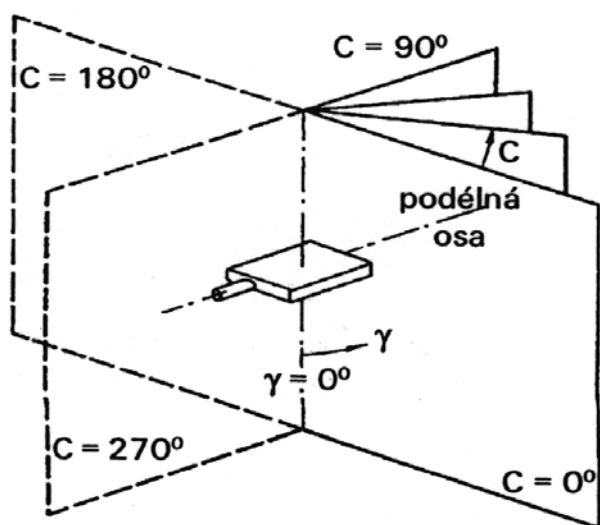
Prostorové rozložení svítivosti by bylo možné znázornit také popsáním bodů na povrchu jednotkové koule hodnotami svítivosti odpovídajícími směru spojnice světelného středu s daným bodem na povrchu koule (střed koule je ve světelném středu uvažovaného zdroje). Poloha jednotlivých bodů na povrchu koule, a tím i uvažovaný směr v prostoru, se určuje v síti rovnoběžek a poledníků. Spojením bodů stejných hodnot svítivosti na povrchu koule vzniknou čáry nazývané izokandely. Nakreslením sítě izokandel se získá izokandelový diagram. Praktická realizace prostorové souřadnicové soustavy je však obtížná. Výhodnější je využít některého ze způsobů zobrazení povrchu koule, popř. polokoule v rovině.



Obr. 1.8 Soustava fotometrických polorovin systému A- α



Obr. 1.9 Soustava fotometrických polorovin systému B- β



Obr. 1.10 Soustava fotometrických polorovin systému C- γ

1.2.4 Osvětlenost (intenzita osvětlení) bodového zdroje

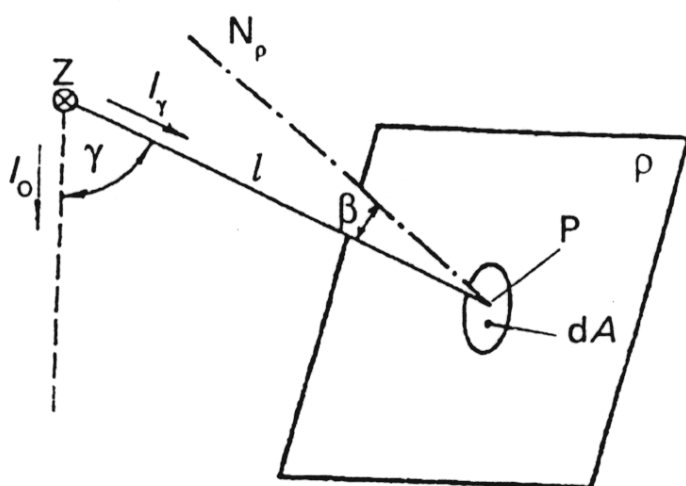
Osvětlenost bodového zdroje (žárovky nebo výbojky) lze vypočítat pomocí čtvercového a kosinového zákona viz obr. 2.10 dle následujícího vztahu:

$$E_{p\rho} = \frac{I_{\gamma} \cdot \cos \beta}{l^2} \quad (\text{lx; cd, m}) \quad (1.9)$$

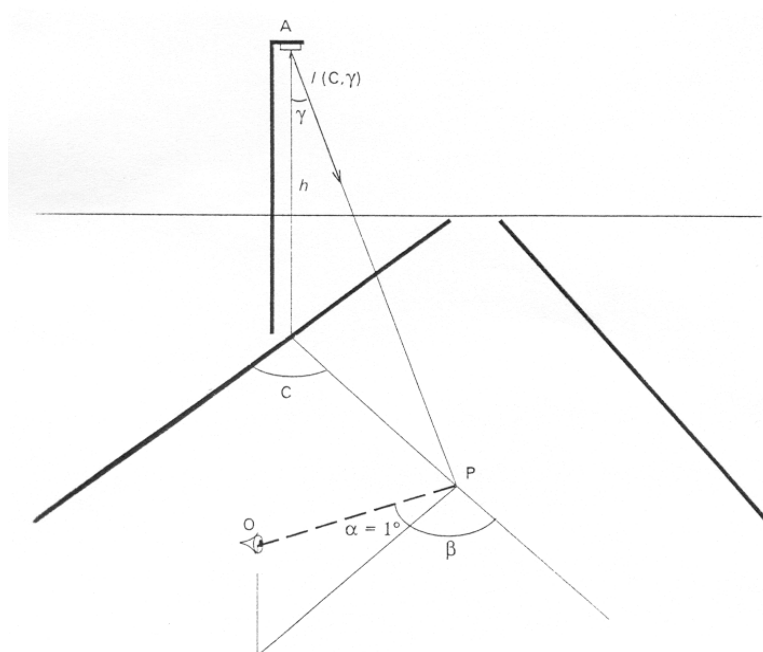
Osvětlenost lze považovat při navrhování osvětlovacích soustav za nejdůležitější veličinu, protože počet luxů pro jednotlivé pracovní činnosti a prostory jsou předepsány v normách a pro projektanty jsou tyto hladiny osvětlenosti závazné.

Pro výpočet horizontální osvětlenosti v kontrolním místě P viz Obr. 2.11 platí vztah:

$$E_p = \frac{I_{(C,\gamma)}}{h^2} \cdot \cos^3 \gamma \quad (\text{lx; cd, m}) \quad (1.10)$$



Obr. 1.11 Osvětlenost od bodového zdroje



Obr. 1.12 Výpočet horizontální osvětlenosti komunikace v bodě P

1.2.5 Světelně technické vlastnosti hmot

Světelný tok Φ , který dopadá na povrch nějakého tělesa se od tohoto povrchu částečně odrazí Φ_ρ , částečně projde Φ_τ a část tohoto toku je tělesem pohlcena Φ_α . Činitelé odrazu ρ , propustnosti τ a pohlcení α jsou dáni vztahy:

$$\rho = \frac{\Phi_\rho}{\Phi} \quad (-; \text{lm, lm}) \quad (1.11)$$

$$\tau = \frac{\Phi_\tau}{\Phi} \quad (-; \text{lm, lm}) \quad (1.12)$$

$$\alpha = \frac{\Phi_\alpha}{\Phi} \quad (-; \text{lm, lm}) \quad (1.13)$$

1.2.6 Barevné vlastnosti zdrojů a předmětů

Světlo vybuzuje nejen zrakový vjem, ale také barevný počitek. Barevné vlastnosti primárních zdrojů se označují názvem **chromatičnost**, barevné vlastnosti sekundárních zdrojů se označují názvem **kolorita**. Záření každé vlnové délky viditelného světla budí zcela určitý barevný počitek. Každému barevnému počítku odpovídá určitá spektrální barva, kterou popisujeme **barevným tónem**. Jednotlivé barevné tóny viditelného (bílého) světla se nacházejí v následující tabulce:

Tab. 1.2 Barevné tóny viditelného světla

Vlnová délka λ (nm)	Barevný tón spektrální barvy
380 ÷ 420	Fialová
420 ÷ 440	Modrofialová
440 ÷ 460	Modrá
460 ÷ 510	Modrozelená
510 ÷ 560	Zelená
560 ÷ 590	Žlutá
590 ÷ 650	Oranžová
650 ÷ 780	Červená

Barvy, které mají barevný tón jsou barvy pestré, ostatní jsou barvy nepestré. Nepestré barvy nemají barevný tón a tvoří spojitou řadu od bílé až po černou. Ke specifikaci barev se používají trichromatické soustavy a teplota chromatičnosti, Munsellův atlas se používá k určování kolority. Z praktického hlediska je důležitý pojem **podání barev**. Vjem barev určitého předmětu je podmíněn jednak spektrálním složením záření světelného zdroje osvětlujícího předmět a jednak spektrálním činitelem odrazu anebo prostupu pozorovaného předmětu.



Kontrolní otázky k teoretické části

- 1) Definujte pojmy měrný světelný výkon, osvětlenost a svítivost. (2 body)
- 2) Vyjádřete vztah pro osvětlenost bodového zdroje + obrázek. (2 body)
- 3) Vysvětlete pojem čtvercův zákon a kosinovu funkci. (2 body)
- 4) Jaké jsou světelně technické vlastnosti hmot? (1 bod)



Kontrolní otázky k praktické části

- 1) Určete Ω čtvercové podlahy o straně 6 m pro svítidlo, které se nachází uprostřed místnosti ve výšce $h = 4$ m. Svítivost zdroje $I = 300$ cd. Vypočítejte světelný tok dopadající na podlahu a stanovte **střední osvětlenost** podlahy. (3 body)
- 2) Koule z vrstveného skla má průměr $d = 30$ cm. V kouli je žárovka $P = 200$ W, se světelným tokem $\Phi_z = 2740$ lm. **Světelná účinnost svítidla** je $\eta = 70$ %. Předpokládáme rovnoměrný rozptyl a jas.
Určete: Φ , I_0 , M , L ! (3 body)



Shrnutí

Nové poznatky a pojmy

- Stručný přehled základů světelné techniky.
- Základní pojmy a výpočetní vztahy.
- Barevné vlastnosti zdrojů a povrchů, světelně technické vlastnosti hmot.



Klíč k otázkám k teoretické části

Ad 1)

- Měrný (světelný) výkon

$$\eta = \frac{\Phi}{P} \quad (\text{lm} \cdot \text{W}^{-1}; \text{lm}, \text{W})$$

Φ ...světelný tok

P ...elektrický příkon

- Svítivost

$$I = \frac{\Phi}{\Omega} \quad (\text{cd}; \text{lm}, \text{sr})$$

Ω ...prostorový úhel

- Osvětlenost (intenzita osvětlení)

$$E = \frac{\Phi}{A} \quad (\text{lx}; \text{lm}, \text{m}^2)$$

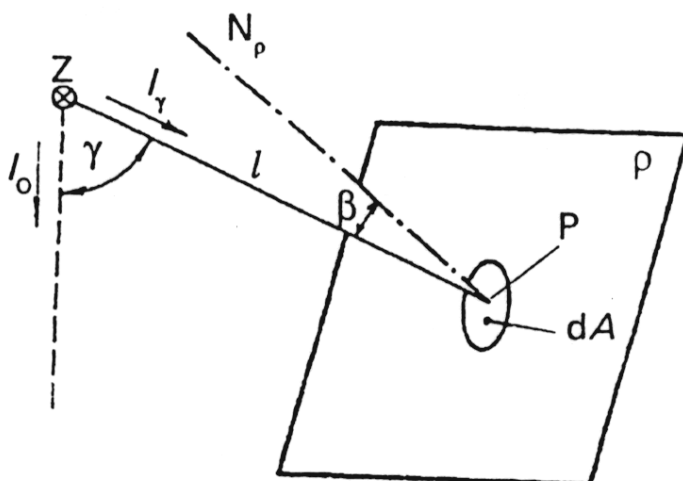
A ...osvětlená plocha

(2 body)

Ad 2)

Osvětlenost bodového zdroje (žárovky nebo výbojky) lze vypočítat pomocí čtvercového a kosinového zákona dle následujícího vztahu:

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



Osvětlenost od bodového zdroje

(2 body)

Ad 3)

- Čtvercův zákon zohledňuje vlastnost světelného paprsku, že hodnota osvětlenosti klesá se čtvercem vzdálenosti.
- Kosinova funkce se používá pro zohlednění směru vyzařovaného paprsku, nebo u makloněných rovin atd.

(2 body)

Ad 4)

Světelný tok Φ , který dopadá na povrch nějakého tělesa se od tohoto povrchu částečně odrazí Φ_ρ , částečně projde Φ_τ a část tohoto toku je tělesem pohlcena Φ_α . Činitelé odrazu ρ , propustnosti τ a pohlcení α jsou dáni vztahy:

$$\rho = \frac{\Phi_\rho}{\Phi} \quad (-; \text{lm}, \text{lm})$$

$$\tau = \frac{\Phi_\tau}{\Phi} \quad (-; \text{lm}, \text{lm})$$

$$\alpha = \frac{\Phi_\alpha}{\Phi} \quad (-; \text{lm}, \text{lm})$$

(1 bod)



Klíč k otázkám k praktické části

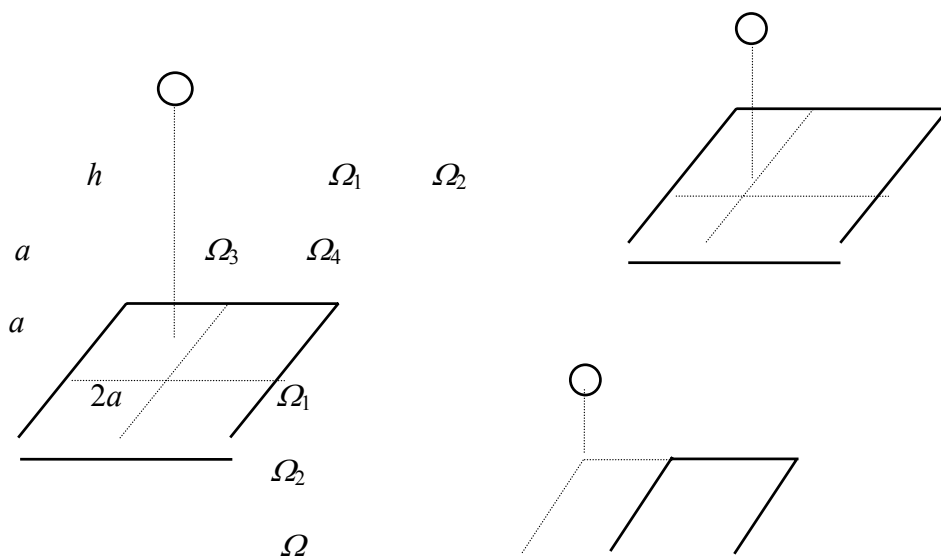
Ad 1)

$$\Omega = 4 \cdot \operatorname{arctg} \frac{a^2}{h \cdot \sqrt{a^2 + a^2 + h^2}} = 4 \cdot \operatorname{arctg} \frac{3^2}{4 \cdot \sqrt{2 \cdot 3^2 + 4^2}} = 1,47 \text{ sr}$$

je-li svítidlo mimo střed je $\Omega = \Omega_1 + \Omega_2 + \Omega_3 + \Omega_4$

je-li mimo půdorys a v ose je $\Omega = \Omega_1 - \Omega_2$

$$\Phi = I \cdot \Omega = 300 \cdot 1,47 = 441 \text{ lm} \quad \text{a} \quad E = \Phi / S = 441 / 6^2 = 12,25 \text{ lx}$$



(3 body)

Ad 2)

$$\Phi = \Phi_z \cdot \eta = 2740 \cdot 0,7 = 1920 \text{ lm} \quad I_0 = \Phi / 4\pi = 1920 / 4\pi = 153 \text{ cd}$$

$$M = \Phi / S = I_0 / r^2 = 153 / 0,15^2 = 6780 \text{ lm/m}^2$$

$$L = M / \pi = 6780 / \pi = 2160 \text{ cd/m}^2$$

$$L = I_0 / (\pi \cdot r^2) = \Phi / (4 \cdot \pi^2 \cdot r^2) = M / \pi$$

(3 body)