

11. BODOVÁ METODA VÝPOČTU PARAMETRŮ OSVĚTLENÍ

Z hlediska osvětlovací soustavy rozhoduje o jakosti osvětlení v daném místě prostoru rozložení jasu popsané fotometrickou plochou jasu. Vyšetřování fotometrických ploch jasu, které vystihují vlastnosti světelného pole v každém jeho bodě ne jednou, ale mnoha hodnotami, je prakticky neuvěřitelné. Proto se věnuje pozornost integrálním charakteristikám světelného pole, které každému bodu pole přiřazují jednoznačně jen jedinou hodnotu. Do skupiny skalárních integrálních charakteristik patří i osvětlenost rovinné plochy. Tato charakteristika je dosud nejrozšířenější normovanou veličinou, vhodnou ovšem pouze k popisování vlastností osvětlovací soustavy v těch případech, kdy je možno: se omezit na zkoumání rozložení světelného toku na rovinné ploše. V obecnějších situacích je třeba využít i dalších charakteristik, a to kromě světelného vektoru zejména střední kulové a válcové osvětlenosti. Výpočtem integrálních charakteristik světelného pole v řadě bodů osvětlovaného prostoru se získává úplnější a přehlednější obraz o rozložení hladin sledované veličiny a tedy i o její rovnoměrnosti v uvažovaném prostoru. Současně to dovoluje zjistit i poměry světelného vektoru ke střední kulové, či válcové osvětlenosti, tedy hodnoty činitele podání tvaru, a získat tak podrobnější informace o vytvoření podmínek pro kvalitní vjem trojrozměrných předmětů.

Bodovou metodou se v určitém kontrolním místě nejčastěji stanovují hodnoty integrálních charakteristik odpovídající světelným tokům dopadajícím do okolí kontrolního bodu přímo z uvažovaných svítidel či zdrojů, to značí tzv. přímé složky charakteristik. Například se v poli jednotlivých svítidel počítají hodnoty osvětlenosti, a to v bodech různých pracovních rovin, ať již vodorovných, svislých či nakloněných. Bodovou metodou je však možno vypočítat i nepřímé složky charakteristik, odpovídající světelným tokům, které jsou výsledkem procesu mnohonásobných odrazů a které vysílají tzv. sekundární zdroje, např. strop a stěny daného prostoru. Jasy těchto zdrojů se určují na podkladě výsledků získaných při řešení mnohonásobných odrazů, popřípadě i přibližně tokovou metodou (viz odst.10.5). Při výpočtech se pak většinou předpokládá, že sekundární zdroje, zvláště pokud jde o strop a stěny prostoru, vyzařují rovnoměrně rozptýlně.

Výpočet osvětlenosti v bodech srovnávací roviny či pracovních rovin ve vnitřním prostoru se podle normy ČSN EN 12464-1 (Světlo a osvětlení – osvětlení pracovních prostorů, část 1 – Vnitřní pracovní prostory) provádí ve všech místech, kde jsou hlavní předměty zrakové činnosti, tedy v místech zrakových úkolů. Střední kulová či válcová osvětlenost, světelný vektor a činitel podání tvaru se stanovují v kontrolních bodech umístěných 1,5 m nad podlahou a 1 m od každé ze stěn v polovině délky stěny.

Kontrolní místa na komunikacích se rozmísťují ČSN EN 13201 (Osvětlování pozemních komunikací, část 2 – Požadavky; část 3 – Výpočet) tak, aby pokrývala celou plochu jednoho prvku osvětlovací soustavy. Přitom v příčném směru stačí uvažovat tři kontrolní body v každém jízdním pruhu. Z toho plyne, že je-li šířka komunikace b , pak vzdálenost mezi dvěma kontrolními místy v příčném směru je $b/6$. Vzdálenost prvního kontrolního bodu od okraje vozovky se přitom uvažuje rovna $b/12$. V podélném směru, při rozteči světelných míst do 50 m, je dostačující počítat s deseti kontrolními místy. Je-li rozteč svítidel větší než 50 m, smí být vzdálenost mezi sousedními kontrolními body nejvýše 5 m.

Při kontrolním výpočtu jasu povrchu komunikace se postupuje podle zmíněné normy, kde jsou v souladu s doporučením CIE odrazné vlastnosti povrchů vozovek popsány redukovaným součinitelem jasu r , jehož hodnoty jsou v citované normě tabelovány v závislosti na typu povrchu vozovky a na vzájemném umístění pozorovatele, svítidla a kontrolního místa. Hledaná hodnota jasu povrchu komunikace se v daném bodě vypočte tak, že se poměr svítivosti svítidla ve směru ke kontrolnímu bodu a čtverce výšky zavěšení svítidla vynásobí hodnotou zmíněného redukovaného součinitele jasu r .

Vyzařování zdrojů světla a svítidel se při světelně technických výpočtech charakterizuje rozložením svítivosti. Tato veličina je však definována pouze pro zdroj (svítidlo), jehož rozměry se blíží k nule, tedy pro bodový zdroj. Ve skutečnosti však každé svítidlo, či světelný zdroj zaujímá určitý objem, má určité rozměry, a to způsobuje chybu výpočtu. Aby se tato chyba omezila, rozdělují se svítidla (zdroje) podle poměru jejich rozměrů ke vzdálenosti od kontrolního místa na zdroje či svítidla bodového, přímkového, plošného, popřípadě i objemového typu. Pro jednotlivé typy zdrojů jsou propracovány různé způsoby výpočtu sledovaných veličin.

Jsou-li tedy rozměry svíticího povrchu zdroje, resp. svítidla prakticky zanedbatelné v porovnání se vzdáleností od osvětlovaného okolí kontrolního bodu, považujeme takový zdroj za **bodový zdroj** (svítidlo bodového typu). Je-li největší rozměr svíticí plochy menší než jedna pětina vzdálenosti zdroje od nejbližšího kontrolního bodu, klesne chyba řešení pod 5%. Vztahy, které jsou odvozeny pro výpočet integrálních charakteristik v poli bodového zdroje, jsou jednoduché a proto je snadná i jejich praktická aplikace. Podmínky pro výpočty s bodovým zdrojem jsou dobře splněny při osvětlování venkovních prostorů svítidly upevněnými na stožárech či zavěšenými na převěsech, ale také při osvětlování vnitřních prostorů, např. průmyslových hal, svítidly se rtuťovými či sodíkovými vysokotlakými výbojkami, popřípadě s výbojkami halogenidovými, resp. i se žárovkami a v řadě dalších situací.

Použije-li se pro osvětlení vnitřních prostorů zářivkových svítidel, zvláště instaluje-li se několik zářivkových svítidel za sebou do řady, nelze již délku svíticí plochy svítidel zanedbat ve srovnání se vzdáleností od kontrolního bodu a pro výpočet integrálních charakteristik je nutno použít vztahů odvozených pro **přímkové zdroje**. Běžně je tomu již tehdy, kdy největší rozměr svíticí plochy svítidla je nejméně roven jedné pětině (výjimečně třetině) vzdálenosti od nejbližšího kontrolního bodu a ostatní rozměry svíticích částí svítidla jsou v porovnání s touto vzdáleností zanedbatelné.

Jako s přímkovými zdroji se v praxi nejčastěji pracuje se svítidly s běžnými lineárními zářivkami. Vyzařování těchto svítidel se obvykle popisuje křivkami svítivosti, změřenými na goniofotometrech s dostatečně velkou fotometrickou vzdáleností. V praxi se ovšem ukázalo, že v případech, kdy délka přímkového zdroje je větší než polovina výšky zavěšení svítidla nad výpočtovou rovinou, neplatí již údaje o svítivosti svítidel a tudíž neodpovídají skutečnosti ani výsledky výpočtů se vztahy platnými pro přímkové zdroje. V takové situaci je nutno určit sledované veličiny měřením a na základě výsledků experimentů vypracovat například izoluxní plány apod.

V osvětlovací praxi se dále často setkáváme se svítidly, u nichž ve srovnání se vzdáleností zdroje od kontrolního bodu nelze zanedbat ani délku ani šířku vyzařovací plochy svítidel. V takových případech se k výpočtu charakteristik použijí vztahy odvozené pro **plošné** zdroje. Nejčastěji má vyzařovací plocha tvar obdélníku nebo kruhu. Za plošný zdroj se považuje takové svítidlo, u kterého délka i šířka vyzařovací plochy je nejméně rovna jedné pětině (výjimečně třetině) vzdálenosti středu zdroje od nejbližšího kontrolního místa a případný třetí rozměr vyzařovací části svítidel je vzhledem k uvedené vzdálenosti zanedbatelný. V praxi jsou svítidla plošného typu zcela běžná. Jde např. o světelné stropy, ať již s rozptylnými kryty, nebo tvořenými mřížkovými systémy, popřípadě již i o vaničková zářivková svítidla 4x40 W různého provedení. Do této skupiny plošných zdrojů však patří i běžný strop nebo stěny místnosti jako sekundární zdroje světla. Vyzařování plošných zdrojů se charakterizuje rozložením jasu do různých směrů prostoru, ale také na samotné vyzařovací ploše zdroje. Zde je třeba poznamenat, že výrobci zářivkových svítidel plošného typu udávají v katalogích i v těchto případech diagramy svítivosti. Pokud je pak některý z rozměrů svíticí plochy zdroje větší než polovina výšky zavěšení svítidla nad srovnávací rovinou, údaje o svítivosti již neplatí a sledované charakteristiky je třeba zjišťovat měřením, podobně jak jsme se již zmínili u zdrojů přímkového typu.

Ovládnutí bodové metody řešení integrálních charakteristik světelného pole v poli bodového, přímkového, obdélníkového a popřípadě i kruhového zdroje je důležitým předpokladem ke zvládnutí problematiky navrhování a kontroly osvětlovacích soustav, a to včetně využívání střední kulové a válcové osvětlenosti jako nových ukazatelů jakosti osvětlovacích soustav.

11.1 Integrovní charakteristiky v poli svítidla bodového typu

Vyzařování bodového zdroje se popisuje fotometrickou plochou svítivosti zdroje, resp. křivkami svítivosti v rovinách řezů touto plochou procházejících světelným středem daného zdroje či svítidla. Pro rotačně souměrně vyzařující svítidlo stačí udát pouze jedinou křivku svítivosti, a to v polorovině osového rovinného řezu jeho rotační plochou svítivosti. U nesouměrně vyzařujících svítidel se udávají křivky svítivosti nejméně dvě, a to obvykle v rovinách proložených podélnou a příčnou osou svítidla. V posledních letech, zvláště u nesouměrných uličních svítidel, se v katalozích udává poměrně podrobné rozložení svítivosti nejčastěji v některé ze soustav fotometrických rovin C- γ , B- β , popřípadě A- α .

11.1.1 Světelný vektor a osvětlenost v poli svítidla bodového typu

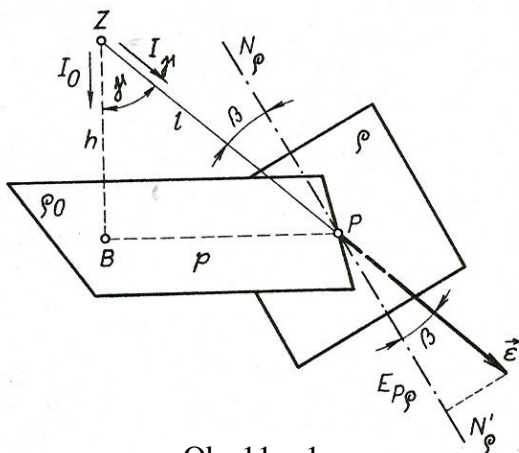
Světelný vektor $\vec{\varepsilon}$ charakterizující pole bodového zdroje Z v bodě P (viz obr. 11-1) leží na prodloužení paprsku \overline{ZP} , je orientován ve směru od zdroje Z k bodu P a co do velikosti je roven normálové osvětlenosti E_N , tj. osvětlenosti v bodě P roviny kolmé k paprsku l , takže

$$|\vec{\varepsilon}| = E_N = \frac{I_\gamma}{l^2} \quad (lx; lx; cd, m) \quad (11 - 1)$$

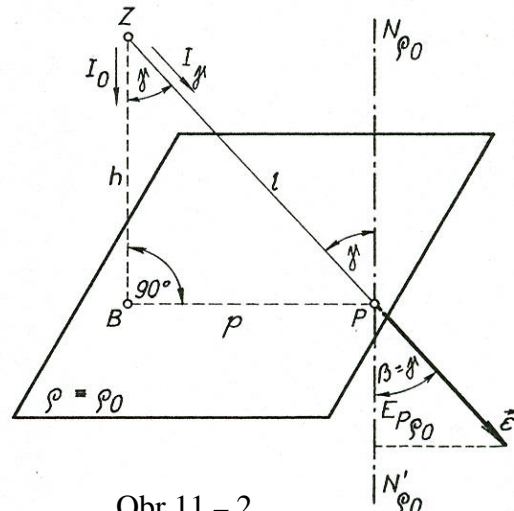
kde I_γ je svítivost bodového zdroje Z přechtená pod úhlem $\gamma = \arctg \frac{p}{h}$ od zvoleného

směru vztahné svítivosti I_0 z křivky svítivosti v rovině určené body Z, P, B a přepočtená na světelný tok Φ_z zdrojů světla v uvažovaném svítidle (viz odst.3.3),

l je vzdálenost zdroje Z od bodu P.



Obr.11 - 1



Obr.11 - 2

Osvětlenost $E_{P\rho}$ v bodě P obecně položené roviny ρ bodovým zdrojem Z je pak rovna průmětu světelného vektoru $\vec{\varepsilon}$ do směru normály N'_ρ k neosvětlené straně roviny ρ a počítá se tedy ze vztahu

$$E_{P\rho} = \varepsilon \cdot \cos \beta = \frac{I_\gamma}{l^2} \cos \beta = \frac{I_\gamma \cdot \cos \beta}{h^2 + p^2} \quad (lx; cd, m, m) \quad (11 - 2)$$

kde β je úhel sevřený vektorem $\vec{\varepsilon}$ a normálou N'_ρ resp. je to úhel mezi normálou N_ρ (v bodě P k osvětlené straně roviny ρ) a paprskem l ,

h je výška zavěšení zdroje Z nad rovinou ρ_0 proloženou bodem P kolmo ke směru vztahné svítivosti I_0 ,

p je vzdálenost bodu P od paty B kolmice spuštěné ze zdroje Z na rovinu ρ_0 .

Osvětlenost $E_{P\rho_0}$ v bodě P roviny ρ_0 kolmé ke zvolenému směru vztažné svítivosti I_0 (viz obr.11-2) se stanoví z rovnice (11-2) jako průmět světelného vektoru $\vec{\varepsilon}$ do normály N'_{ρ_0} , přičemž v daném případě platí $\beta = \gamma$.

Po dosazení do rovnice (11 - 2) a po úpravě vychází pro $E_{P\rho_0}$ výraz

$$E_{P\rho_0} = \varepsilon \cdot \cos \gamma = \frac{I_\gamma \cdot \cos^3 \gamma}{h^2} = \frac{I_\gamma \cdot h}{\sqrt{(h^2 + p^2)^3}} \quad (lx; cd, m, m) \quad (11 - 3)$$

Je-li směr I_0 svislý, pak rovina ρ_0 je rovinou vodorovnou, v jejíchž bodech se v praxi počítá osvětlenost nejčastěji.

Pro výpočet osvětlenosti $E_{P\rho_v}$ v bodě P obecně natočené roviny ρ_v kolmé k rovině ρ_0 bodovým zdrojem Z (viz obr.11-3) lze obdobně ze vztahu (11-2) dosazením za

$$\cos \beta = \frac{p_0}{l} = \frac{p_0}{h} \cos \gamma = \frac{p \cdot \cos \psi}{h} \cos \gamma$$

odvodit rovnici

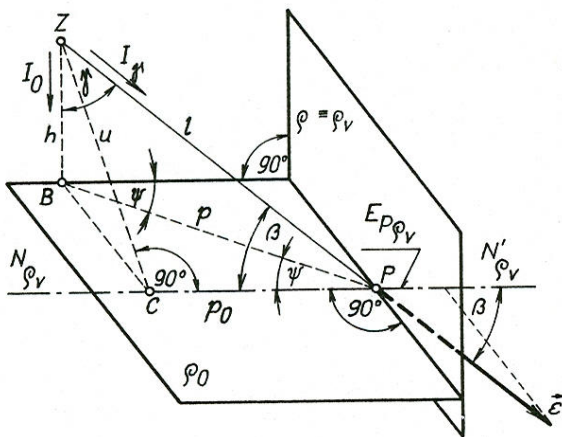
$$E_{P\rho_v} = \varepsilon \cdot \cos \beta = \frac{I_\gamma \cdot \cos^3 \gamma}{h^3} \cdot p \cdot \cos \psi = E_{P\rho_0} \frac{p_0}{h} \quad (11 - 4)$$

(lx; cd, m, m; lx, m, m)

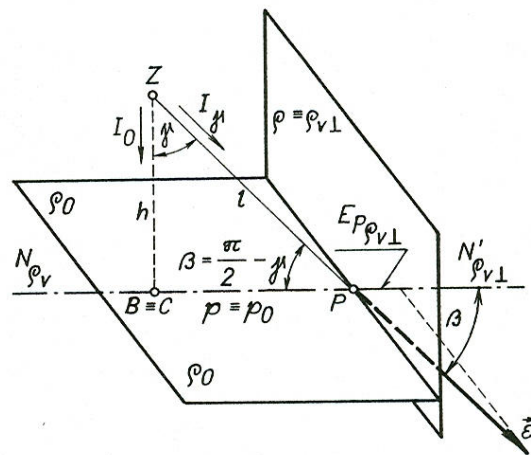
kde p_0 je vzdálenost roviny ρ_v od roviny určené body Z,B,C, $p_0 = p \cdot \cos \psi$

ψ je úhel, který svírá normála N_{ρ_v} roviny ρ_v s rovinou určenou body Z,P,B.

V praxi se často počítá osvětlenost roviny $\rho_{v\perp}$, která je kolmá nejen k rovině ρ_0 , ale i k rovině určené body Z,P,B. Popsaný případ nastane, natočí-li se v obr.11-3 osvětlovaná rovina $\rho \equiv \rho_v$ tak, aby $\psi = 0$, kdy $p = p_0$ (viz obr.11-4).



Obr.11-3



Obr.11-4

Dosadí-li se do výrazu (11-2) $\beta = \frac{\pi}{2} - \gamma$, tj. $\cos \beta = \sin \gamma$ vychází pro průmět $\vec{\varepsilon}$ do normály

$N'_{\rho_{v\perp}}$, tj. pro osvětlenost $E_{P\rho_{v\perp}}$ v bodě P roviny $\rho_{v\perp}$, umístěné podle obr.11-4, vztah

$$E_{P\rho_{v\perp}} = \varepsilon \cdot \sin \gamma = \frac{I_\gamma \cdot \cos^3 \gamma \cdot p}{h^3} = \frac{I_\gamma \cdot p}{\sqrt{(h^2 + p^2)^3}} \quad (lx; cd, m, m) \quad (11 - 5)$$

Upraví-li se rovnice (11-5) ještě dosazením z výrazu (11-3), zjistí se vzájemná souvislost osvětleností $E_{P\rho_{v\perp}}$ roviny $\rho_{v\perp}$ a $E_{P\rho_0}$ roviny ρ_0 určená rovnicí

$$E_{P\rho_{v\perp}} = E_{P\rho_0} \frac{p}{h} \quad (\text{lx; lx, m, m}) \quad (11 - 6)$$

Z porovnání rovnic (11-4) a (11-5) vyplývá, že

$$E_{P\rho_v} = E_{P\rho_{v\perp}} \cdot \cos\psi \quad (\text{lx; lx}) \quad (11 - 7)$$

takže osvětlenost $E_{P\rho_{v\perp}}$ v bodě P roviny $\rho_{v\perp}$ má největší hodnotu z osvětleností všech různě natočených rovin ρ_v kolmých k rovině ρ_0 v bodě P.

11.1.2 Střední kulová a válcová osvětlenost v poli bodového zdroje

Střední kulová osvětlenost $E_{4\pi}$ v kontrolním bodě P světelného pole bodového zdroje světla Z (viz obr.11-5) je rovna jedné čtvrtině normálové osvětlenosti E_N , to značí

$$E_{4\pi} = \frac{1}{4} E_N = \frac{1}{4} \frac{I_\gamma}{l^2} = \frac{1}{4} \frac{I_\gamma}{h^2 + p^2} \quad (\text{lx; cd, m; cd, m, m}) \quad (11 - 8)$$

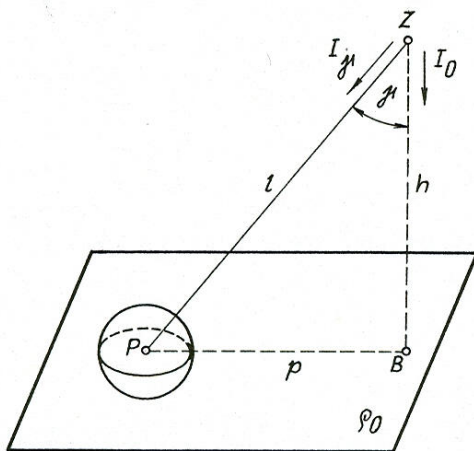
Podobně z definičního vztahu vychází pro střední válcovou osvětlenost E_z v bodě P v poli bodového zdroje Z při vertikálním umístění válcového přijímače podle obr.11-6 výraz

$$E_z = \frac{\sin\vartheta}{\pi} \frac{I_\gamma}{l^2} = \frac{\sin(\gamma+\psi)}{\pi} \frac{I_\gamma}{h^2} \cos^2\gamma = \frac{\sin(\gamma+\psi)}{\pi} \frac{I_\gamma}{h^2 + p^2} \quad (11 - 9)$$

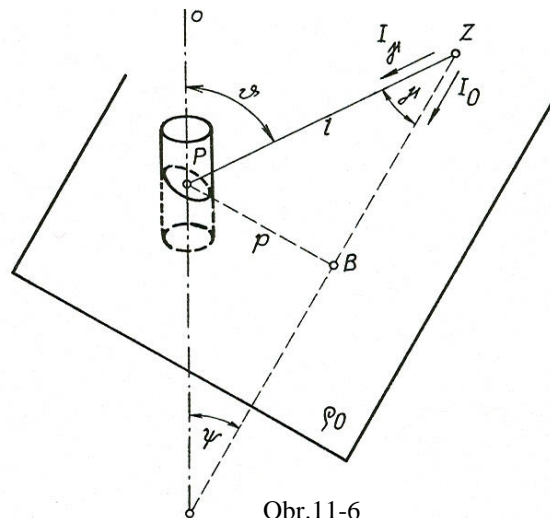
(lx; cd, m; cd, m, m)

kde ϑ je úhel osy o válcového přijímače s paprskem ZP. Svírá-li směr I_0 s osou o úhel ϑ , pak při uspořádání na obr.11-6 platí pro úhel ϑ

rovnice $\vartheta = \gamma + \psi$



Obr.11-5



Obr.11-6

11.2 Výpočet parametrů v poli svítidel přímkového a plošného typu

Při bodových výpočtech se v praxi za přímkový zdroj považuje svítidlo, jehož vyzařovací plocha má jeden rozměr rovný nebo větší než je jedna třetina vzdálenosti svítidla od nejbližšího kontrolního místa, při čemž ostatní rozměry této svítící plochy jsou oproti zmíněné vzdálenosti zanedbatelné.

Typickými představiteli zdrojů přímkového typu jsou svítidla se zářivkami, instalovaná samostatně nebo tvořící souvislý či přerušovaný pás. Metodika výpočtu sledovaných parametrů v poli svítidla přímkového typu je založena na předpokladu, že všechny elementy přímkového zdroje vykazují stejné prostorové rozložení svítivosti.

Za svítidlo plošného typu se při světelně technických výpočtech považuje svítidlo, jehož vyzařovací plocha má rozměry rovné nebo větší než jedna třetina vzdálenosti středu svítící plochy od nejbližšího kontrolního místa a třetí rozměr je oproti této vzdálenosti zanedbatelný. Těmto podmínkám vyhovuje mnoho svítidel, včetně svítících stropů překrytých různými průsvitnými materiály nebo mřížkovými clonami. Při výpočtu vlivu odražených toků na sledované parametry se jako s plošnými zdroji pracuje rovněž se sekundárními zdroji, kterými jsou světelně činné povrchy (zejména strop, stěny a podlaha) osvětlovaného prostoru. Pokud jde o tvar plošných zdrojů, nejčastěji se v osvětlovacích soustavách vyskytují svítidla plošného typu ve tvaru obdélníku či čtverce.

Metodika výpočtu sledovaných parametrů v poli svítidla plošného typu je založena na předpokladu, že všechny elementy svítící plochy svítidla vyzařují stejně, tzn., že jas, resp. svítivost jsou po povrchu vyzařovací plochy plošného zdroje rovnoměrně rozloženy. Nemá-li uvedená podmínka splněna, pak se buď počítá přibližně se středními hodnotami jasu nebo se svítící plocha zdroje rozdělí na části, pro které je zmíněná podmínka splněna.

U reálných svítidel existují vždy určité odchylky od zmíněných předpokladů a tuto skutečnost je třeba mít na zřeteli při posuzování výsledků výpočtů a stanovování jejich nejistoty.

Nerovnoměrnost rozložení svítivosti po vyzařovací ploše skutečných svítidel plošného, popř. přímkového typu, včetně rozdílného prostorového rozdělení svítivosti jejich jednotlivých elementů, se projevuje zejména v podmínkách místního přisvětlování, tedy při relativně menší vzdálenosti svítidla od srovnávací roviny. Jde o případy, kdy jeden rozměr svítící plochy svítidla je větší než polovina závěsné výšky svítidla nad rovinou proloženou kontrolním bodem kolmo ke směru vztažné svítivosti (což je obvykle směr kolmý k hlavní vyzařovací ploše svítidla). V těchto situacích se již vypočtené hodnoty sledovaných veličin, např. osvětlenosti srovnávací roviny, výrazně liší od hodnot skutečně naměřených. Je to proto, že při výpočtu použité svítivosti svítidel, naměřené v tzv. fotometrických vzdálenostech, tj. ve vzdálenostech větších než pětina násobek délky svítidla, již v relativně menších vzdálenostech od svítidla neplatí. Někteří odborníci navrhují používat v těchto případech hodnot svítivosti naměřených ve vzdálenostech rovných např. jen trojnásobku délky svítidla. Ovšem takové údaje nejsou zatím od výrobců svítidel k dispozici. Proto se v popsanych situacích všeobecně doporučuje sledované parametry stanovovat, popřípadě alespoň ověřovat měřením.

Pokud se fotometrická plocha svítivosti či jasu svítidla plošného, resp. přímkového typu, popřípadě alespoň čáry svítivosti (jasu) ve vybraných rovinách matematicky popíšou (aproximují) např. lineárními kombinacemi funkce sinus a mocninami funkce kosinus, lze ve většině takových případů pro výpočet jednotlivých integrálních charakteristik ve zvolených kontrolních bodech odvodit uzavřené výrazy, a tím podstatně urychlit světelně technické výpočty. Tento postup však je možno aplikovat pouze pro omezený okruh svítidel.

Proto se dnes většinou pro počítačové zpracování využívá tabelárního zadání čar svítivosti (jasu) svítidel a předpokládá se rovnoměrné rozložení svítivosti (jasu) po vyzařovací ploše svítidel. Ta se pak rozdělí na části, které z hlediska vzdálenosti od nejbližšího kontrolního bodu vyhovují podmínkám platným pro svítidla bodového typu. Světelné středy dílčích zdrojů se umísťují do geometrických středů jednotlivých plošek. Předpokládá se, že fotometrická plocha svítivosti (jasu) je u všech takto vzniklých dílčích zdrojů co do tvaru stejná jako u celého uvažovaného

svítidla, ovšem absolutní hodnoty svítivosti či jasu je však třeba snížit úměrně velikosti svítící plochy. Je-li např. z čáry svítivosti nebo z tabulek přečtena svítivost I_o (cd) svítidla ve směru kolmém k jeho vyzařovací ploše o velikosti A (m^2), pak svítivost I_{oi} v témže směru, ale dílčího svítidla se svítící ploškou o velikosti A_i (m^2) bude pouze $I_{oi} = I_o \cdot (A_i / A)$ (cd).

V každém ze zvolených kontrolních bodů se pak s využitím vztahů platných pro bodové zdroje vypočtou hledané integrální charakteristiky v poli jednotlivých dílčích zdrojů. Pokud jde např. o osvětlenosti v bodech rovin rovnoběžných se svítící plochou uvažovaných svítidel nebo o hodnoty střední kulové osvětlenosti, je výsledná hodnota veličiny zajištěná daným svítidlem rovna součtu příspěvků vypočtených od všech dílčích zdrojů, na které se vyzařovací plocha svítidla rozdělila. Řeší-li se však např. osvětlenosti v bodech vertikálních rovin kolmých k vyzařovací ploše uvažovaného svítidla, pak se sčítají pouze příspěvky těch dílčích zdrojů, které osvětlují stejnou stranu té které vertikální roviny.

Popsaným postupem se stanoví složky sledovaných světelně technických veličin odpovídající světelným tokům, které dopadají na osvětlované roviny do okolí kontrolních bodů přímo ze svítidel.

11.3 Výpočet nepřímých složek parametrů

Pokud jde o hodnoty osvětleností vypočtené v kontrolních bodech osvětlovaných rovin, tak ty lze využít nejen ke stanovení tzv. přímých složek osvětlenosti, ale i ke stanovení světelných toků dopadajících přímo ze svítidel na osvětlované plochy, tzn. počátečních hodnot toků, se kterými světelně činné plochy vstupují do procesu mnohonásobných odrazů. Osvětlovaná plocha o velikosti A , např. srovnávací rovina, či stěna atd. daného interiéru, se rozdělí na n malých plošek $A_1, A_2, \dots, A_i, \dots, A_n$, v jejichž mezích bude změna hladiny osvětlenosti sledované roviny prakticky zanedbatelná. Do středu každé z plošek se umístí kontrolní bod a v každém z nich stanoví hladiny osvětlenosti od všech uvažovaných svítidel. Poté se výsledné hladiny osvětlenosti v jednotlivých bodech vynásobí velikostí příslušné dílčí plošky a součtem zmíněných součinů se zjistí světelný tok Φ_0 dopadající na osvětlovanou rovinu přímo ze svítidel, tj.

$$\Phi_0 = \sum_{i=1}^n E_i \cdot A_i \quad (lm; lx, m^2) \quad (11.10)$$

Vydělí-li se zjištěný tok Φ_0 velikostí A osvětlované plochy, stanoví se po ploše A střední hodnota $E_{s(př)}$ osvětlenosti odpovídající světelným tokům dopadajícím přímo ze svítidel, tedy přímá složka zmíněné osvětlenosti

$$E_{s(př)} = \Phi_0 / A \quad (lx; lm, m^2) \quad (11.11)$$

Běžně se uvažuje, že procesu mnohonásobných odrazů se v daném interiéru zúčastní rovinné plochy, a to např. strop (1), či fiktivní rovina svítidel, čtyři stěny (2, 3, 4, 5) a podlaha (6), resp. srovnávací rovina. Ovšem i tyto plochy je možno podle potřeby dále rozdělit na menší části. Pro jednoduchost se předpokládá, že všechny plochy vykazují vlastnosti rovnoměrně rozptýlně odrážejících ploch s činitelem odrazu např. $\rho_1, \rho_2, \rho_3, \rho_4, \rho_5, \rho_6$ a že jsou známy počáteční světelné toky např. $\Phi_{10}, \Phi_{20}, \Phi_{30}, \Phi_{40}, \Phi_{50}, \Phi_{60}$, (obecně Φ_{i0}), které na zmíněné plochy dopadají přímo ze svítidel.

Uváží-li se, že na dané plochy budou, včetně vlivu mnohonásobných odrazů, dopadat výsledné toky $\Phi_1, \Phi_2, \Phi_3, \Phi_4, \Phi_5, \Phi_6$, (obecně tok Φ_i či Φ_k), lze pro tyto toky napsat obecnou rovnici, která má, např. pro výsledný tok Φ_i dopadající na i -tou plochu, tvar

$$\Phi_i = \Phi_{i0} + \sum_{\substack{k=1 \\ k \neq i}}^6 \psi_{ki} \cdot \rho_k \cdot \Phi_k \quad (lm; lm, -, -, lm) \quad (11.12)$$

kde $(\psi_{ki} \cdot \rho_k \cdot \Phi_k)$ je příspěvek od k -té plochy k výslednému toku Φ_i ,

$(\rho_k \cdot \Phi_k)$ výsledný tok odrážený k -tou plochou,

ψ_{ki} činitel vazby k -té plochy s plochou i -tou; vyjadřuje, jaká část toku $(\rho_k \cdot \Phi_k)$ odráženého k -tou plochou dopadá na i -tou plochu.

Po vyřešení soustavy rovnic (v popisovaném případě šesti lineárních rovnic o šesti neznámých $\Phi_1, \Phi_2, \Phi_3, \Phi_4, \Phi_5, \Phi_6$) lze již stanovit místně průměrné celkové osvětlenosti jednotlivých ploch.

Např. pro srovnávací rovinu (či podlahu) o velikosti A_6 , na kterou dopadá výsledný tok Φ_6 , bude místně průměrná celková osvětlenost E_{s6c} rovna

$$E_{s6c} = \Phi_6 / A_6 \quad (lx; lm, m^2) \quad (11.13)$$

Přímá složka $E_{s6(př)}$ průměrné osvětlenosti srovnávací roviny odpovídá počátečnímu toku Φ_{60} a je tedy dána vztahem

$$E_{s6(př)} = \Phi_{60} / A_6 \quad (lx; lm, m^2) \quad (11.14)$$

Nepřímá složka $E_{s6(n)}$ místně průměrné osvětlenosti srovnávací roviny, vystihující vliv odražených světelných toků na výši průměrné hladiny osvětlenosti, se zjistí jako rozdíl celkové průměrné osvětlenosti E_{s6c} a její přímé složky $E_{s6(př)}$, tj. z výrazu

$$E_{s6(n)} = E_{s6c} - E_{s6(př)} \quad (lx; lx, lx) \quad (11.15)$$

Důležité je, že vypočtené výsledné toky $\Phi_1, \Phi_2, \Phi_3, \dots$, dopadající na jednotlivé plochy a zahrnující vliv mnohonásobných odrazů, umožňují, s využitím předpokladu o difúzním charakteru uvažovaných povrchů, stanovit místně průměrné celkové jasy $L_1, L_2, L_3, \dots, L_i \dots$ uvažovaných povrchů. Např. pro i -tou plochu o velikosti A_i se hledaný jas L_i určí ze vztahu

$$L_i = \frac{\rho_i}{\pi} \frac{\Phi_i}{A_i} \quad (cd.m^{-2}, -, lm, m^2) \quad (11.16)$$

Poté již lze s jednotlivými plochami 1, 2, 3, ... charakterizovanými konstantními jasy L_1, L_2, L_3, \dots pracovat jako se sekundárními svítidly plošného typu a v jejich světelném poli v uvažovaných kontrolních bodech stanovit hledané světelné technické veličiny, přesněji jejich nepřímé či odražené složky, tedy složky odpovídající odraženým světelným tokům, respektujícím vliv mnohonásobných odrazů.

11.4 Hodnocení úrovně zábrany oslnění v interiérech

Ze světelně technického hlediska je základní příčinou oslnění výskyt příliš vysokého jasu (v porovnání s adaptačním jasnem, kterému je zrak pozorovatele přizpůsoben) nebo nevhodné rozložení jasů v zorném poli, popřípadě velký prostorový nebo časový kontrast jasů. Oslnění je tedy takový nepříznivý stav zraku, při kterém je narušena zraková pohoda (psychologické *rušivé* oslnění) a při jeho vyšším stupni (fyziologické *omezující* oslnění) je zhoršeno, popřípadě až znemožněno vidění (fyziologické *oslepující* oslnění).

Při rušivém oslnění není zdánlivě zhoršeno nebo omezeno vidění. Je to způsobeno tím, že oslňující zdroj poutá pozornost na úkor místa, na které by se měl zrak soustředit. Důsledkem je rozptýlení pozornosti, pocit nepříjemného stavu apod. Omezující oslnění se již projevuje měřitelným narušením některých funkcí zraku, je při něm ztíženo rozeznávání, vidění se stává namáhavé, vzniká pocit nejistoty, únavy a produktivita práce klesá. Oslepující oslnění je pak již tak intenzivní, že znemožňuje vidění a trvá někdy i určitou dobu po zániku příčiny oslnění. V mnoha případech a zvláště v dopravě je takový stav velmi nebezpečný. Jas, který vyvolává absolutní oslnění se nazývá *kritický jas*. Tomuto jasu není již zrak schopen se adaptací přizpůsobit. Kritický jas závisí na předchozím stavu adaptace. Tak například v podmínkách přírodního osvětlení může být kritický jas roven i hodnotě $200.000 \text{ cd.m}^{-2}$ (což přibližně odpovídá jasu mdlené žárovky 200 W), zatímco při umělém osvětlení může být pozorovatel absolutně oslněn i jasnem 3000 cd.m^{-2} , popřípadě ve velmi tmavém prostředí též pouze jasnem 1000 cd.m^{-2} .

Z uvedeného vyplývá, že zejména v pracovních prostorech je třeba zamezit vzniku nejen oslepujícího a omezujícího oslnění, ale zabránit je nutno i oslnění rušivému.

Podle příčiny oslnění se dále rozlišuje ještě oslnění přechodové, závojevé a patrně nejčastější oslnění kontrastem.

Přechodové oslnění nastává při náhlé změně jasu zorného pole, poněvadž adaptace zraku nemůže proběhnout současně se změnou jasu, ale s určitým zpožděním. K takovému stavu dochází například při náhlém přechodu z tmavého prostředí do světlého nebo při rozsvícení. Zraková pohoda může být narušena již při poměru jasu 1:10; oslnění nastává, překročí-li poměr jasů v zorném poli hodnotu asi 1:100. Přechodové oslnění pozvolna mizí s postupnou adaptací oka.

Závojevé oslnění vzniká, vyskytuje-li se mezi okem a pozorovaným předmětem jasnější prostředí, kalné nebo s poměrně jemnou strukturou jako záclona, znečištěné sklo, dešť, mlha. Větší jas závoje nutí zrak k adaptaci na vyšší úroveň jasu, než jaká odpovídá jasu pozadí, a tím se zmenšuje rozeznatelnost tvaru i kontrastu. Závojevé oslnění vzniká například při pohledu do mlhy před automobilovými světlomety, při pohledu zvenku do místnosti oknem, v němž se zrcadlí obloha nebo za níž je záclona.

Oslnění kontrastem vzniká, vyskytnou-li se v zorném poli současně plochy s natolik rozdílným jasnem, že se takové situace zrak pozorovatele již nemůže adaptací přizpůsobit. Zdrojem tohoto oslnění mohou být dvě různě světlé plochy, necloněné světelné zdroje nebo svítidla kontrastující s tmavým pozadím. Ke vzniku oslnění kontrastem a k narušení zrakové pohody dochází asi při stejných poměrech jasů jako u přechodového oslnění. Oslnění kontrastem je v osvětlovacích soustavách nejběžnější a působí nejvíce obtížně. Možnosti vzniku oslnění kontrastem se snižují při vyšších průměrných hladinách osvětlenosti.

Oslnění může být způsobeno světlem přímým i odraženým. **Přímé oslnění** je způsobeno přílišným jasnem nebo světelným kontrastem zdroje v zorném poli, jaký dávají např. světelné zdroje bez svítidel nebo povrchové plochy svítidel s přílišným jasnem. Aby se zamezilo oslnění při umělém osvětlení, je třeba, aby přímé světlo zdroje nepřicházelo k oku pod úhlem menším než 30° nad vodorovnou rovinou, popřípadě nad obvyklým směrem pohledu. Proto se svítidla zavěšují dostatečně vysoko nebo se používá vhodně upravených svítidel. Je nutno zamezit oslnění i svítidly místního přisvětlení a v soustavách sdruženého osvětlení též možnému oslnění od oken.

Oslnění **odraženým světlem** vzniká odrazy od stropů, stěn, od desek stolů nebo jiných povrchů v zorném poli. Velký jas může vzniknout zejména, jsou-li plochy hladké nebo zrcadlově lesklé, jako např. vysoce leštěné součásti strojů, jemně opracované plochy, lakované povrchy apod. Jas způsobený odrazem světla unavuje často více než jas přímý, zvláště je-li přímo v pohledu a oko se mu nemůže vyhnout. Nápravy lze dosáhnout vhodným umístěním a směřováním svítidel.

Vzhledem k tomu, že většina osvětlovacích soustav, které jsou nyní v provozu byla z hlediska zábrany oslnění navrhována podle předpisů platných před zavedením nových norem v roce 2004, jsou nejprve uvedeny postupy kontroly oslnění doporučené v dříve platných normách ČSN 36 0008 „Oslnění, jeho hodnocení a zábrana“ a ČSN 36 0450 „Umělé osvětlení vnitřních prostorů“.

Při kontrole zábrany rušivého oslnění se do roku 2004 většinou se využívalo metody hodnocení oslnění podle jasu svítidel a pouze v případech, kdy zmíněnou metodu nebylo možno použít, se situace hodnotila na základě výpočtu činitele oslnění G_N podle Netušila. Hodnocení oslnění podle jasu svítidel vycházelo z prací Söllnera a bylo založeno na ověření, zda jasy použitých svítidel v kritické oblasti vyzařovacích úhlů nad 45° od normály k hlavní vyzařovací ploše svítidla nepřekračují maximální hodnoty stanovené statistickým zpracováním výsledků řady experimentů. Kvalita osvětlovací soustavy z hlediska omezení oslnění se při tom oceňovala stupněm oslnění G_S . Podle požadavků dříve platné normy ČSN 360450 „Umělé osvětlení vnitřních prostorů“ kladených na úroveň zábrany oslnění se rozlišovaly čtyři třídy omezení oslnění (tab. 11.1).

Tab. 11.1 Třídy omezení oslnění podle dříve platné normy ČSN 360450

Třída omezení oslnění	Požadavky na omezení oslnění	Příklady místností	činitel oslnění podle Netušila G_N	stupeň oslnění podle Söllnera G_S	
1	velmi vysoké	Operační sály, pracoviště s displeji, nemocniční pokoje	$G_N \leq 30$	1,5	
2	vysoké	běžné místnosti s kategorií osvětlení	A	$30 < G_N \leq 70$	1,85
3	střední		B	$70 < G_N \leq 130$	2,2
4	nízké		C, D	$130 < G_N \leq 200$	2,55

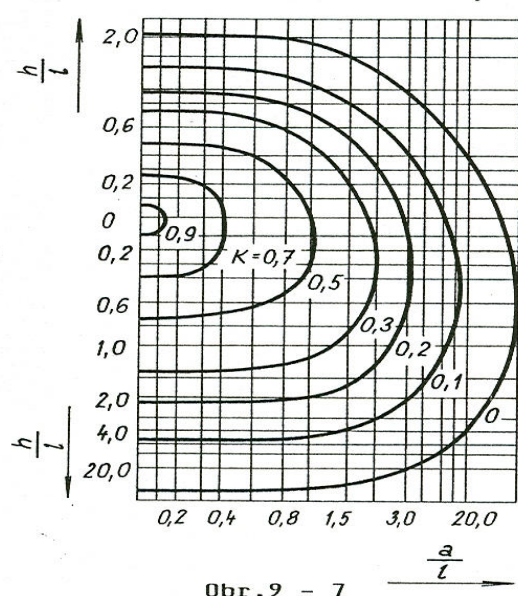
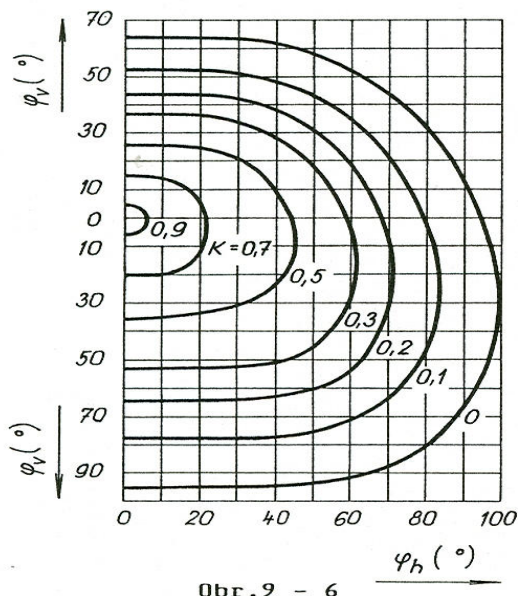
Pozn. Požadavky na omezení oslnění musely být splněny v pracovních prostorech (kategorie osvětlení A,B,C). Pro kategorii osvětlení D měly být splněny.

V tab.11.1 se uvedené třídy omezení oslnění vztahovaly na celkové osvětlení vnitřních prostorů při vodorovném směru pohledu v podélné i příčné ose místnosti. Kontrolní místa pro hodnocení oslnění se uvažovala 1 m od uvažované stěny v polovině délky této stěny a 1,5 m nad podlahou (podle současných doporučení se počítá s výškou 1,2 m pro sedícího pozorovatele a 1,5 m pro pozorovatele stojícího). Při kombinovaném osvětlení pracovních prostorů se požadovalo, aby místní osvětlení prokazatelně nezhoršovalo oslnění v celé místnosti a v místě úkolu aby při obvyklém směru pohledu vyhovovalo předepsané třídě omezení oslnění.

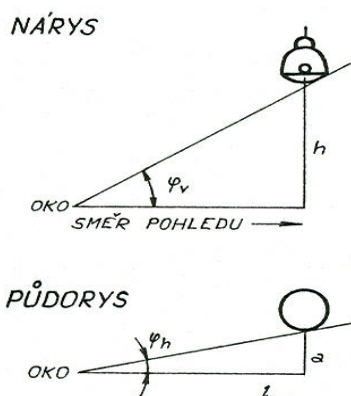
V podmínkách místního osvětlení se oslnění hodnotilo činitelem oslnění G_N podle Netušila. Činitel oslnění G_N se stanovoval v souladu s výsledky Netušilových prací ze vzorce

$$G_N = \sqrt{\sum_{i=1}^n \left[K_i \frac{L_{zi} \cdot \Omega_i^{0,4}}{L_p^{0,5}} \right]^2} \quad (-; -, \text{cd.m}^{-2}, \text{sr}, \text{cd.m}^{-2}) \quad (11.17)$$

- kde L_{zi} je jas i-tého oslňujícího zdroje (cd.m^{-2}),
 Ω_i prostorový úhel, pod kterým pozorovatel vidí i-tý oslňující zdroj (sr),
 K_i činitel polohy i-tého oslňujícího zdroje, který se stanoví z diagramů na obr.11.7 nebo obr.11.8 pro geometrické poměry určené podle obr.11.9 (podle dříve platné normy ČSN 36 0008 „Oslnění, jeho hodnocení a zábrana“)
 L_p jas (cd.m^{-2}) pozadí určený jako průměrná, podle prostorových úhlů, popříp. podle velikosti ploch vážená hodnota jasu hlavních povrchů (bez vlivu oslňujících zdrojů) umístěných v celém pozorovaném poloprostoru místnosti,
 n počet uvažovaných oslňujících zdrojů.



Obr.11.7 Diagram pro určení činitele polohy K ve vztahu (11.17) v závislosti na úhlech φ_v a φ_h



Obr.11.8 Diagram pro určení činitele polohy K ve vztahu (11.17) v závislosti na poměrných vzdálenostech h/l a a/l

Obr. 11.9 Umístění oslňujícího svítidla a oka pozorovatele při hodnocení oslnění Netušilovým vzorcem (11.17)

Vypočtená hodnota činitele oslnění G_N se porovnávala se směrnými hodnotami uvedenými v tab.11.1.

Netušilův vzorec (11.17), stejně jako obdobné vztahy jiných autorů, byl odvozen z výsledků určitého množství pokusů a nemá tedy obecnou platnost. Nehodí se pro hodnocení oslnění zdroji s relativně velkou svítící plochou, které se pozorují pod prostorovými úhly většími než 0,12 sr. Výraz (11.17) platí dále jen pro jasy pozadí v rozmezí mezi $L_p = 3$ až 300 cd.m^{-2} a pro vodorovný směr pohledu. Neuvažuje bezprostřední vliv hladiny osvětlenosti srovnávací roviny na stupeň oslnění. Vztah se nehodí pro kontrolu oslnění ve venkovních prostorech a za šera.

Metoda hodnocení oslnění podle jasu svítidel vycházela ze statistického zpracování výsledků experimentálních prací Söllnera. Metoda umožňuje pro určité geometrické uspořádání, průměrnou hladinu osvětlenosti srovnávací roviny a požadovanou jakost osvětlovací soustavy stanovit mezní jas použitých svítidel. Maximální jasy svítidel byly určeny tak, aby nejméně 50% pozorovatelů v uvažovaném prostoru nepocíťovalo rušivé oslnění. Pozorovatelé subjektivně hodnotili stupeň oslnění s využitím stupnice podle tab. 11.2.

Tab. 11.2 Stupnice pro subjektivní hodnocení stupně oslnění aplikovaná při experimentálních pracích Söllnera

Činitel G_S	stupeň oslnění
0	oslnění nepozorovatelné
2	pozorovatelné oslnění
4	rušivé oslnění
6	nesnesitelné oslnění

Kvalita osvětlovací soustavy se hodnotila třídami jakosti A, B, C, D, E (podle Söllnera), resp. třídami omezení oslnění 1, 2, 3, 4 podle dřívější normy ČSN 36 0450 s odpovídajícími hodnotami stupně oslnění G_S podle tab. 11.3.

Tab. 11.3 Porovnání tříd jakosti při hodnocení oslnění podle jasu svítidel a tříd omezení oslnění podle dřívější normy ČSN 36 0450

Třída jakosti podle Söllnera	A	B	C	D	E
Stupeň oslnění G_s	1,15	1,5	1,85	2,2	2,55
Třída omezení oslnění podle dřívější normy ČSN 360450	-	1	2	3	4

Metoda hodnocení oslnění podle jasů svítidel platila pro celkové osvětlení zajištěné jedním typem svítidel v pravidelném uspořádání v místnosti s činitelem odrazu stropu nejméně 0,5 a s činitelem odrazu stěn a zařízení místnosti nejméně 0,25 při převážně vodorovném nebo dolů sklopeném směru pohledu. Šířka místnosti se předpokládala rovna alespoň čtyřnásobku výšky prostoru. Pro nižší místnosti vycházejí přísnější požadavky. Pro účely metody hodnocení oslnění podle jasů svítidel se rozlišují

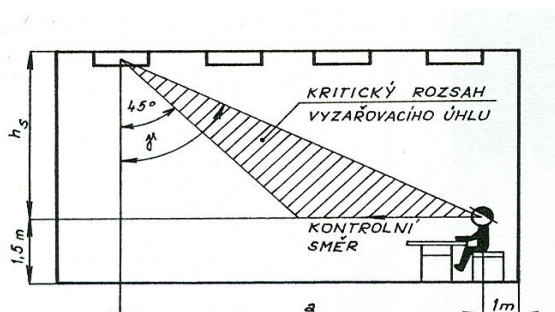
- svítidla necloněná a cloněná s úhlem clonění podle tab. 11.4 nebo větším,
- svítidla se svítícími stranami, u kterých je výška průmětu svítící části na libovolnou rovinu větší než 30 mm,
- svítidla bez svítících stran,
- svítidla krátká a dlouhá (u nichž je délka průmětu svítící části na vodorovnou rovinu nejméně dvojnásobkem jeho šířky).

Tab. 11.4 Minimální úhel clonění svítidel

Průměrný jas L světelného zdroje (cd.m^{-2})	Minimální úhel clonění svítidel podle třídy omezení oslnění		Druh světelného zdroje
	1 a 2	3 a 4	
$L \leq 20 \cdot 10^3$	20°	10° ^{x)}	normální zářivky
$20 \cdot 10^3 < L \leq 500 \cdot 10^3$	30°	20°	vysokotlaké výbojky s luminoforem nebo s rozptylnými baňkami
$L > 500 \cdot 10^3$	30°	30°	vysokotlaké výbojky s čirou baňkou, číré žárovky

^{x)} u zářivkových svítidel při podélném směru : 0°

Pro použitá svítidla se podle údajů výrobce nebo výpočtem zjistí rozložení jasů (čáry jasů) v polorovinách (C_0 , C_{180} nebo C_{90} , C_{270}) ve směru rovnoběžném s vyšetřovaným kontrolním směrem pohledu, a to v kritickém rozsahu vyzařovacího úhlu γ podle obr. 11.10

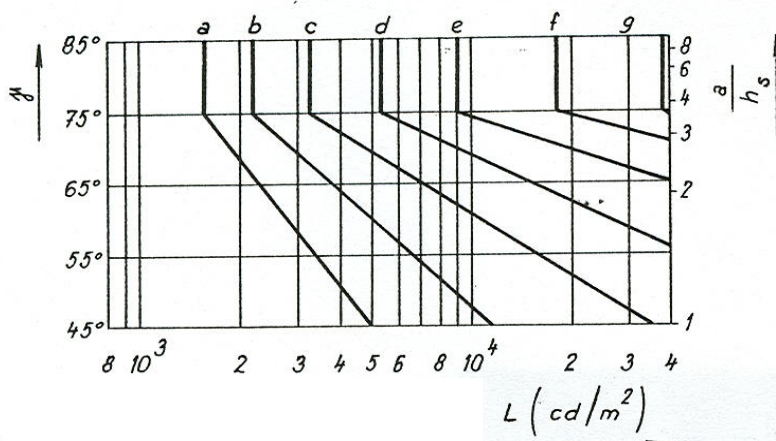


Obr. 11.10 Geometrické uspořádání uvažované při hodnocení oslnění podle jasů svítidel

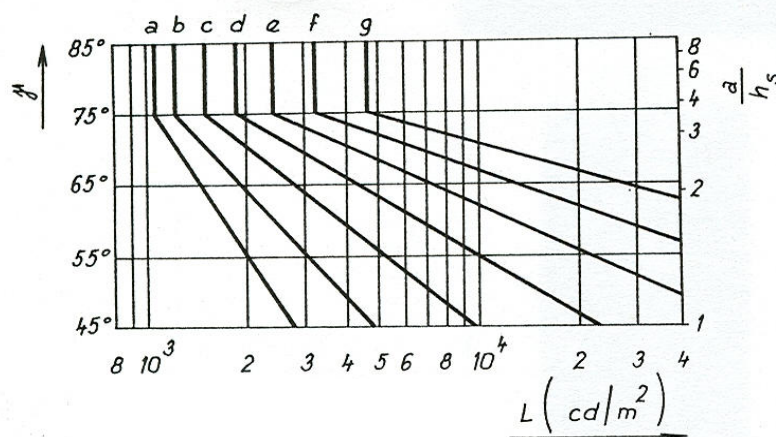
Podle požadované třídy omezení oslnění a podle požadované hladiny průměrné osvětlenosti E_{pk} se s využitím tab. 11.5 a diagramů na obr. 11.11, popř. 11.12 vyhledá mezní čára jasů. Diagram 1 (obr. 11.11) se použije u osvětlovací soustavy s cloněnými svítidly bez svítících stran nebo s cloněnými svítidly dlouhými se svítícími stranami a s podélnou osou rovnoběžnou s kontrolním směrem. Diagram 2 (obr. 11.12) se použije ve všech ostatních případech.

Tab. 11.5 Určení čáry mezního jasu

Třída omezení oslnění	Stupeň oslnění G_S	Osvětlenost E_{pk} (lx)						
		≤ 2000	≤ 1000	≤ 500	≤ 300			
1	1,5	≤ 2000	≤ 1000	≤ 500	≤ 300			
2	1,85		≤ 2000	≤ 1000	≤ 500	≤ 300		
3	2,2			≤ 2000	≤ 1000	≤ 500	≤ 300	
4	2,55				≤ 2000	≤ 1000	≤ 500	≤ 300
označení křivky v obr. 11.13 a 11.14		a	b	c	d	e	f	g



Obr. 11.11
Čáry mezního jasu - diagram 1



Obr. 11.12
Čáry mezního jasu - diagram 2

Pokud jasy použitých svítidel v hodnoceném rozmezí úhlu γ od 45^0 do $\gamma = \text{arctg}(a/h_s)$ (obr.11.10) byly rovny nejvýše jasům určeným ze zjištěné čáry mezního jasu, kontrolovaná osvětlovací soustava splňovala požadavky kladené na omezení oslnění a uvažovaná svítidla v takovém případě z hlediska zábrany oslnění vyhovovala. V případě, že jasy svítidel překračovaly přípustné maximální hodnoty a nebylo již možno připustit vyšší stupeň oslnění G_S , bylo nutno zvolit jiný, vhodnější typ svítidel.

Pozn.: U svíticích stropů a rovnoměrného nepřímého osvětlení musel být jas stropu v rozsahu úhlů $\gamma \geq 45^0$ menší než 500 cd.m^{-2} .

Od roku 2004 se v souladu s přijatou normou ČSN EN 12464-1 Světlo a osvětlení – Osvětlení pracovních prostorů – Část 1: Vnitřní pracovní prostory a publikací „Discomfort glare in interior lighting“ (Technical report CIE 117 – 1995, ISBN 3 900 734 70 4) v rámci tzv. „Jednotného systému hodnocení oslnění“ (UGR) k hodnocení úrovně rušivého oslnění ve vnitřních prostorech užívá činitel oslnění UGR (známý též jako index oslnění GI_S).

Činitel oslnění UGR se stanovuje ze Sørensonova vzorce, který může být také zapsán ve tvaru

$$GI_S = UGR = 8 \cdot \log \left[\frac{1}{4} \cdot \frac{1}{L_p} \sum_{i=1}^n \frac{(L_{zi})^2 \cdot \Omega_i}{P_i^2} \right] \quad (-; \text{cd.m}^{-2}, \text{cd.m}^{-2}, \text{sr}, -) \quad (11.18)$$

kde L_p je adaptační jas oka pozorovatele či jas pozadí (cd.m^{-2}),

L_{zi} jas svíticích částí i -tého oslňujícího svítidla ve směru k oku pozorovatele (cd.m^{-2}),

Ω_i prostorový úhel, pod nímž pozorovatel vidí svíticí části i -tého oslňujícího svítidla (sr),

P_i činitel podle Luckieshe a Guha charakterizující vliv polohy i -tého oslňujícího svítidla vůči ose pohledu pozorovatele,

n počet svítidel, která pozorovatele v dané pozici oslňují.

V porovnání se vztahy jiných autorů se Sørensonův vzorec vyznačuje celočíselnými exponenty jednotlivých veličin, zvláště jedničkou v exponentu prostorového úhlu Ω (což usnadňuje výpočty činitele oslnění od velkých oslňujících ploch při jejich rozdělení na několik menších zdrojů). Podstatná změna je i ve stanovování adaptačního jasu či jasu pozadí L_p , který je definován jako rovnoměrný jas celého okolí, který v místě oka pozorovatele ve svislé rovině zajistí stejnou osvětlenost jako skutečné zorné pole *bez oslňujících zdrojů*.

Běžně se jas L_p počítá z nepřímé složky vertikální osvětlenosti E_{nv} z výrazu

$$L_p = E_{nv} / \pi \quad (\text{cd.m}^{-2}; lx, -) \quad (11.19)$$

Při obecném řešení nepřímé osvětlenosti E_{nv} v interiéru se světelně činné povrchy rozdělí na dílčí části, stanoví se počáteční rozdělení toků svítidel, vyřeší se proces mnohonásobných odrazů mezi všemi uvažovanými dílčími povrchy, stanoví se výsledné rozdělení toků a posléze i jasy jednotlivých dílčích povrchů. Předpokládá se, že zjištěné jasy jsou po povrchu těchto dílčích sekundárních zdrojů rovnoměrně rozděleny. Poté se již hledaná nepřímá složka osvětlenosti E_{nv} stanoví jako součet osvětleností vypočtených ve světelném poli jednotlivých dílčích povrchů (tzn. sekundárních zdrojů s daným jasem) ve svislé rovině proložené okem pozorovatele v kontrolním bodě umístěném do oka pozorovatele.

Podrobnější výpočty prokázaly, že hodnoty činitele oslnění UGR zjištěné z rovnice (11.18) jsou málo citlivé na odchylky ve stanovení jasu pozadí. Např. hodnoty jasu pozadí lišící se o 33% způsobí změnu činitele UGR pouze o jednotku. Proto se stále vychází z předpokladu o rovnoměrném osvětlení povrchů v dané místnosti a v některých případech se připouští i zjednodušené určení nepřímé vertikální osvětlenosti E_{nv} oka pozorovatele jako osvětlenosti zajištěné světlem odraženým od stěn uvažované místnosti.

Prostorový úhel Ω , pod kterým pozorovatel vidí oslňující svíticí plochu svítidla nebo její část, se vypočte ze vztahu

$$\Omega = A_{psv} / r^2 \quad (\text{sr}; \text{m}^2, \text{m}) \quad (11.20)$$

kde A_{psv} je průmět svíticí plochy svítidla (nebo její části) do roviny kolmé ke směru spojnice středu oslňující plochy s okem pozorovatele,

r vzdálenost oslňující plochy svítidla od oka pozorovatele.

Jasy L_z oslňujících svítidel či částí jejich svítících ploch se běžně počítají ze svítivosti I_γ svítidla ve směru k pozorovateli a plochy průmětu A_{psv} , tj. z výrazu

$$L_z = I_\gamma / A_{psv} \quad (\text{cd} \cdot \text{m}^{-2}; \text{cd}, \text{m}^2) \quad (11.21)$$

Činitel oslnění se počítá v bodech, v nichž uživatelé prostoru vykonávají požadovanou činnost, a to v průměrné výši očí buď sedící (1,2 m) nebo stojící (1,5 m) osoby a v převážně se vyskytujících směrech jejího pohledu. V každém kontrolním bodě se pak z hodnot činitele oslnění stanovených pro různé směry pohledu uvažuje nejvyšší hodnota a ta musí být nižší než maximální dovolená hodnota uvedená v tabulkách v normě ČSN EN 12464-1. Mezní hodnoty činitele oslnění jsou vybrány z řady 16, 19, 22, 25, 28. Nejnižší hodnota 16 se požaduje pro prostory s nejpřísnějšími požadavky na zábranu rušivého oslnění, např. pro pracovny s monitory, a naopak hodnota 28 se uvažuje pro prostory s nejnižšími nároky na omezení oslnění.

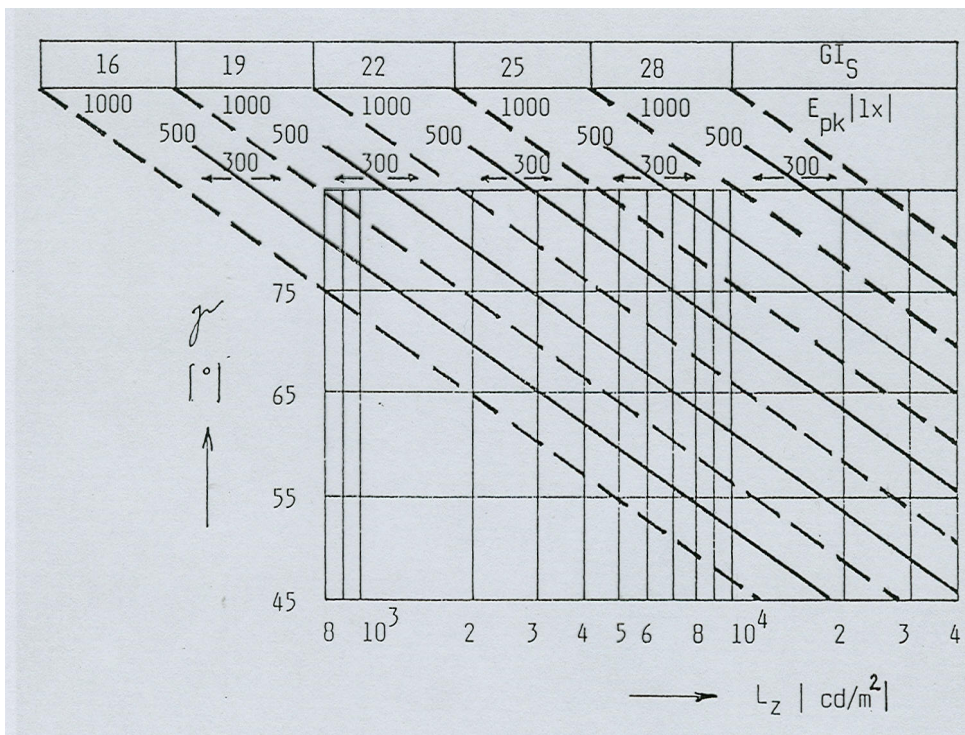
Činitel polohy P není definován pro případy, kdy by se oslňující svítidla nacházela pod směrem pohledu pozorovatele, tzn. kdy by světelné paprsky z oslňujícího zdroje do oka pozorovatele dopadaly z dolního poloprostoru. V těchto případech není tedy metoda UGR použitelná.

Vzhledem k tomu, že byla v projekční praxi poměrně oblíbená metoda hodnocení oslnění podle jasu svítidel, jsou již i v systému UGR zkonstruovány diagramy mezních jasů alespoň pro svítidla, jejichž vyzařování je popsáno typovými čarami (tzv. BZ charakteristikami) svítivosti.

I v tomto případě je diagram mezních jasů zkonstruován pro pravoúhlý prostor, činitele odrazu stěn v rozmezí 0,5 až 0,2, stropu 0,7 až 0,3 a podlahy 0,3 až 0,1, předpokládá se rovnoměrné rozmístění svítidel stejného typu, umístění pozorovatele vždy ve středu některé ze stran a vodorovný směr přímého pohledu. Za těchto předpokladů zkonstruovaný diagram mezních jasů pro metodu UGR je na obr. 11.13. Vyzařování svítidel je zmíněnými charakteristikami BZ omezeno pouze do dolního poloprostoru a proto diagram nelze použít pro svítidla s velkým podílem toku do horního poloprostoru.

Vzhledem k tomu, že křivky mezních jasů v systému UGR vykazují i v oblasti úhlu $\gamma > 75^\circ$ lineární průběh, postačuje na rozdíl od Söllnerovy metody pracovat pouze s jedním diagramem.

Oblast mezních jasů svítidel je v metodě UGR detailněji vystižena a proto je možno posuzovanou osvětlovací soustavu z hlediska zábran oslnění kritičtěji zhodnotit. Diagram nelze použít pro hodnocení oslnění odrazem ani při vidění za šera.



Obr. 11.13

Diagram s čarami mezních jasů v systému UGR pro pravoúhlé prostory s rovnoměrně rozmístěnými svítidly, jejichž vyzařování popisují typové charakteristiky BZ

Pro kontrolu **oslnění odrazem** není zatím k dispozici vhodná praktická metoda.

Aby se zabránilo oslnění odrazem doporučuje se zejména:

- svítidla rozmísťovat a směřovat na pracovní místa tak, aby světlo odražené od pozorovaných předmětů nesměřovalo do oka pozorovatele (alespoň při obvyklém směru pohledu). Nejlepších výsledků se dosáhne, když převažující směr toku světelné energie, tj. orientovaný směr světelného vektoru přibližně souhlasí se směrem pohledu. Toto nelze aplikovat u předmětů s tzv. vratným odrazem. Chybné je umísťovat řady svítidel ve svislých rovinách proložených obvyklými směry pohledu,
- používat rozměrných svítidel s malým jasem,
- všude, kde je to možné využívat rozptýlné, matné povrchové úpravy, a to i u povrchů pozorovaných předmětů hlavní zrakové činnosti,
- využívat svítidla s vhodným rozložením svítivosti, např. s křivkami svítivosti motýlovitého typu s maximem svítivosti v oblasti úhlů 40^0 až 50^0 od svislice.