

Základy světelné techniky (2)

Zrak a vidění (2. část – pokračování z č. 5/2008)

prof. Ing. Jiří Habel, DrSc., Elektrotechnická fakulta ČVUT V Praze

2.4 Zorné pole

Část prostoru, kterou může pozorovatel postřehnout upřeným pohledem bez pohybu oka a hlavy, se nazývá *zorné pole*. Přesně člověk vidí v úhlovém rozsahu asi 8° ve vodorovné rovině a asi 6° ve svislé rovině. Největší ostrost vidění je v rozsahu asi $1,5^\circ$. Pro přesné vidění se pozorovatel vždy snaží optickou osu oka natočit tak, aby obraz předmětu, který chce ostře vidět, padl na žlutou skvrnu. Optické osy obou očí se do jednoho bodu nastavují díky přesné souhře očních svalů. Jen tehdy totiž splývají obrazy na obou sítnicích v jeden vnímaný obraz. Není-li tomu tak, je vidění zhoršené, dostavuje se nevolnost, bolesti hlavy, popř. závratě.

Velikost monokulárního zorného pole pravého a levého oka i jejich společné části, tzv. binokulárního zorného pole (viz např. obr. 2.2), závisí jak na jasu svazku paprsků dopadajících do oka (se zmenšujícím se jasem se zorné pole zmenšuje), tak na chromatičnosti tohoto světla (největší je pro světlo žluté a modré, menší pro světlo červené a nejmenší pro světlo zelené). U různých osob se velikost zorného pole liší poměrně málo. Změnu velikosti zorného pole v závislosti na chromatičnosti světla umožňuje posoudit obr. 2.3.

Pro posouzení zrakové obtížnosti vykonávané práce je vždy důležitý určitý jednorozměrný či vícerozměrný geometrický útvar (pozorovaná podrobnost), který si oko reflexním pohybem umísťuje do centra zorného pole. Pozorovaná podrobnost se na sítnici zobrazuje do středu žluté skvrny. Pro přímé rozlišení pozorované podrobnosti je rozhodující její *bezprostřední okolí*, což je část zorného pole omezená vrcholovým úhlem přibližně 20° .

Část zorného pole mezi vrcholovými úhly asi od 20° do 60° se nazývá *pozadí*. Zbývající část zorného pole od vrcholového úhlu 60° k okrajům zorného pole tvoří tzv. *vzdálené okolí*, které se na rozlišení pozorované podrobnosti podílí již jen nepřímo.

Část prostoru, kterou pozorovatel může postřehnout při pohybu oka, aniž by pohyboval tělem a hlavou, se nazývá *pohledové pole*.

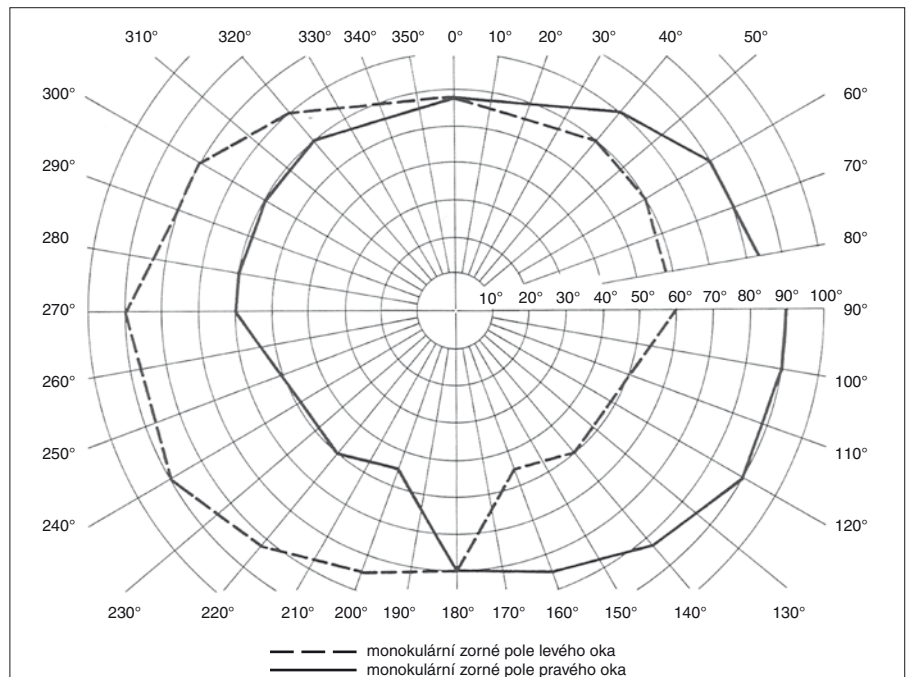
Připojí-li pozorovatel k pohybům oka ještě pohyby hlavou, obsáhne tzv. *obhledové pole*. V obhledovém poli leží zmíněné vzdálené okolí pozorovaného předmětu, a proto je v něm přesná orientace možná jen při pohybu očí i hlavy pozorovatele.

2.5 Rozlišovací schopnost

Zrakové rozlišení předmětů či podrobností je založeno na schopnosti zrakového orgánu rozeznat, že z určitých částí zorného pole vycházejí rozdílné světelné podněty, tj. na schopnosti zhodnotit *jasnost* rozlišovaných podrobností.

ru, narůstá právě se zvětšováním této veličiny. Nejmenší rozlišitelný rozdíl jasů $|L_a - L_b|_{\min} = \Delta L_{\min}$ se nazývá *práh rozlišitelnosti jasu* a jemu odpovídající kontrast $C_{\min} = \Delta L_{\min}/L_b$ je *prahový kontrast*.

Převrácená hodnota prahového kontrastu se označuje pojmem *kontrastní citlivost*. Její velikost závisí nejen na jasu L_b



Obr. 2.2. Binokulární a monokulární zorná pole pro bílé světlo

Jasnost je vlastnost zrakového počítaku, tedy pojem psychosenzorický. Zhruba lze říci, že fyzikálním protějškem pojmu jasnost je fotometrická veličina *jas*.

Abyste mohl pozorovatel rozlišit předměty pozorované v zorném poli, je třeba, aby předměty měly dostatečně rozdílné jasy, popř. barvy (kontrast jasů či barev), a u trojrozměrných předmětů aby bylo vhodně vytvořenými stíny zajištěno vyniknutí prostorové struktury a uspořádání předmětů.

Za předpokladu rovnoměrného jasu L_a rozlišované podrobnosti a jasu L_b jeho okolí, resp. pozadí, lze stupeň rozeznatelnosti podrobnosti charakterizovat *kontrastem jasu*

$$C = \frac{|L_a - L_b|}{L_b} = \frac{|\Delta L|}{L_b} \quad (2.3)$$

(–; $\text{cd}\cdot\text{m}^{-2}$, $\text{cd}\cdot\text{m}^{-2}$)

neboť pravděpodobnost zpozorování podrobnosti, resp. rozlišení jejího tva-

bezprostředního okolí rozlišované podrobnosti, tj. na adaptačním jase, ale také na velikosti pozorované podrobnosti, udávané např. v úhlových minutách. Pro určitou velikost podrobnosti s rostoucím adaptačním jase kontrastní citlivost vzrůstá. Optimální hodnot se dosahuje přibližně v oblasti jasů 100 až $5\,000\text{ cd}\cdot\text{m}^{-2}$. Při vyšších jasech však kontrastní citlivost vlivem oslnění klesá.

Pro rozeznávání dvou ploch s rozdílným jase je důležitá hladina *adaptačního jasu*. Při nízkém adaptačním jase, např. $0,0015\text{ cd}\cdot\text{m}^{-2}$, je člověk schopen rozlišit plošky s poměrem jasů 1 : 3. Při vysokých adaptačních jasech, např. $10^4\text{ cd}\cdot\text{m}^{-2}$, je možné rozeznat plochy s poměrem jasů pouze 1 : 1,01. Snadnější je tedy rozlišovat malé kontrasty jasu při vysokém průměrném jase zorného pole. Při práci, která vyžaduje rozlišovat malé kontrasty, se požaduje rovnoměrný jas zorného pole, který by se příliš nelišil od obou srovnávaných

jasů. Ale např. pro vlastní zrakový výkon (čtení, psaní) je potřebné dosáhnout kontrastu co největšího, aby bylo možné rozeznat např. písmo tužky či pera na papíře. Pro delší práci však není vhodné vytvářet prostředí zcela jasově monotónní, neboť takové prostředí po určité době vede k únavě zraku a působí útlumově. Občasné určité střídání adaptačního jasu má z tohoto hlediska stimulační účinek.

V praxi (např. v dopravě) je důležitá i rychlost rozlišování. Mnohé pokusy ukázaly [2.2], že s růstem hladiny osvětlenosti rychlost rozlišení určité podrobnosti nejprve výrazně roste, postupně se její nárůst zmenšuje, až se posléze téměř neprojevuje. Při velmi vysokých hladinách osvětlenosti se totiž zrak unaví a rychlost rozlišování začne klesat.

Důležitým kritériem pro posouzení rozlišovací schopnosti je *zraková ostrost*. Touto veličinou se oceňuje schopnost oka rozeznat proti danému pozadí dvě podrobnosti (např. body, čáry, malé plošky), které jsou velmi blízko sebe. Číselně je zraková ostrost rovna převrácené hodnotě nejmenšího úhlu α_{\min} (měřeného v minutách), pod kterým je oko schopno rozlišovat dvě zmíněné podrobnosti jako oddělené, tj. $(1/\alpha_{\min})$. Za oko s normální ostroostí se považuje takové, které rozeznává dva body, jejichž vzdálenost je vidět pod úhlem $1'$, tj. oko se zrakovou ostroostí $(1/\alpha_{\min}) = 1$. Čím menší je tedy vzdálenost pozorovaných podrobností, které oko ještě rozezná, tím větší je zraková ostrost.

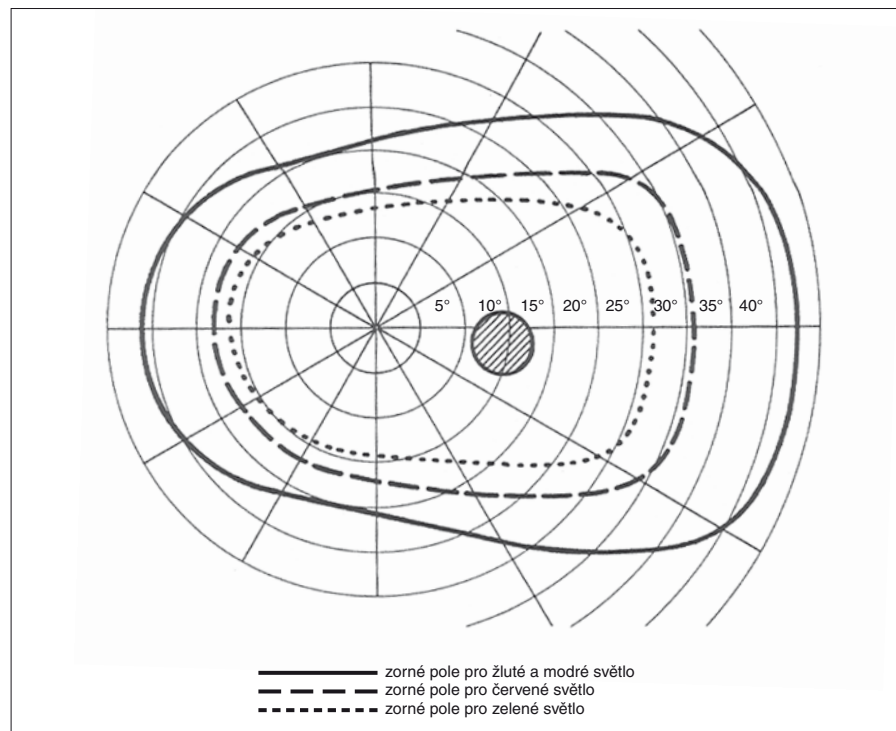
Zraková ostrost závisí na podmínkách osvětlení a zejména na adaptačním jasu, tj. na jasu pozadí. S rostoucím jasem pozadí zraková ostrost zpočátku roste rychle a pak od určitých hodnot jasu (obvykle asi od $100 \text{ cd}\cdot\text{m}^{-2}$, v některých situacích již od $25 \text{ cd}\cdot\text{m}^{-2}$) roste jen málo.

Na základě výsledků výzkumů o vjemových polích dnes již odborníci odmítají teorii, podle které zraková ostrost závisela pouze na vzdálenosti mezi dvěma fotoreceptory, mezi nimiž byl alespoň jeden receptor neozářený. Ukázalo se totiž, že náš zrak provádí rozbor obrazu promítnutého na sítnici způsobem, který je analogický Fourierově analýze, a že kanály zrakového přenosu vedou informaci o jednotlivých sinusových složkách. *Rozlišovací schopnost* je obecně určena sinusovou složkou obrazu, na jejíž frekvenci je zrak nejcitlivější. U normálně vidícího člověka je rozlišovací schopnost nejlepší při frekvenci asi 6 až 9 period na 1° zorného úhlu. Náš zrak není schopen rozlišit ani čáry velmi vysoké frekvence ani čáry velmi nízké frekvence.

Při nízkých hladinách osvětlenosti je rozlišovací schopnost zraku malá, neboť pro zvýšení pravděpodobnosti zachycení malého počtu kvant se spojuje velký počet receptorů ve vjemové pole o velkém

průměru, čímž se zmenší pravděpodobnost zjištění rozdílu několika málo kvant, čímž klesá kontrastní citlivost. Při podrobnějším studiu rozložení zrakové ostroosti na sítnici se ukázalo [2.2, 2.5], že zraková ostrost prudce klesá od centrální jamky k okrajům sítnice (viz obr. 2.5).

ce na $0,4 \text{ mm}$. Stereoskopický mechanismus binokulárního vidění značně přispívá k rozlišování a k identifikaci trojrozměrných povrchů a struktur, což souvisí se souborem informací zprostředkovaných zejména kvalitativními parametry osvětlení.



Obr. 2.3. Monokulární zorné pole pravého oka při různobarevných světelných podnětech; vyšrafovaný kroužek vyznačuje oblast, do níž se promítá slepá skvrna

V praxi se zraková ostrost zjišťuje s využitím vhodných zkušebních obrazců, na kterých musí oko z určité vzdálenosti rozeznat jisté podrobnosti. Jde např. o *Landoltovy kroužky*, což jsou vytištěné kroužky s průměrem 5 mm, na nichž jsou nepravidelně (např. v osmi různých polohách) rozloženy mezery. Zmíněné kroužky člověk pozoruje ze vzdálenosti 34,5 cm. Pro různou velikost přerušení zmíněných kroužků je nutné volit odpovídající hladinu osvětlenosti.

Tím, že člověk pozoruje předměty pravým a levým okem, každým z jiného úhlu, má možnost *prostorového* (hloubkového) vidění. Schopnost prostorového vidění je u jednotlivců velmi odlišná. Někteří rozlišují předměty i ve vzdálenosti 1 000 m, jiní mají menší schopnost prostorového vidění (jen do 300 až 500 m). Většinou se uvádí, že předměty vzdálenější než 1 300 m nemůže pozorovatel rozlišit. Ve vzdálenosti 1 000 m lze rozlišit předměty vzdálené navzájem 275 m, zatímco ve vzdálenosti 100 m se rozliší předměty vzdálené od sebe jen 3,7 m. Ve vzdálenosti 10 m lze vzájemnou vzdálenost rozlišovaných předmětů zmenšit i na 40 mm, a při vzdálenosti 1 m dokon-

2.6 Spektrální citlivost zraku

Zrakový orgán není stejně citlivý na záření různých vlnových délek. Průběh této závislosti i hranice viditelnosti jsou u různých osob odlišné. Největší citlivost oka při dobrém osvětlení je určena citlivostí čípků a nejčastěji se při fotopickém vidění pohybuje okolo 555 nm. Citlivost se obvykle udává v poměrných hodnotách vztažených k maximální absolutní hodnotě citlivosti. Pro zajištění jednotnosti světelnotechnických výpočtů s ohledem na různou spektrální citlivost jednotlivých pozorovatelů přijala Mezinárodní komise pro osvětlování (CIE) dohodu o hodnotách poměrné spektrální citlivosti tzv. normálního fotometrického pozorovatele [2.1, 2.3]. Průběh poměrné spektrální citlivosti oka normálního fotometrického pozorovatele znázorňuje na obr. 2.4 červená křivka $V(\lambda)$ pro denní vidění při vysokém adaptačním jasu (podle CIE $100 \text{ cd}\cdot\text{m}^{-2}$) a černá křivka $V'(\lambda)$ pro noční vidění při velmi nízkém adaptačním jasu (podle CIE $10^{-5} \text{ cd}\cdot\text{m}^{-2}$). Maximum křivky $V(\lambda)$ je posunuto k menším vlnovým délkám (asi 507 nm), neboť při nízkých hladinách jasů se převážně uplatňují

tyčinky. Z průběhů čar na obr. 2.4 vyplývá, že spektrální citlivost zraku je závislá na adaptačním jasu a že při přechodu od fotopického ke skotopickému vidění se snižuje jasnost červených ploch a naopak roste jasnost ploch modrých (Purkyňův jev).

Křivka spektrální citlivosti třetího typu receptorů, tj. čidel cirkadiálního systému (na obr. 2.4 modrá křivka C), vykazuje [2.7] maximum v oblasti vlnových délek 460 až 465 nm a v porovnání s čarami spektrální citlivosti $V(\lambda)$, kdy se uplatňují převážně čípkky, a $V'(\lambda)$, kdy se uplatňují převážně tyčinky, je citlivost receptorů C více soustředěna do oblasti kratších vlnových délek.

2.7 Zraková pohoda

Protože práce zraku velmi úzce souvisí s centrální nervovou soustavou, mají na zrakové vnímání podstatný vliv i různé rušivé či uklidňující momenty a obklopující prostředí, např. vzrušení, hněv, nepořádek, chlad, zvýšená teplota, hluk, přílišná pracovní vypětí, naproti tomu dobrá nálada, radost, příjemné prostředí, klid, pocit z dobře vykonané práce apod. Je proto vždy důležité vytvořit v daném prostoru podle jeho účelu a předpokládané činnosti lidí vhodné prostředí, tzv. mikroklima.

Světelné mikroklima je vytvářeno geometrickými rozměry prostoru, typem světelných zdrojů, druhem a rozmístěním svítidel, hladinami osvětlenosti a jejich rovnoměrností v různých rovinách, tedy rozložením jasů v prostoru, dále rozmístěním potřebného zařízení, barevnou úpravou prostoru a veškerého vybavení i barevným podáním a plastickým vzhledem všech předmětů a lidí v prostoru.

Z uvedeného vyplývá, že pod pojmem *zrakové pohoda* je třeba rozumět příjemný psychologický stav, při němž celý zrakový systém plní optimálně své funkce a při kterém člověk i po delším pobytu má nejen pocit, že dobře vidí, ale také se cítí psychicky dobře a prostředí, v němž se nachází, je mu vzhledově příjemné. Zraková nepohoda tedy nejenže vede k narušení zrakových funkcí, a tím k oční únavě, ale projevuje se nepříznivě v celkové kondici i náladě člověka a v jeho výkonnosti.

2.8 Oslnění

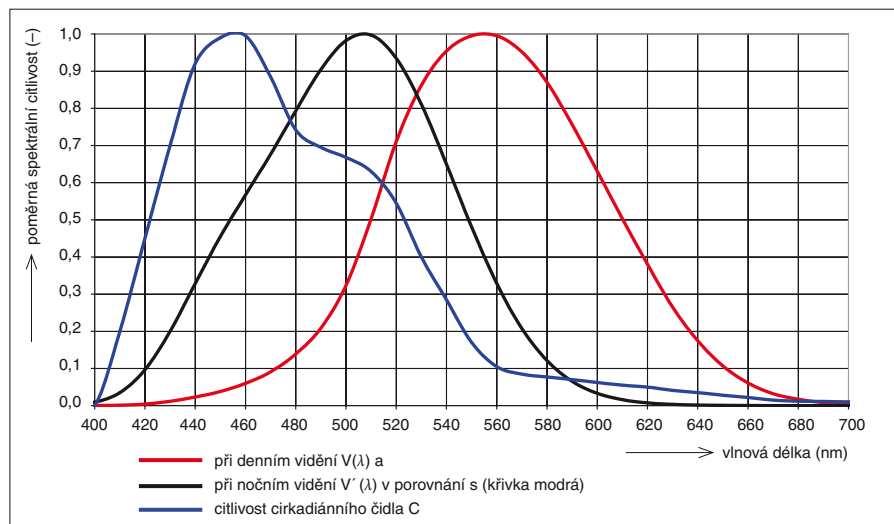
Vyskytují-li se v zorném poli oka příliš velké jasy nebo jejich rozdíly, popř. vzniknou-li velké prostorové či časové kontrasty jasů, které výrazně překračují meze adaptability zraku, vzniká *oslnění*. Při něm je ztížen až znemožněn přístup a příjem informací přinášejících světlem do oka, a tím je negativně ovlivněna činnost zrakového systému ve všech jeho kanálech a na všech jeho úrovních – a je narušena

i zraková pohoda. Oslnění je tedy nepříznivý stav zraku, který vzniká, je-li sítnice nebo její část vystavena jasu vyššímu, než na který je oko adaptováno.

Podle příčiny se rozlišuje *oslnění přímé*, způsobené nadměrným jasem svítících částí svítidel nebo hlavních 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 pře-

vatel uvědomoval, že na vině je oslnění. Měřitelné změny zrakových funkcí však psychologické oslnění nevyvolává.

Vyšší stupeň oslnění, tzn. fyziologické omezující oslnění, však již zhoršuje činnost zraku, způsobuje snížení zrakových schopností, neboť se prokazatelně snižuje zraková ostrost a kontrastní citlivost. Omezující oslnění je objektivně zjistitelné měřením změn zrakových funkcí. Krajním případem fyziologického oslnění je oslnění oslepující, což je mezní případ, označený též jako absolutní oslnění, kte-



Obr. 2.4. Poměrná spektrální citlivost zraku normálního fotometrického pozorovatele

chodu z tmavšího do světlejšího prostředí), které se zrakový systém nestačí tak rychle přizpůsobit, nastává *oslnění přechodové*. Zvláštním případem je *oslnění závojevé*, které vzniká, je-li před pozorovaným pozadím prostředí s vyšším jasem, např. při pozorování přes osvětlenou záclonu, při mlze před světlomety, zrcadlení ve skle apod.

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 jasem, na který je zrak adaptován. Podle psychofyziologických náledek se oslnění kontrastem člení na:

- oslnění psychologické
 - pozorovatelné;
 - rušivé;
- oslnění fyziologické
 - omezující,
 - oslepující.

Je tedy zřejmé, že pod psychologické oslnění je zahrnuto nejen oslnění rušivé, ale i jeho nižší stupeň – označený jako oslnění pozorovatelné [2.8]. Při psychologickém oslnění oslňující zdroj v zorném poli odpoutává pozornost pozorovatele od vlastního zrakového úkolu, vzniká subjektivní pocit zrakové nepohody a nadměrně vzrůstá únava, aniž by si pozorova-

tel znemožňuje činnost zraku vůbec, a to dokonce ještě i po určitou dobu po zániku příčiny tohoto oslnění.

Oslepující a omezující oslnění by se v osvětlovacích soustavách neměly vůbec vyskytovat, ale bránit je třeba i vzniku rušivého oslnění, zvláště v pracovních prostorech. Zábava oslnění je důležitou zásadou osvětlování a významným ukazatelem kvality osvětlení.

Hodnocení oslnění v interiérech se směs zaměřuje na přímé oslnění a je založeno na výsledcích výzkumu rušivého oslnění. Rušivé oslnění se vyšetřuje statistickým zpracováním výsledků pozorování a hodnocení situace při nejrůznějších činnostech většího počtu pozorovatelů v četných modelových laboratorních prostorech.

V rámci Mezinárodní komise pro osvětlování a rovněž v rámci evropských předpisů (přijatých i v ČR) se v současnosti míra rušivého oslnění posuzuje podle tzv. Jednotného systému hodnocení oslnění (UGR) hodnotou *indexu* (nebo jinak řečeno *činitele*) *oslnění UGR*, který se (pro n oslňujících zdrojů) počítá podle Sørensenova vzorce [2.8, 2.9], obvykle uváděného ve tvaru

$$UGR = 8 \log \left[\frac{1}{4} \sum_{i=1}^n \frac{L_{zi}^2 \Omega_i}{L_p P_i^2} \right] \quad (-; \text{cd} \cdot \text{m}^{-2}, \text{sr}, \text{cd} \cdot \text{m}^{-2}, -) \quad (2.3)$$

kde L_{zi} je jas i-tého oslňujícího zdroje ve směru k pozorovateli ($\text{cd}\cdot\text{m}^{-2}$), Ω_i prostorový úhel, pod kterým pozorovatel vidí i-tý oslňující zdroj (sr), L_p jas pozadí ($\text{cd}\cdot\text{m}^{-2}$), který se počítá z hladiny nepřímé osvětlenosti E_n v rovině oka pozorovatele z výrazu

$$L_p = \frac{1}{\pi} E_n \quad (\text{cd}\cdot\text{m}^{-2}, \text{lx}) \quad (2.4)$$

P činitel charakterizující vliv polohy oslňujícího zdroje, nejčastěji určený ze známého diagramu Luckieshe a Gutha [2.1, 2.4].

Příklady hraničních hodnot UGR pro některé prostory jsou uvedeny v tab. 2.1.

Tab. 2.1. Mezní hodnoty činitele oslnění UGR podle mezinárodních a evropských doporučení

| Pracoviště | UGR (G_{15}) | |
|-----------------------|-----------------------|----|
| pracoviště s počítači | 16 | |
| kanceláře, dozorný | 19 | |
| průmyslová pracoviště | jemná výroba | 22 |
| | běžná výroba | 25 |
| | hrubá výroba | 28 |

2.9 Vady optického vybavení oka

Kvalita optického systému oka je charakterizována ostrostitou zobrazení v úrovni sítnice. U opticky správně zobrazujícího (*emetropického*) oka se paprsky rovnoběžně dopadající na rohovku při klidové akomodaci sbíhají na sítnici do jednoho bodu. V případě, že oko vykazuje *refrakční vadu* (ametropii), sbíhají se zmíněné paprsky buď v bodě před sítnicí, kdy jde o krátkozrakost – myopii, nebo za sítnicí, kdy jde o dalekozrakost – hypermetropii.

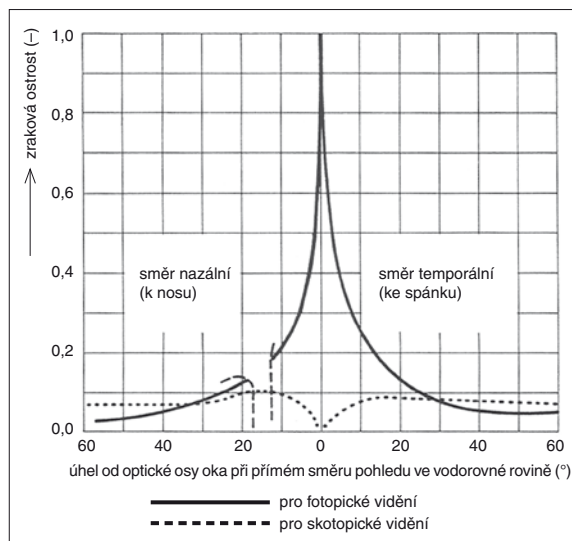
Krátkozrakost je nejčastější dioptrickou vadou, postihuje až 30 % populace a lze ji kompenzovat rozptylnými sférickými čočkami (označovanými znaménkem $-$, např. $-3,0$ D). Dalekozrakost postihuje asi 10 % populace a kompenzovat ji lze sférickými čočkami spojnými (označovanými znaménkem $+$, např. $+3,0$ D). V několika posledních letech se zmíněné optické vady oka odstraňují také opracováním přední plochy rohovky pulzním zářením ultrafialového plynového laseru.

Univerzální dioptrická vada projevující se obtížemi při běžném čtení v blízkých vzdálenostech a postihující všechny lidi starší 45 let je tzv. *stařecká dalekozrakost* (presbyopie). Akomodační schopnosti klesají asi do 52 let věku. Poté v průměru tato schopnost klesá jen málo. Presbyopie se obvykle kompenzuje brýlemi na čtení. V některých případech používají lékaři i speciální řešení, při kterém se kontaktními čočkami či chirurgickým zákro-

kem koriguje jedno oko na dálku a druhé do blízka.

U opticky normálního (emetropického) oka se však často vyskytují i další odchylky (aberrace), a to zvláště chyba sférická, chyba chromatická a fyziologický astigmatismus.

Sférická chyba je způsobena rozdílnou



Obr. 2.5. Rozdělení zrakové ostrosti na sítnici (mezi 10° a 20° nazálního směru je vyznačena oblast slepé skvrny)

lomivostí střední a okrajových částí čočky, kdy ze svazku paprsků rovnoběžných s optickou osou oka se paprsky vzdálenější od optické osy lámou blíže k čočce než paprsky centrální. Na sítnici se takový svazek paprsků nezobrazí jako bod, ale jako kruh s nejasnými okraji. Ke snížení popsané odchylky přispívá zúžení zornice. Odstranit sférickou chybu ale není možné. Určité kompenzace lze dosáhnout kvalitou umělého osvětlení.

Chromatická chyba vzniká, dochází-li při lomu světla na oční čočce k rozkladu bílého světla na jeho spektrální složky, kdy při přechodu do opticky hustšího prostředí se blíže k ose lomí světlo kratších vlnových délek než světlo dlouhovlnné. Vzdálenost mezi ohnisky obou krajních částí spektra je asi 0,6 mm (ohnisko fialového světla je blíže k čočce, než ohnisko světla červeného). Při pohledu do dálky je takové oko pro modré paprsky krátkozraké (jejich ohnisko leží před sítnicí) a pro paprsky červené dalekozraké (jejich ohnisko leží za sítnicí). Pro žluté světlo je chromatická chyba velmi malá. Tato chyba se více projevuje za šera, kdy jsou zornice rozšířeny a uplatní se i okrajové paprsky. Chromatickou chybu není možné odstranit, lze ji však vhodným osvětlením zmírnit.

Fyziologický astigmatismus je způsoben nerovnoměrným zakřivením světlolomné plochy v jednotlivých polednicích, neboť žádné oko není osově ideálně symetrické. Častěji je lomivost ve vertikální rovině vět-

ší než v rovině horizontální. Horizontální paprsky se lámou méně, vertikální paprsky se lámou více a vznikají dvě ohniskové roviny, jedna pro horizontální a druhá pro vertikální paprsky. Určité korekce lze dosáhnout tzv. cylindrickými brýlovými skly, která lomí paprsky jen v jedné rovině. Lepších výsledků se však i v tomto případě dosahuje opracováním přední plochy rohovky laserovým zářením.

K vadám optického systému oka patří též onemocnění známé pod názvem *šedý zákal* (katarakta). Při něm čočka postupně ztrácí svou průhlednost, čímž se zhoršuje vidění. Častěji se vyskytuje ve vyšším věku, zejména u pacientů s cukrovkou. Příčinou poškození čočky mohou být nejen některé oční choroby, ale také nadměrné působení infračerveného nebo ultrafialového záření. Léčba spočívá v operativním odstranění vadné čočky. Optická funkce čočky se nahradí brýlemi nebo implantací umělé čočky.

Literatura:

- [2.1] The IESNA Lighting Handbook. Illuminating Engineering Society of North America, New York, 2000. Ninth Edition. ISBN 0-87995-150-8.
- [2.2] MAŇÁK, V.: *Žrak*. Vlnařský průmysl, Brno, 1977.
- [2.3] CIE S010:2005 *Photometry – The CIE system of physical photometry*. 2005.
- [2.4] HABEL, J. a kol.: *Světelná technika a osvětlování*. FCC Public, Praha, 1995.
- [2.5] REA, M. S.: *Light – Much More Than Vision*. Rensselaer Polytechnic Institute, Troy, NY, USA 12180, Lighting Research Center, 2004.
- [2.6] *Světlo a zdraví*. In: Sborník přednášek z 1. odborného symposia CIE. 30. 9. až 2. 10. 2004, Vídeň.
- [2.7] FIGUEIRO, M. G. – BULLOUGH, J. D. – REA, M. S.: *Spectral Sensitivity of the Circadian System*. Rensselaer Polytechnic Institute, Troy, NY, USA 12180, Lighting Research Center, 2002.
- [2.8] Technical Report CIE 117 – *Discomfort Glare in Interior Lighting*. 1995.
- [2.9] ČSN EN 12464-1 *Světlo a osvětlení – osvětlení pracovních prostorů-Část 1: Vnitřní pracovní prostory*. 2004.
- [2.10] ČSN EN 12464-1/Z1 *Světlo a osvětlení – osvětlení pracovních prostorů-Část 1: Vnitřní pracovní prostory*. 2005.
- [2.11] ČSN IEC 50 (845) *Mezinárodní elektrotechnický slovník kapitola 845. Osvětlení*. 1995.