

2. ZRAKOVÝ ORGÁN A VIDĚNÍ

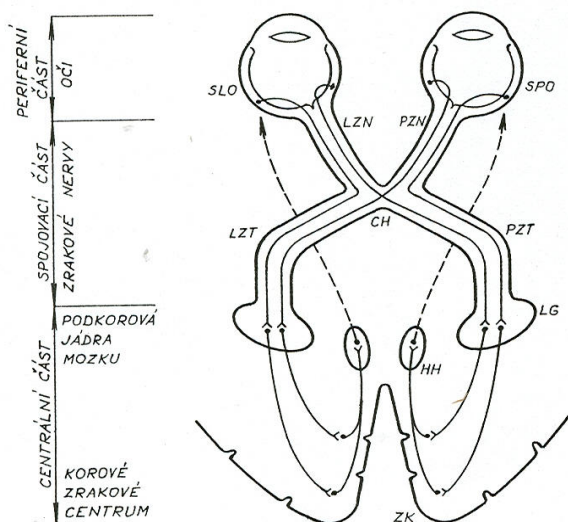
Má-li světelná technika účinně přispívat k vytváření vhodného světelného mikroklimatu zabezpečujícího v osvětlovaných prostorech zrakovou pohodu, je třeba, aby ti, kteří osvětlovací soustavy navrhují a řídí jejich realizaci, provoz a údržbu, byli alespoň do určité míry seznámeni se základy anatomie zraku, jeho fyziologie a procesu vidění, tedy mechanismu vytváření zrakových počitků a vjemů vznikajících ve vědomí člověka na základě různých světelných podnětů.

Zrakový systém člověka je při tom soustavou s velmi komplikovanou anatomickou strukturou. Fyziologie zraku jako nauka o činnosti, funkcích a nejrůznějších projevech zrakového systému, se v druhé polovině devadesátých let minulého století značně rozvíjela a bylo v ní dosaženo celé řady nových a z hlediska světelné techniky významných poznatků o procesu vidění a činnosti zraku. Především již nelze vidění chápat jako okem umožněné vnímání určité části elektromagnetického záření a ani nelze považovat zrak za zařízení pro pouhý příjem světla. Z rozboru výsledků mnoha prací [A.13] vyplynulo, že vidění je proces probíhající ve zrakovém systému a zahrnující jak příjem informace přinášené do oka světelným podnětem, tak její zpracování, transformaci optických podnětů v nervové vzruchy, které se zrakovým nervem vedou k mozgovým centrům vidění, kde vzniká zrakový počitek. Syntézou počitků se pak ve vědomí člověka vytváří vjem umožňující poznání, identifikaci pozorovaného předmětu a jeho určité zařazení ve vědomí, a to buď k bezprostřednímu využití při určité činnosti nebo k uchování v paměti k pozdější aplikaci.

Zrak tedy představuje pro člověka vlastně zařízení pro příjem a zpracování informace o vnějším prostředí. Nositelem této informace je světlo, světelný podnět. Světlo a osvětlení se takto jeví jako prostředky umožňující přijetí zmíněné informace a mohou pochopitelně příjem informace buď usnadnit nebo ztížit. K lepšímu pochopení podstaty zrakového vnímání je třeba se seznámit se základní anatomickou stavbou zrakového systému.

2.1 Zrakový systém

Zrakový systém tvoří soubor orgánů, které zajišťují příjem, přenos a zpracování informace přinášené světelným podnětem v komplex nervových podráždění, jejichž výsledkem je zrakový vjem. Zrakový systém člověka se skládá (viz obr.2.1) zhruba ze tří částí: periferní (oči člověka), spojovací (zrakové nervy) a centrální (podkorové a korové části mozku).



Obr. 2.1

Zjednodušené schéma zrakového systému

SPO, SLO - sítnice pravého a levého oka

PZN, LZN - pravý a levý zrakový nerv

CH - místo částečného překřížení nervových vláken (chiasma)

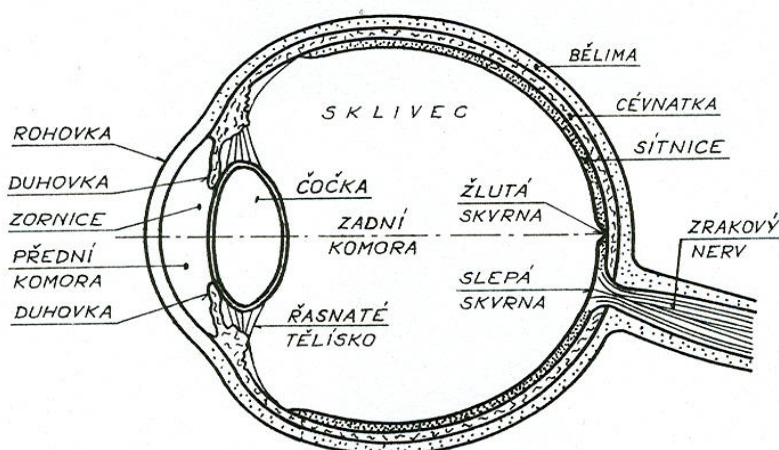
PZT, LZT - pravý a levý zrakový nervový provazec (tractus opticus)

LG - laterální genikulát (primární mozkové centrum)

HH - horní hrbolky (colliculi superiores)

ZK - zrakové korové ústředí

Oko je smyslový orgán, který zprostředkovává příjem informace o vnějším prostředí přenášené světlem a v němž se tato informace upravuje v nervová podráždění a do značné míry i zpracovává. Obě oči člověka jsou symetricky uloženy v lebce v tzv. očnicích. Tvar oka je přibližně kulový, uzpůsobený pro snadné a rychlé otáčení v očníci. Oční bulva dospělého člověka má průměr asi 24 mm. Stěnu oka v jeho zadní části (obr.2.2) tvoří tři vrstvy, a to bělima (sklera), cévnatka (chorioidea) a sítnice (retina). Bělma je neprůhledná, opálově bílá tkáň. Cévnatku tvoří spleť krevních cév a vlásečnic. Od sítnice je cévnatka oddělena tenkou elastickou blánou, přes níž cévnatka sítnici vyživuje.



Obr. 2.2 Schematický vodorovný řez pravou oční bulvou dospělého člověka

V přední části oka přechází bělima v průhledný pevný obal zvaný rohovka (kornea), kdežto cévnatka přechází jednak v tzv. řasnaté tělíčko (corpus ciliare), na němž je zavěšena oční čočka (lens) a jednak v duhovku (iris). Mezi rohovkou a duhovkou je prostor (přední komora) vyplněný vnitrooční tekutinou. Duhovka tvoří jakousi "mechanickou" optickou clonu oka. Uprostřed duhovky je přibližně kruhový otvor - zornice (pupila), kudy vstupuje do oka světlo. Průměr zorničky se mění v závislosti na smrštění či uvolnění hladkých svalů duhovky, a tím se upravuje hodnota světelného toku vstupujícího do oka. Za zornici se nachází čočka, což je průzračné dvojbypuklé tělíčko polotuhé pružné konzistence, obalené do pružného pouzdra. Po celý život člověka se při povrchu čočky vyvíjejí nová její vlákna a tak dochází k postupnému zahušťování střední části čočky a k jejímu neustálému růstu. Mezi 10. a 20. rokem života váží čočka asi 150 mg, mezi 30. a 40. rokem asi 180 mg a po 70. roce dokonce až 240 mg.

Vnitřní prostor (zadní komoru) oka vyplňuje bezbuněčná, čirá, průhledná, bezbarvá, rosolovitá a pružná hmota - sklivec. V zadní části oka asi 18° od zadního pólu směrem k nosu vystupuje z oka zrakový nerv, spojující sítnici oka s vyššími zrakovými nervovými centry v mozku. V místě, kde vstupuje zrakový nerv do sítnice, nejsou žádné nervové buňky, tedy ani fotoreceptory a toto místo se proto nazývá slepá skvrna. Uprostřed sítnice je jasně hnědá, cév prostá oblast, tzv. žlutá skvrna, jejíž střední prohloubenou část o průměru asi 1,5 mm tvoří centrální jamka (fovea).

Neuvažuje-li se cévní zásobení oka a obaly oka, lze zjednodušeně říci, že oko má dva systémy, a to systém optický a nervový. Optická část, která umožňuje, že se v sítnici vytváří převrácený, zmenšený a neskutečný obraz vnějšího světa, zahrnuje rohovku, přední komoru, duhovku se zorničkou, čočku a sklivec. Geometrická osa oka prochází jednak předním a zadním pólem oční bulvy a také geometrickým středem oční čočky. Středem centrální jamky sítnice a zmíněným geometrickým středem oční čočky je určena zraková osa oka. Optickou osou oka bývá pak nazývána myšlená přímka, kolmá na přední a zadní povrch oční čočky.

K nervovému systému oka náleží kromě nervového zásobení zejména sítnice, což je průsvitná, poměrně tenká (asi 0,2 mm) blána s velmi složitou, ale mimořádně pravidelnou buněčnou skladbou. V sítnici probíhá první zpracování zrakové informace, tj. její příjem,

zakódování do podoby schopné přenosu do vyšších úrovní zrakového systému, ale též již i určitý výběr užitečné informace.

Na zrakové nervové dráze se rozlišují čtyři úrovně specializovaných nervových buněk (neuronů), schopných přijímat a odvádět určitá podráždění, či signály :

- I. neuron zrakové dráhy tvoří v sítnici buňky citlivé na světlo (fotoreceptory), tj. čípky, tyčinky a nově objevený třetí typ fotoreceptorů – čidla cirkadiálního systému,
- II. zrakovým neuronem jsou bipolární buňky,
- III. neuronem jsou rovněž v sítnici umístěné tzv. gangliové buňky, jejichž nervová vlákna (neurity) tvoří zrakový nerv,
- IV. neuron zrakové dráhy představují těla nervových buněk vysílající své neurity z podkorových jader mozku do mozkové kůry.

V jedenácti vrstvách složité struktury sítnice jsou rozmístěny kromě již zmíněných fotoreceptorů a bipolárních a gangliových buněk i další důležité nervové buňky (nazývané např. horizontální, amakrynní, Müllerovy). Uvedené buňky, s využitím svých komplikovaných vzájemných kontaktů a propojení zpracovávají, vybírají a dále přes vlákna zrakového nervu předávají informaci, kterou v podobě časových a prostorových jasových i barevných rozdílů a změn zachytily fotoreceptory.

V sítnici je asi 6,5 milionu čípků soustředěných více ke středu sítnice a asi 125 milionů tyčinek hustěji umístěných při kraji sítnice. Centrální jamka, která je místem přímého vidění s největší rozlišovací schopností (oko zde dokáže rozlišit detaily řádu tisíce mm) obsahuje z fotoreceptorů pouze čípky (asi 800.000). Průměr čípků je asi 0,005 až 0,006 mm a tyčinek cca 0,002 mm.

Pravý a levý zrakový nerv probíhají (viz obr. 2.1) po výstupu z očí na spodině mozku do místa zkřížení (chiasmatu), kde dochází k částečnému překřížení nervových vláken. Vlákna z mediální (vnitřní) poloviny sítnice oka zde projdou do zrakového provazce (traktu) opačné strany. Vlákna zrakového nervu, vycházející z vnější (laterální) poloviny sítnice, procházejí však chiasmatem nezkřížena a ohýbají se zpět na původní stranu. Proto pravý zrakový trakt (tractus opticus) vede signály z pravých polovin obou sítnic a levý trakt z levých polovin.

Tato vlákna jsou neurity (vláknitými výběžky) gangliových buněk sítnice a končí v podkorových jádrech mozku, a to asi z 80% v primárním mozkovém centru v tzv. laterálním genikulátu a zbytek jednak v tzv. pretektálním jádře, spojeném krátkými vlákny se systémem regulace zorničky (pupilární reflex na světlo), dále v tzv. horních hrbolcích (colliculi superiores) čtverohrbolí, kde dochází k propojení s jádry systému regulace pohybu očí a hlavy a konečně v sekundárních zrakových centrech v křtu středního mozku. Z laterálního genikulátu vysílají těla nervových buněk IV. neuronu zrakové dráhy svá vlákna do kůry spánkového, temenního a zejména záhlavního laloku, tzv. koncového mozku, a tvoří tam hlavní část bílé hmoty mozkové.

Ve vlastní šedé kůře mozkové vytvářejí skupiny vláken IV. zrakového neuronu bílé pásy a proto se tato oblast zrakové mozkové kůry nazývá pruhovaná oblast. Hlavní část této oblasti leží na vnitřní straně záhlavního laloku. Hlubokou, tzv. ostruhovitou, brázdou je rozdělena na dolní a horní partii, které topologicky reprezentují horní a dolní kvadrant levé (v levé mozkové hemisféře) a pravé (v pravé hemisféře mozku) poloviny periferní části sítnice obou očí. Foveální část sítnice se naproti tomu promítá do kůry zadních pólů záhlavního laloku, kde je velmi bohatě zastoupena, což dokládá velký funkční význam centrální jamky sítnice.

Spojení mezi nervovými buňkami zrakového systému jsou na různých úrovních velmi složitá, různorodá a vykazují i četné zpětné vazby, a to i mezi centrální částí a nervovými buňkami sítnice. Do oblasti zrakové mozkové kůry přicházejí také nervová vlákna i z podkorových center jiných sensorů a jiných mimozrakových oblastí kůry. Existují rovněž komplikovaná spojení mezi oběma hemisférami mozku. Takováto vzájemná složitá propojení a vazby v centrální nervové soustavě jen potvrzují skutečnost, že osvětlení ovlivňuje nejen samotné zrakové vnímání, ale také celou řadu dalších fyziologických a biologických funkcí a projevů organismu člověka a jeho celkový psychický stav, což ve svých důsledcích podmiňuje úroveň a kvalitu pracovního výkonu člověka.

Podrobné výzkumy procesu zpracování a přenosu zrakové informace spojené s detailní analýzou informací přenášených jednotlivými nervovými vlákny ve formě frekvenčně modulovaných impulsů prokázaly, že základní funkční jednotkou sítnice není jeden fotoreceptor, ale tzv. **vjemové pole**, což je část plochy sítnice přibližně kruhového tvaru, z níž lze podráždit jedno vlákno zrakového nervu, tj. jednu gangliovou buňku sítnice. Velikost vjemových polí se mění v závislosti jak na jasů světelného podnětu, tak i na stavu adaptace sítnice. Vjemová pole jsou jednotky funkční a mohou se částečně i překrývat. V sítnici člověka existuje mnoho typů vjemových polí. U některých reaguje více střed pole na začátek podnětu a okraje na konec podnětu. U jiných polí je reakce opačná. Další pole vykazují oba typy reakcí.

Gangliové buňky reagují buď po celou dobu trvání podnětu a zprostředkovávají pak informaci o kontrastech jasů či barev a o drobných detailech (což je důležité z hlediska rozlišovací schopnosti), nebo jde o přechodné, krátké reakce na změny osvětlení, tedy o zprostředkování informace o časových změnách světelného podnětu (což je důležité z hlediska procesu adaptace).

Vjemová pole se liší i podle umístění v sítnici. V okrajové části sítnice je s jednou gangliovou buňkou spojeno až několik tisíc receptorů. V oblasti centrální jamky, kde jsou čípky hustě nahromaděny, bývá jeden receptor (čípek) spojen s jednou gangliovou buňkou, což jistě podmiňuje rozlišovací schopnost zraku, která je v této části největší. Ale i v této oblasti vedou nervová vlákna informaci do značné míry zpracovanou, zahrnující údaje o jasových rozdílech, barvách předmětů, jejich pohybech atd..

V sítnici člověka existuje mnoho různých funkčních druhů a typů vjemových polí, jejichž reakce je ovlivňována nejen úrovní osvětlenosti, ale i trváním podnětu, jeho spektrálním složením i prostorovým a časovým rozložením. Mnohonásobné spoje mezi nejrůznějšími nervovými buňkami zahrnují i mnohé zpětné vazby, které rovněž významně ovlivňují výsledné vyhodnocení přijaté informace.

2.2 Akomodace oka

Oko nedovede současně stejně ostře zobrazit na sítnici předměty nacházející se v různých vzdálenostech. Normální oko hledící do dálky zobrazuje na sítnici ostře předměty umístěné teoreticky nekonečně daleko od oka, prakticky ve vzdálenosti větší než asi 6 m. Paprsky přenášející informaci o takto vzdálených předmětech dopadají do oka rovnoběžně. Paprsky, které přenášejí informaci o předmětech umístěných blíže k oku vstupují do oka tak, že by ostré zobrazení předmětu zajistily až za sítnicí. Aby se i blízké předměty mohly na sítnici zobrazit ostře, musí se optický systém oka přizpůsobit – akomodovat.

Akomodace je schopnost oka přizpůsobit lomivost optických prostředí oka vidění do blízka změnou zakřivení hlavně přední, ale i zadní stěny čočky, vyvolanou různým stahem ciliárního svalu (řasnatého tělíska). Nejbližší bod, který může plně akomodované oko vidět ostře, se nazývá *blízký bod*. Naproti tomu názvem *vzdálený bod* se označuje nejdále umístěný bod, který dokáže oko přizpůsobené pro vidění do dálky vidět ještě ostře. S přibývajícím věkem se blízký bod oka vzdaluje. V 15 letech je tento bod vzdálen asi 9 až 10 cm, ve 30 letech asi 13 cm a v 50 letech už kolem 50 cm. Tím je dán rozsah akomodace, který se měří v dioptriích (D) a určuje se z rozdílu převrácených hodnot vzdáleností blízkého a vzdáleného bodu, tj. z výrazu

$$\text{akomodační rozsah} = \frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} \quad (\text{D; m, m}) \quad (2.1)$$

kde r_1 (r_2) je vzdálenost (m) blízkého (vzdáleného) bodu.

U patnáctiletého člověka je tedy akomodační rozsah asi 10 D, zatím co u padesátiletého jen 2 D. Krátkozraká starší osoba může však mít akomodační rozsah také 10 D, ale v rozmezí mezi 10 a 5 cm před okem.

2.3 Adaptační mechanismy

Přizpůsobení oka různým hladinám osvětlenosti se nazývá adaptace. Oko je schopné přizpůsobit se osvětlenostem svíslé roviny proložené zornicí v rozmezí asi od $0,25 \text{ lx}$ až do 10^5 lx (avšak je schopné vnímat ještě asi při $2 \cdot 10^{-9} \text{ lx}$). Takto velkým změnám osvětlenosti se oko přizpůsobuje jednak změnou citlivosti zornice (fotopupilární reflex), jednak změnou citlivosti fotoreceptorů sítnice a též změnou velikosti vjemových polí sítnice.

Průměr zornice se maximálně mění asi od 1,8 do 7,5 mm a plocha zornice se může měnit přibližně v poměru 1:16 až 1:20. Změna průměru zornice trvá asi 360 až 380 ms, ale při náhlých změnách podnětu i jen 100 ms. Zvýšení hladiny osvětlenosti vede k zúžení zornice a naopak. Ženy, mladší osoby a lidé se světlou pleť mají zornice relativně širší. S přibývajícím věkem se průměrná velikost zornic zmenšuje.

Hlavním adaptačním mechanismem je však fotochemický děj (rozklad *zrakových pigmentů* ve vnějších segmentech fotoreceptorů působením světla, resp. syntéza pigmentů vlivem tmy). V sítnici jsou čtyři druhy pigmentů. Tři z nich (chlorolab, erytrolab a cyanolab) jsou vázány na čípky. Proto existují tři druhy čípků, z nichž každý obsahuje jiný pigment. Čtvrtý pigment, zrakový purpur (rodopsín), složený z opsínu (bezbarvá bílkovina) a retinalu (nositel barvy), je vázán na tyčinky.

Rychlost rozpadu pigmentu závisí jak na parametrech předcházejícího osvětlení, jimž se oko přizpůsobilo, tak na jasu a vlnové délce nového světelného podnětu. Např. rodopsín rychle bledne účinkem žlutozeleného, modrého, zeleného a žlutého světla a naopak nejpomaleji bledne vlivem světla červeného. Proto má-li se dosáhnout rychlejší adaptace na šero při zachování zrakové orientace (kino, divadlo, rtg), používají se červené brýle nebo se místnost osvětlí červeným světlem. Regenerace fotopigmentů čípků ve tmě je podstatně rychlejší (asi 1,5 minuty) než u rodopsínu (5 minut).

Při adaptaci oka z nižšího jasu na vyšší (tzv. adaptace na světlo), např. při přechodu ze tmy na světlo, se vlivem rozkladu fotopigmentů zmenšuje citlivost fotoreceptorů. Děj je dokončen asi do jedné minuty a pak doznívá asi 10 minut. Adaptace z vyšší hodnoty jasu na nižší (tzv. adaptace na tmu), např. při přechodu ze světla do tmy, vyžaduje naopak vytvoření zásob fotopigmentů, a proto pochod trvá od několika minut při vysokých hladinách osvětlenosti až i hodinu při nízkých hladinách osvětlenosti.

Mnohem dokonalejším adaptačním mechanismem je zmenšování průměru vjemových polí sítnice při vysokých hladinách osvětlenosti a naopak jejich zvětšování při nízkých hladinách osvětlenosti. Při dostatečně vysoké hladině osvětlení, tj. např. při denním světle, se z citlivých buněk sítnice uplatňují čípky. Podle trojkomponentní teorie [A.13] existují tři druhy čípků, které se vzájemně liší svou spektrální citlivostí k záření různých vlnových délek (jeden druh je citlivý na záření v modré oblasti spektra, druhý na žlutozelené světlo a třetí na dlouhovlnné červené světlo), a tím je umožněno barevné vidění. Takové vidění se uskutečňuje při jasech vyšších než $10 \text{ cd} \cdot \text{m}^{-2}$ a nazývá se *viděním fotopickým*.

Druhá skupina na světlo citlivých buněk sítnice, tj. tyčinky, jsou asi tisíckrát citlivější než čípky a uplatňují se při hladinách osvětlenosti nižších než $0,001 \text{ cd} \cdot \text{m}^{-2}$. Toto vidění se nazývá *skotopickým*. Tyčinky nejsou citlivé na všechny barvy stejně. Nejcitlivější jsou na modrofialovou barvu, podstatně méně na barvu červenožlutou. Proto se na velkou vzdálenost rozeznává modré světlo mnohem lépe než světlo červené (Purkyňův jev). V rozmezí od $0,001 \text{ cd} \cdot \text{m}^{-2}$ do $10 \text{ cd} \cdot \text{m}^{-2}$ se při vidění uplatňují oba druhy citlivých buněk a takové vidění se nazývá *mezopickým viděním*. Přechod mezi fotopickým a skotopickým viděním je dalším adaptačním mechanismem.

K adaptačním mechanismům patří i důležitá adaptace na barvy, která zajišťuje určitou stálost vnímání barevných tónů i při poměrně velkých změnách spektrálního složení přírodního a určitého umělého světla.

Zrak člověka nepracuje staticky. Naše oči se neustále pohybují a obraz na sítnici se mění, a to s frekvencí asi 5 obrázků za sekundu. Dojem o státnosti pozorovaného prostředí vzniká díky kompenzačním mechanismům, které ruší informace o změně způsobené pohybem očí, hlavy či těla. Jako časové změny pak člověk vnímá jen skutečné probíhající proměny v jeho okolí.

Zrakový vjem nevzniká ani nezánká současně s popudem, ale s určitým časovým zpožděním. Rychlost vnímání závisí na jasu předmětů v zorném poli a zvyšuje se s růstem jasu asi do 300 cd.m^{-2} . Při jasu $0,15 \text{ cd.m}^{-2}$ je potřebný čas ke vzniku vjemu asi 1 s, zatímco při jasu 1 cd.m^{-2} asi 0,5 s. Tato okolnost je důležitá zvláště pro osvětlení dopravních cest. Rychlost vnímání roste také se zvětšováním kontrastu jasů detailu a pozadí. Trvání zrakového vjemu podstatně ovlivňuje intenzita podráždění a doba trvání světelného popudu.

Např. blesk, který trvá pouze několik μs , vyvolá vjem, trvající asi 0,3 s. Zrakový vjem vykazuje tedy určitou setrvačnost. Mění-li se intenzita (světelný tok, resp. jas) světelného podnětu periodicky s větší frekvencí než je frekvence splývání, je zrakový vjem stejný jako při světelném podnětu s intenzitou rovnou aritmetickému průměru intenzit periodického podnětu (Talbotův zákon). Frekvenci splývání f_s lze v závislosti na adaptačním jasu L_a určit ze vztahu

$$f_s = a \cdot \log L_a + b \quad (\text{Hz}; \text{Hz}, \text{cd.m}^{-2}, \text{Hz}) \quad (2.2)$$

kde a, b jsou konstanty, jejichž hodnoty jsou rozdílné pro fotopické a skotopické vidění. Např. pro světelný podnět, při němž se pravidelně střídá světlo a tma, jsou pro $L_a = 2$ až 300 cd.m^{-2} konstanty $a = 12 \text{ Hz}$, $b = 33 \text{ Hz}$.

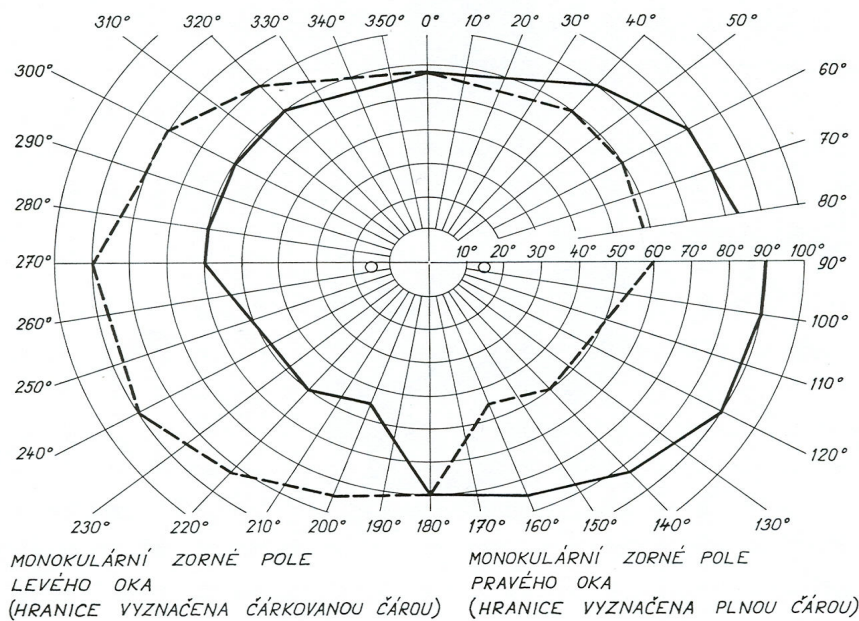
V centrech nervové soustavy vyvolávají vytríděné, upravené a zpracované informace o světelných popudech dvě kvalitativně odlišné reakce. Prvá probíhá nezávisle na vědomí člověka jako reflexní reakce celého organismu na určité dávky radiace (vliv na metabolismus, krevní skladbu apod.) a současně jako adaptační a akomodační, popřípadě motorické přizpůsobení zrakového orgánu na světelné vlivy.

Druhý komplex reakcí vyplývá ze zrakového vjemu, uvědomění si situace, a to za spoluúčasti jiných smyslových orgánů v souvislosti s poznatky z předcházejících dráždění i vzhledem ke zkušenostem zahrnutým v záznamech paměti. Uvědomění si určité vizuální informace o prostředí vyvolává také nervové impulsy v asociačních psychických zónách, které souvisí s myšlením, cítěním, pozorností, představivostí, vzrušením apod. Všechny tyto vlivy určují potom konečný postoj a reakci člověka na vizuální vjem. Funkce paměťových a pozornostních mechanismů je proto nezanedbatelnou součástí a podmínkou činnosti zraku a tyto mechanismy patří k významným fyziologickým adaptačním mechanismům. Přitom bylo prokázáno, že mechanismy pozornosti jsou rozmístěny na všech úrovních zrakového systému, včetně sítnice.

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. Nastavení optických os obou očí do jednoho bodu zajišťuje přesná souhra očních svalů. Jen tehdy totiž splývají obrazy na obou sítnicích v jeden vnímaný obraz. Není-li tomu tak, nastává zhoršené vidění, dostavuje se nevolnost, bolesti hlavy, popřípadě závratě.

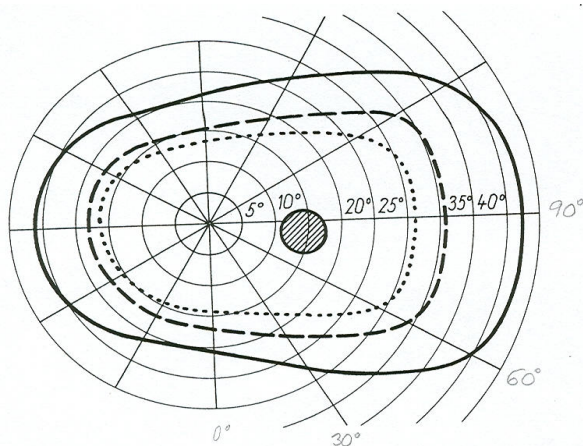
Velikost monokulárního zorného pole pravého a levého oka i jejich společné části, tzv. binokulárního zorného pole (např. viz obr. 2.3), závisí jak na jasu svazku paprsků dopadajících do oka (se zmenšujícím se jasem se zorné pole zmenšuje), tak i na chromatičnosti tohoto světla (největší je pro světlo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



Obr. 2.3

Binokulární a monokulární zorná pole pro bílé světlo. Poloha očí je označena kroužky.

Změnu velikosti zorného pole v závislosti na chromatičnosti světla umožňuje posoudit obr.2.4.



Obr. 2.4

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

- zorné pole pro žluté a modré světlo
- zorné pole pro červené světlo
- zorné pole pro zelené světlo

Pro posouzení zrakové obtížnosti prováděné práce je vždy důležitý určitý jednorozměrný či vícerozměrný geometrický útvar (tzv. *kritický detail*), který si oko reflexním pohybem umísťuje do centra zorného pole. Kritický detail se pak na sítnici zobrazuje do středu žluté skvrny. Pro přímé rozlišení kritického detailu je rozhodující jeho *bezprostřední okolí*, což je část zorného pole omezená vrcholovým úhlem asi 20°.

Kritický detail s bezprostředním okolím tvoří *pozorovaný předmět*.

Část zorného pole v okolí pozorovaného předmětu 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 kritického detailu 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 detailů je založeno na schopnosti zrakového orgánu rozeznat, že z určitých částí zorného pole vycházejí rozdílné světelné podněty, tj. na schopnosti zhodnotit *jasnost* rozlišovaných detailů.

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

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

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

$$C = \frac{|L_a - L_b|}{L_b} = \frac{|\Delta L|}{L_b} \quad (-; \text{cd.m}^{-2}, \text{cd.m}^{-2}) \quad (2.3)$$

neboť pravděpodobnost zpozorování detailu, resp. rozlišení jeho tvaru narůstá právě se zvětšováním této veličiny. Nejmenší rozlišitelný rozdíl jasů $|L_a - L_b|_{\min} = \Delta L_{\min}$ se nazývá *prahem rozlišitelnosti jasu* a jemu odpovídající kontrast $C_{\min} = \Delta L_{\min} / L_b$ je pak *prahovým kontrastem*.

Převrácená hodnota prahového kontrastu se označuje pojmem *kontrastní citlivost*. Její velikost závisí nejen na jasu L_b bezprostředního okolí rozlišovaného detailu, tj. na adaptačním jasu, ale také na velikosti kritického detailu udávané např. v úhlových minutách [A.18]. Pro určitou velikost detailu s rostoucím adaptačním jasem kontrastní citlivost vzrůstá. Optimálních hodnot se dosahuje přibližně v oblasti jasů 100 až 5000 cd.m^{-2} . Při vyšších jasech však kontrastní citlivost vlivem oslnění klesá.

Pro rozeznávání dvou ploch s rozdílným jasem je důležitá hladina *adaptačního jasu*. Při nízkém adaptačním jasu, např. 0,0015 cd.m^{-2} , je člověk schopen rozlišit plošky s poměrem jasů 1:3. Při vysokých adaptačních jasech, např. 10⁴ cd.m^{-2} , je možné rozeznat plochy s poměrem jasů pouze 1:1,01. Snadnější je tedy rozlišovat malé kontrasty jasu při vysokém průměrném jasu 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 například písmo tužky či pera na papíře. Pro delší práci však není vhodné vytvářet prostředí zcela jasově monotónní, neboť takové prostředí vede po určité době 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 [A.13, A.14], že s růstem hladiny osvětlenosti rychlost rozlišení určitého detailu nejprve výrazně stoupá, postupně se její nárůst zmenšuje, až se posléze téměř neprojevuje. Při velmi vysokých hladinách osvětlenosti se totiž zrak unaví a rychlost rozlišování začne klesat.

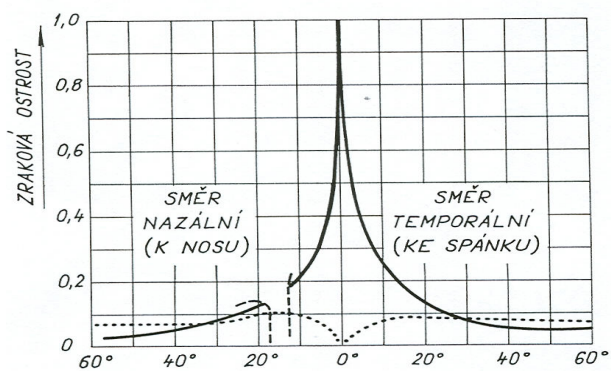
Důležitým kritériem pro posouzení rozlišovací schopnosti je *zraková ostrost*. Touto veličinou se oceňuje schopnost oka rozeznat vůči danému pozadí dva detaily (např. body, čáry, malé plošky), které jsou velmi blízko sebe. Číselně je zraková ostrost rovna převráceně hodnotě nejmenšího úhlu (měřeného v minutách), pod kterým je oko schopno rozlišovat dva zmíněné detaily jako oddělené, tj. $(1 / \alpha_{\min})$.

Za oko s normální ostrostí se považuje takové, které rozeznává dva body, jejichž vzdálenost je vidět pod úhlem 1', tj. oko se zrakovou ostrostí $(1 / \alpha_{\min}) = 1$. Čím menší je tedy vzdálenost pozorovaných detailů, 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 stoupá zpočátku rychle a pak od určitých hodnot jasu (obvykle asi od 100 cd.m^{-2} , v některých situacích již od 25 cd.m^{-2}) roste jen málo.

Na základě výsledků výzkumů o vjemových polích se již dnes odmítá teorie, podle níž 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 pak 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 ostrosti na sítnici se ukázalo [A.13], že zraková ostrost prudce klesá od centrální jamky k okrajům sítnice (viz obr. 2.5).



Obr. 2.5
Rozdělení zrakové ostrosti na sítnici

pro fotopické vidění – plnou čarou
pro skotopické vidění – tečkovaně
(Mezi 10° a 20° nazálního směru je vyznačena oblast slepé skvrny.)

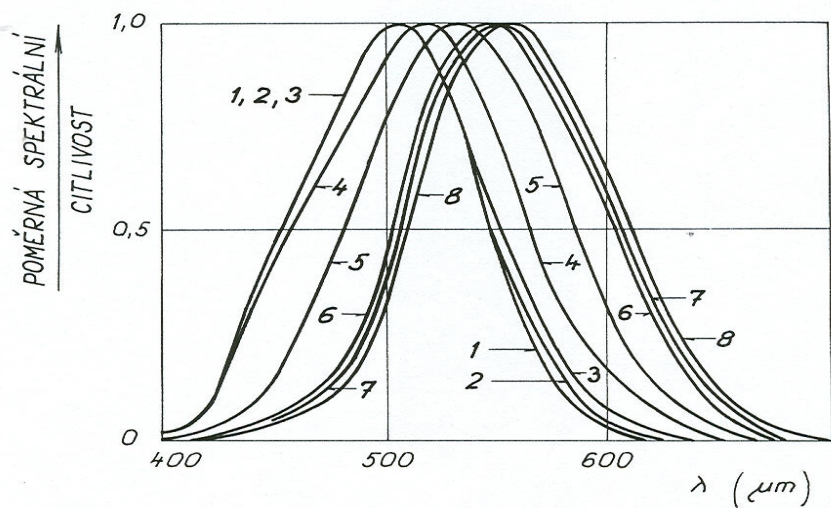
Prakticky se zraková ostrost zjišťuje s využitím vhodných zkušebních obrazců, na kterých musí oko z určité vzdálenosti rozeznat jisté detaily. Jde např. o *Landoltovy kroužky*, což jsou vytištěné kroužky s průměrem 5 mm, na nichž jsou nepravidelně (např. v osmi různých polohách) rozloženy mezery. Zmíněné kroužky se pozorují ze vzdálenosti 34,5 cm. Pro různou velikost přerušování zmíněných kroužků je nutno 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 pochopitelně u jednotlivců velmi odlišná. Někteří rozlišují předměty i ve vzdálenosti 1000 m, jiní mají menší schopnost prostorového vidění (jen do 300 až 500 m). Většinou se uvádí, že předměty vzdálenější než 1300 m nemůže pozorovatel rozlišit. Ve vzdálenosti 1000 m lze rozlišit předměty vzdálené navzájem 275 m, zatím co ve vzdálenosti 100 m se již 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 dokonce na 0,4 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.

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 (viz odst.3.1). Citlivost se obvykle udává v poměrných hodnotách vztažených k maximální absolutní hodnotě citlivosti.

Spektrální citlivost složitého přijímacího systému zrakového analyzátoru je závislá na adaptačním jasu [A.15]. Tato závislost se výrazněji projevuje v podmínkách mezopického vidění, jak je zřejmé z obr. 2.6.



Obr. 2.6 Křivky poměrné spektrální citlivosti zraku k záření různých vlnových délek pro různé adaptační jasy L_a

Označení křivek :

- 1 – $L_a = 10^{-5} \text{ cd.m}^{-2}$ [křivka $V'(\lambda)$ podle CIE pro skotopické vidění]
- 2 – $L_a = 10^{-4} \text{ cd.m}^{-2}$
- 3 – $L_a = 10^{-3} \text{ cd.m}^{-2}$
- 4 – $L_a = 10^{-2} \text{ cd.m}^{-2}$
- 5 – $L_a = 0,1 \text{ cd.m}^{-2}$
- 6 – $L_a = 1 \text{ cd.m}^{-2}$
- 7 – $L_a = 10 \text{ cd.m}^{-2}$
- 8 – $L_a = 100 \text{ cd.m}^{-2}$ [křivka $V(\lambda)$ podle CIE pro fotopické vidění]

Aby se zajistila jednotnost světelně technických výpočtů s ohledem na různou spektrální citlivost jednotlivých pozorovatelů, přijala Mezinárodní komise pro osvětlování (CIE) dohodu o hodnotách spektrální citlivosti tzv. *normálního fotometrického pozorovatele*. Průběh poměrné spektrální citlivosti oka normálního fotometrického pozorovatele znázorňují na obr.2.6 křivka 8 $\equiv V(\lambda)$ pro fotopické vidění [ČSN IEC 50(845)] a křivka 1 $\equiv V'(\lambda)$ pro skotopické vidění. Maximum křivky $V'(\lambda)$ je posunuto ke kratším vlnovým délkám (asi 507 nm), neboť při nízkých hladinách jasů se uplatňují převážně tyčinky. Z průběhů čar na obr. 2.6 vyplývá, že při přechodu od fotopického ke skotopickému vidění se snižuje jasnost červených ploch a naopak roste jasnost ploch modrých (Purkyňův jev).

Pozn.

Křivka spektrální citlivosti třetího typu receptorů, čidel cirkadiálního systému, vykazuje maximum v oblasti vlnových délek 460 až 465 nm a jak je zřejmé z průběhů na obr. 1.3 (kapitola 1. Elektromagnetické záření) je jejich citlivost v porovnání s čarami spektrální citlivosti čípků [křivka $V(\lambda)$] a tyčinek [křivka $V'(\lambda)$] 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 vlivy obklopujícího prostředí, např. vzrušení, hněv, nepořádek, chlad, zvýšená teplota, hluk, přílišné pracovní vypětí, na druhé straně 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 osvětleností a jejich rovnoměrností v různých rovinách, tedy rozložením jasů v prostoru, dále rozmístěním potřebného zařízení, barevnou úpravou prostoru a veškerého vybavení a konečně i barevným podáním a plastickým vzhledem všech předmětů a lidí v prostoru.

Z uvedeného vyplývá, že pod pojmem *zraková pohoda* je třeba rozumět příjemný psychologický stav, při němž celý zrakový systém plní optimálně své funkce a při kterém má člověk i po delším pobytu nejen pocit, že dobře vidí, ale cítí se také 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, popřípadě 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 světlem přinášovaných informací do oka, a tím je negativně ovlivněna činnost zrakového systému ve všech jeho kanálech a na všech jeho úrovních - a pochopitelně je narušena i zraková pohoda. Oslnění je tedy nepříznivý stav zraku, k němuž dochází, 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 přechodu z tmavšího do světlejšího prostředí), které se zrakový systém nestačí tak rychle přizpůsobit, dochází k *oslnění přechodovému*. 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 světlometry, 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 psychofyzilogických následků se oslnění kontrastem člení na:

1. oslnění psychologické - pozorovatelné
- rušivé
2. oslnění fyziologické - omezující
- oslepující

Jak je patrné, je pod psychologické oslnění zahrnuto nejen oslnění rušivé, ale i jeho nižší stupeň označený jako oslnění pozorovatelné [A.17]. 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 pozorovatel uvědomoval, že je to zaviněno oslněním. 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 zjištělně měřením změn zrakových funkcí. Krajním případem fyziologického oslnění je oslnění oslepující, což je mezní případ, označený též jako absolutní oslnění, které znemožňuje činnost zraku vůbec, a to dokonce ještě i po nějakou dobu po zániku příčiny tohoto oslnění.

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

Hodnocení oslnění v interiérech se vesměs 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. Do roku 2004 se v evropských zemích k hodnocení oslnění využívaly v zásadě dva způsoby. Prvý způsob hodnocení oslnění byl založen na výpočtu indexu oslnění, popřípadě činitele oslnění G z různě modifikovaného empirického vzorce. Při využití druhého postupu se úroveň zábrany oslnění hodnotila podle toho, zda jasy použitých svítidel nepřekročily ve sledovaných směrech dovolené maximální hodnoty.

U prvního způsobu se při tvorbě empirického vzorce pro výpočet činitele oslnění vycházelo z úvahy, že stupeň oslnění je tím vyšší, čím, je vyšší jas L_z oslňujícího zdroje (ve směru ke kontrolnímu místu) a čím větší je prostorový úhel Ω , pod nímž je z kontrolního místa vidět oslňující zdroj a naopak, že stupeň oslnění klesá s rostoucím průměrným jasnem L_p pozadí (adaptačním jasnem). Pro jeden oslňující zdroj (resp. svítidlo) lze zmíněný vztah zapsat ve tvaru

$$G = \frac{L_z^a \cdot \Omega^b}{L_p^c \cdot P^d} \quad (-; -, \text{cd.m}^{-2}, \text{sr}, \text{cd.m}^{-2}) \quad (2.4)$$

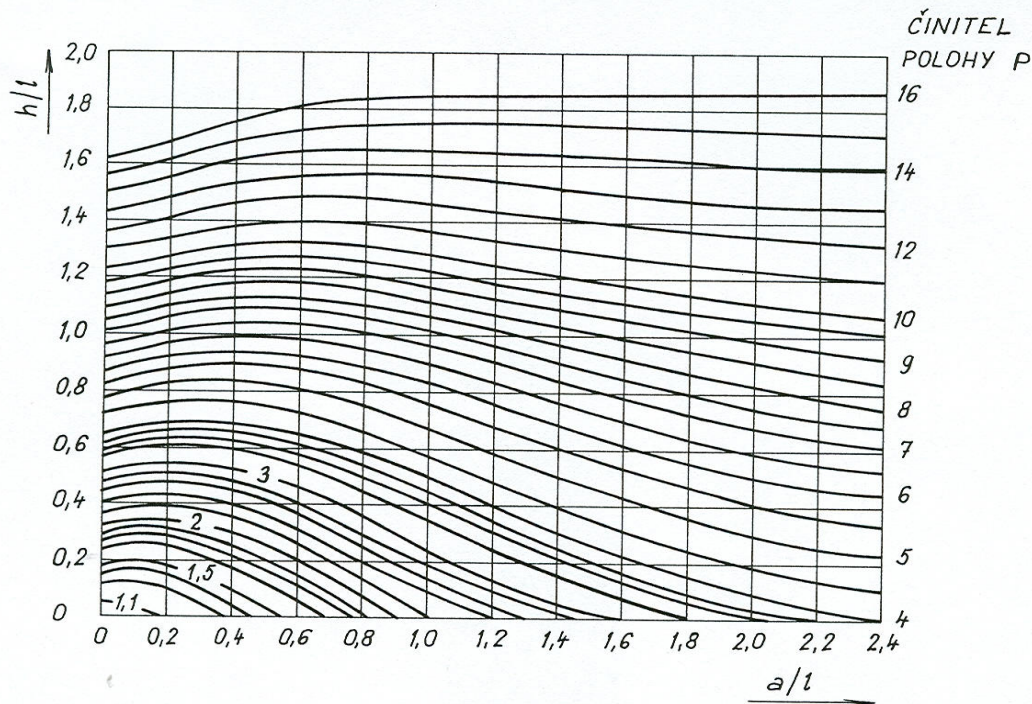
kde P je činitel charakterizující vliv polohy oslňujícího zdroje, určený nejčastěji podle Luckieshe a Gutha [A17] z diagramu na obr. 2.7.

a, b, c, d jsou empiricky stanovené exponenty. Příklady hodnot těchto exponentů jsou uvedeny v tab. 2.1.

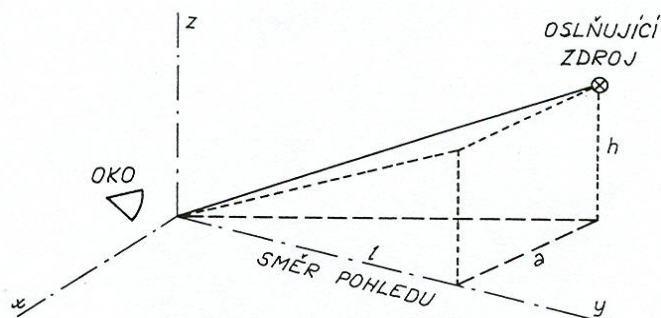
Tab. 2.1

exponent	a	b	c	d
autor				
Netušil	1	0,4	0,5	1 ^{*)}
Harrison	2	1	0,6	1
Arndt-Bodmann-Muck	1	0,33	0,66	1
Hopkinson	1,6	0,8	1	1,6
Sørensen	2	1	1	2

^{*)} exponent činitele polohy K byl v čitateli vztahu p.Netušila a stanovoval se s využitím zvláštních grafických pomůcek (viz např. zrušenou normu ČSN 360008).



Obr. 2.7 Nomogram Luckieshe a Gutha pro stanovení činitele polohy P v závislosti na umístění oslňujícího zdroje vůči ose pohledu při uspořádání podle obr. 2.8



Obr. 2.8 Geometrické uspořádání oslňujícího zdroje a oka pozorovatele

- l - vzdálenost oka pozorovatele od roviny proložené oslňujícím zdrojem kolmo k ose pohledu,
- h - výška oslňujícího zdroje nad vodorovnou rovinou proloženou osou pohledu,
- a - boční vzdálenost oslňujícího zdroje od vertikální roviny proložené osou pohledu.

Při existenci více oslňujících zdrojů se dílčí hodnoty činitelů oslnění vypočtené pro jednotlivé zdroje buď prostě sčítají nebo autoři metod na podkladě statistického zpracování předepisují složitější postupy (např. se výsledný činitel oslnění stanovuje jako odmocnina ze součtu čtverců dílčích hodnot).

Někteří autoři ještě navíc používají osmi nebo desetinásobného logaritmického vyjádření činitele oslnění, neboť tímto postupem získané číselné hodnoty činitele, označované obvykle jako index oslnění (glare index GI), dovolují lépe objektivně vystihnout subjektivní změny pocitu pozorovatelů o stupni oslnění. Již pouhá změna o jednotku hodnoty činitele oslnění v takto vzniklé nové stupnici odpovídá totiž u průměrného pozorovatele citelně změně pocitu stupně oslnění. Je pochopitelné, že dovolené hodnoty činitele či indexu oslnění jsou u každého autora jiné.

V rámci Mezinárodní komise pro osvětlování a rovněž v rámci evropských předpisů (přijatých i v naší republice) se v současnosti ke stanovení indexu oslnění (pro n oslňujících zdrojů) doporučuje využívat Sørensenova vzorce [A.20] ve tvaru

$$GI_S = UGR = 8 \cdot \log \left| \frac{1}{4} \sum_{i=1}^n \frac{L_{zi}^2 \cdot \Omega_i}{L_p \cdot P_i^2} \right| \quad (-; \text{cd} \cdot \text{m}^{-2}, \text{sr}, \text{cd} \cdot \text{m}^{-2}, -) \quad (2.5)$$

S využitím uvedeného vztahu je vytvořen tzv. *Jednotný systém hodnocení oslnění* (UGR).

V tomto systému se pak již místo indexu oslnění GI_S pracuje *činitelem oslnění UGR*.

Jas pozadí L_p se podle Sørensenova počítá z hladiny nepřímé osvětlenosti E_n v rovině oka pozorovatele z výrazu

$$L_p = \frac{1}{\pi} E_n \quad (\text{cd} \cdot \text{m}^{-2}, \text{lx}) \quad (2.6)$$

Mezní hodnoty indexu oslnění GI_S , resp. činitele oslnění UGR se shodují s hodnotami používanými v britském systému hodnocení oslnění. Příklady hraničních hodnot UGR (GI_S) pro některé prostory jsou uvedeny v tab. 2.2.

Tab. 2.2 Mezní hodnoty činitele oslnění UGR podle mezinárodních a evropských doporučení

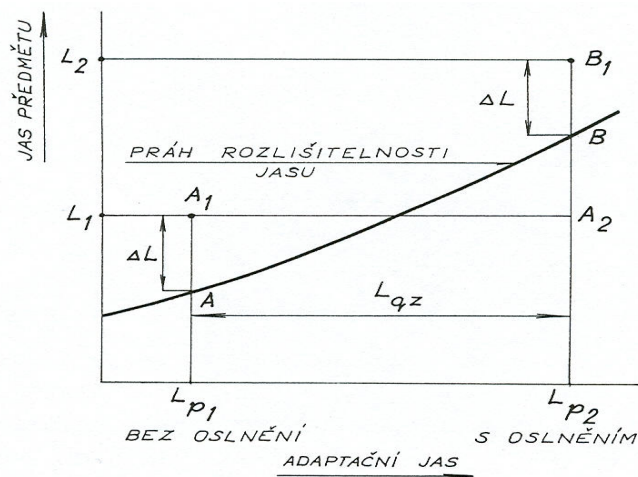
Pracoviště		UGR (GI_S)
pracoviště s počítači		16
kanceláře, dozorny		19
průmyslová pracoviště	jemná výroba	22
	běžná výroba	25
	hrubá výroba	28

Druhý systém hodnocení oslnění často používaný před přijetím Jednotného systému hodnocení oslnění UGR zejména v rámci zemí střední Evropy byl, německý systém omezení oslnění, aplikovaný i v naší dřívější normě ČSN 360450 „Umělé osvětlení vnitřních prostorů“ a známý jako Metoda hodnocení oslnění podle jasu svítidel či Söllnerova metoda. Německý systém omezení oslnění umožňuje hodnotit globálně celou osvětlovací soustavu. Platnost metody je omezena na hodnocení celkového osvětlení s jedním typem svítidel v pravidelném uspořádání při převážně vodorovném směru pozorování v prostorech s činitelem odrazu stropu nejméně 0,5 a stěn (resp. zařízení místnosti) alespoň 0,25. Hodnocená osvětlovací soustava se podle požadavků na kvalitu osvětlení zařadí do určité třídy omezení oslnění a podle jmenovité hodnoty průměrné hladiny osvětlenosti srovnávací roviny se pak s využitím připravených diagramů ověřuje, zda jasy použitých svítidel nepřekračují statisticky stanovené maximální hodnoty jasů. Tím bylo zajištěno, že alespoň polovina respondentů by z hlediska oslnění posuzovanou osvětlovací soustavu hodnotila jako vyhovující.

Je třeba poznamenat, že i v rámci Jednotného systému hodnocení oslnění UGR je možno postup obdobný popsané Metodě hodnocení oslnění podle jasu svítidel aplikovat a pro některé případy jsou již potřebné grafické pomůcky vypracovány.

Při hodnocení fyziologického oslnění se vychází z úvahy, že oslnění vyvolává uvnitř oka určitý rozptyl světla, jehož vliv lze postihnout hodnotou ekvivalentního závoje jasů. To je jas, o který je třeba zvýšit původní adaptační jas, aby se za stavu bez fyziologického oslnění dosáhlo prahu rozlišitelnosti jasů zjištěného při oslnění. Vychází se při tom z předpokladu, že závislost prahu rozlišitelnosti jasů předmětu na adaptačním jasem je přibližně lineární.

Situaci vystihuje obr. 2.9 . Je-li při adaptačním jasu L_{p1} ke spolehlivému rozlišení určitého předmětu (bod A_1) zapotřebí rozdílu ΔL jasu předmětu L_1 a prahu rozlišitelnosti jasu v bodě A, pak při oslnění lze vliv rozptylu světla uvnitř oka interpretovat tak, jakoby oslněná část sítnice byla adaptována na vyšší jas L_{p2} . Předmět, jehož jas je L_1 , je při adaptačním jasu L_{p2} již nerozlišitelný, neboť bod A_2 leží pod prahem B rozlišitelnosti jasu. Původní rozlišitelnosti se dosáhne zvýšením jasu předmětu (bod B_1) na hodnotu L_2 , aby byl opět zachován rozdíl jasů ΔL od prahu rozlišitelnosti, tj. od bodu B. Rozdíl adaptačních jasů ($L_{p2} - L_{p1}$) se pokládá za měřítko působení rozptylu světla (vzniku závoje) v očních médiích a je tedy roven ekvivalentnímu závojevému jasu $L_{qz} = L_{p2} - L_{p1}$



Obr. 2.9

Určení ekvivalentního závojevého jasu L_{qz}

Poměr prahu rozlišitelnosti jasu při existenci fyziologického oslnění $\Delta L_{\min S}$ k prahu rozlišitelnosti jasu v situaci bez oslnění ΔL_{\min} se podle Holladaye nazývá *činitel omezujícího oslnění* S_H

$$S_H = \frac{\Delta L_{\min S}}{\Delta L_{\min}} = \frac{L_{p2}}{L_{p1}} = \frac{L_{p1} + L_{qz}}{L_{p1}} = 1 + \frac{L_{qz}}{L_{p1}} \quad (2.7)$$

Vzhledem k tomu, že hodnoty činitele S_H se běžně jen málo liší od 1, doporučila Mezinárodní komise pro osvětlování CIE pracovat s *indexem omezujícího oslnění* S_M definovaným vztahem

$$S_M = (S_H - 1) \cdot 10^3 = \frac{L_{qz}}{L_{p1}} \cdot 10^3 \quad (2.8)$$

Holladay experimentálně ověřil, že ekvivalentní závojevý jas L_{qz} způsobený bodovým zdrojem lze stanovit z výrazu

$$L_{qz} = c \cdot \frac{E}{\Theta^n} \quad (\text{cd.m}^{-2}; -, lx, ^\circ, -) \quad (2.9)$$

kde E je osvětlenost oka zajištěná oslňujícím zdrojem v rovině proložené v místě zornice kolmo k optické ose oka,

θ je úhel sevřený osou pohledu a spojnicí oka s oslňujícím zdrojem ($^\circ$),

n je exponent (podle Adriana $n = 1,71$, běžně se však uvažuje $n = 2$),

c je činitel závislý na jasu L_Z oslňujícího zdroje.

Pro $5 \cdot 10^3 \text{ cd.m}^{-2} \leq L_Z \leq 10^6 \text{ cd.m}^{-2}$ se hodnota c určí z výrazu

$$c = 3 \cdot \log L_Z - 8,54 \quad (-; \text{cd.m}^{-2}) \quad (2.10)$$

Pro jasy $L_Z \geq 10^6 \text{ cd.m}^{-2}$ je $c = 9,46$.

Výsledný ekvivalentní závojevý jas L_{qz} od zdrojů oslnění lze určit z empirického vztahu

$$L_{qz} = \left[\sum_{i=1}^m (L_{qzi})^{(3/2)} \right]^{(2/3)} \quad (\text{cd.m}^{-2}; \text{cd.m}^{-2}) \quad (2.11)$$

kde L_{qzi} je ekvivalentní závojevý jas od i -tého oslňujícího zdroje.

Oko je nejcitlivější na oslnění ve směru osy pohledu a v jejím okolí asi do úhlu 14° . V oblasti úhlů 14° až 27° od osy pohledu je vliv jasů oslňujících zdrojů menší, ale stále citelný. Teprve vyskytují-li se zdroje oslnění v oblasti větších úhlů od osy pohledu, je jejich vliv z hlediska fyziologického oslnění malý.

2.9 Vady optického vybavení oka

Kvalita optického systému oka je charakterizována ostrostí 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 je ji možno sférickými čočkami spojnými (označovanými znaménkem $+$, např. $+3,0$ D). V 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). Výrazný pokles akomodačních schopností probíhá asi do 52 let věku. Pak se již v průměru tato schopnost snižuje jen málo. Presbyopie se obvykle kompenzuje brýlemi na čtení. V některých případech používají lékaři i speciální techniku „monovision“, při které kontaktními čočkami či chirurgickým zákrokem korigují 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 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 větší 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 ztrácí postupně svou průzračnost, 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 buď brýlemi, nebo implantací umělé čočky.

Literatura

- [2.1] Hober, H. Das Sehen I., II. Leipzig, Fachbuchverlag 1969.
- [2.2] Maňák, V.: Zrak. GŘ Vlnářského průmyslu, Brno 1977.
- [2.3] Krtilová, A. – Matoušek, J. – Monzer, L.: Světlo a osvětlování. Praha, Avicenum – zdravotnické nakladatelství 1981.
- [2.4] Meškov, V.V. – Jupaněnikov, M.M.: Osvětlovací soustavy. Praha, SNTL 1979.
- [2.5] Fischer, D.: Blendung. Neuer EIsatz für ein internationales Blendungsbewertungssystem. Licht 1990, Nr.1.
- [2.6] Lighting handbook. III. Eng. Society of North America. Ninth Edition. ISBN 0-87995-150-8. New York 2000.
- [2.7] Meškov, V.V. – Matvejev, A.B.: Osnovy svetotekhniki. Čast' 2 –Fiziologičeskaja optika i kolorimetrija. Moskva, Energoatomizdat 1989.
- [2.8] Figueiro, M. G., Bullough, J. D. and Rea, M. S. : Spectral Sensitivity of the Circadian System. Rensselaer Polytechnic Institute, Troy, NY, USA 12180, Lighting Research Center, 2002.
- [2.9] Technical Report CIE 117 – Discomfort Glare in Interior Lighting. 1995.
- [2.10] Rea, M.S.: Light – Much More Than Vision. Rensselaer Polytechnic Institute, Troy, NY, USA 12180, Lighting Research Center, 2004.
- [2.11] Lichttherapie und klinische Anwwwendungen von Licht, PhotonWave. Light Stimulator. Publ. Rainbow Flasch c.v.b.a. Antwerpen, Belgium, 1999.
- [2.12] Lieberman, J.: The effects of syntonice colored light stimulation on certain visual and cognitive functions. Journal of Optometric Vision Development 1986, 17 (June).
- [2.13] ČSN 011710 Poměrná světelná účinnost barevného záření.
- [2.14] ČSN IEC 50 (845) Mezinárodní elektrotechnický slovník. Kapitola 845 Osvětlení. 1995.
- [2.15] ČSN EN 12464-1 Světlo a osvětlení – Osvětlení pracovních prostorů – část 1: Vnitřní pracovní prostory. ČNI, Praha 2004.