

MASARYKOVA UNIVERZITA

Lékařská fakulta

**ZRAKOVÁ OSTROST A CITLIVOST-
VLIV FYZIKÁLNÍCH PARAMETRŮ
PROSTŘEDÍ**

Diplomová práce

Vedoucí práce:

Mgr. Vladan Bernard, Ph.D.

Vypracovala:

Bc. Gabriela Hanulíková

Studijní obor: Optometrie

Brno, Květen 2013

Anotace:

Téma diplomové práce je zaměřeno na vliv fyzikálních parametrů prostředí na zrakovou ostrost a senzitivitu lidského oka. Teoretická část je rozdělena do dvou oddílů. V prvním úseku jsou popsány anatomické a fyziologické souvislosti, druhý je věnován jednomu z hlavních a nejvýraznějších fyzikálních činitelů prostředí, který má vliv na zrakové vnímání, světlu. Podrobněji je zde objasněna jeho fyzikální podstata, fotoelektrický jev a v neposlední řadě také světelné zdroje používané zejména k osvětlování vnitřních prostor. Vlastní výzkum se zabývá vlivem intenzity osvětlení na zrakovou ostrost a subjektivní vnímání a hodnocení barev.

Annotation:

Thesis is focused on the effect of environmental physical parameters on visual acuity and sensitivity of human eye. The theoretical part is divided into two sections. The first part describes the anatomical and physiological connections; the second portion is devoted to the one of the main and the most significant environmental physical factor, which affects the visual perception, the light. In more details is clarified the physical nature of light, the photoelectric effect and the light sources used to the interior lighting. The research deals with the effect of the illuminance to visual acuity and subjective perception and evaluation of the colors.

Klíčová slova: biochemie vidění, adaptace sítnice, podstata světla, intenzita osvětlení, fotoelektrický jev, světelné zdroje, zářivka, měření intenzity osvětlení, luxmetr

Key words: biochemistry of vision, human retinal adaptation, nature of light, intensity of illumination, photoelectric effect, light sources, fluorescent tube, measuring the light intensity, luxmeter

PROHLÁŠENÍ:

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci na téma: Zraková ostrost a citlivost-vliv fyzikálních parametrů prostředí vypracovala samostatně za pomoci literatury, která je uvedena v seznamu na konci práce.

Souhlasím, aby práce byla uložena na Masarykově univerzitě v Brně v knihovně Lékařské fakulty a byla zpřístupněna studijním účelům.

.....
Gabriela Hanulíková

Poděkování: Děkuji Mgr. Vladanu Bernardovi, Ph.D., vedoucímu své diplomové práce, za odbornou pomoc, cenné rady a připomínky a trpělivost, která byla potřebná při vedení této práce. Dále bych touto cestou chtěla vyslovit poděkování své rodině za nemalou pomoc při práci na výzkumu, dobrovolníkům a přátelům, kteří podstoupili tato měření a všem, kteří mi se zvládnutím této práce pomáhali.

Obsah

Úvod	
1. SÍTNICE A ZRAKOVÁ DRÁHA	1
1.1. Sítňice	1
1.1.1. Buňky sítnice	1
1.1.2. Struktura sítnice	3
1.1.3. Zvláštní úseky sítnice	4
1.2. Vjemová pole	4
1.3. Zraková dráha	5
1.4. Biochemie vidění	6
1.4.1. Mechanismus vidění pomocí tyčinek	7
1.4.2. Mechanismus vidění pomocí čípků	8
1.5. Adaptace sítnice	9
1.5.1. Adaptační mechanismy	10
1.5.2. Oslnění	11
2. ZRAKOVÁ OSTROST	14
2.1. Rozlišovací schopnost a kontrastní citlivost	14
2.2. Zraková ostrost	14
2.3. Prahové hodnoty	16
3. VYŠETŘOVÁNÍ ZRAKOVÉ OSTROSTI	17
3.1. Vyšetření zrakové ostrosti do dálky-vyjádření zrakové ostrosti, odstupňování řádků na optotypu, metody hodnocení	17
3.1.1. Optotypové znaky	19
3.1.2. Konstrukce optotypů	20
3.2. Vyšetření zrakové ostrosti do blízka	22
4. OKO JAKO OPTICKÝ SYSTÉM	23
4.1. Fyziologické optické vady	23
4.1.1. Difrakce světla	23
4.1.2. Chromatická aberace	23
4.1.2.1. Chromatická diference zvětšení	24
4.1.3. Sférická aberace	24
4.1.4. Decentrace	24
4.2. Refrakční vady	25
4.2.1. Refrakční vady	25

4.2.2.	Emetropie, ametropie	26
4.2.2.1.	Ametropie sférické	27
4.2.2.2.	Ametropie asférická	28
5.	HISTORICKÝ VÝVOJ NÁZORŮ NA PODSTATU SVĚTLA.....	30
5.1.	Starověké Řecko.....	30
5.2.	Středověká Arábie	31
5.3.	17. století až 20. století v Evropě	31
6.	OPTICKÉ ZÁŘENÍ A SVĚTLO	35
7.	FOTOMETRICKÉ A RADIOMETRICKÉ VELIČINY	37
7.1.	Základní pojmy	37
7.2.	Fotometrické veličiny.....	37
7.3.	Radiometrické veličiny	39
8.	BARVA.....	41
8.1.	Barevný tón	41
8.2.	Pestrost	41
8.3.	Sytost.....	42
8.4.	Jas.....	42
8.5.	Mísení barev.....	42
9.	FOTOELEKTRICKÝ JEV	44
9.1.	Einsteinova teorie fotoefektu	45
10.	SVĚTELNÉ ZDROJE, SVÍTIDLA	48
10.1.	Požadavky na světelné zdroje	49
10.2.	Teplotní světelné zdroje	49
10.2.1.	Žárovky obyčejné.....	49
10.2.2.	Žárovky halogenové.....	50
10.3.	Výbojové světelné zdroje.....	50
10.3.1.	Zářivky	51
10.3.1.1.	Zářivky trubicové (lineární, rovné)	52
10.3.1.2.	Zářivky kompaktní	52
10.4.	Svítidla	53
11.	OSVĚTLOVÁNÍ VNITŘNÍCH PROSTOR.....	54
11.1.	Osvětlení pracovních prostor	54
11.2.	Osvětlování zdravotnických zařízení.....	55
12.	MĚŘENÍ OSVĚTLENÍ	57

12.1.	Luxmetr PU 550	57
12.2.	Luxmetr B510	58
12.3.	Radiolux 111	58
12.4.	Radiolux 211	58
12.5.	Zásady měření s luxmetrem	59
13.	VLIV OSVĚTLENÍ NA ZRAKOVOU OSTROST A SENZITIVITU OKA.....	60
14.	VÝZKUM	66
14.1.	Úvod do praktické části.....	66
14.2.	Cíle výzkumu	66
14.3.	Pracovní hypotéza	67
14.4.	Metodika výzkumu.....	67
14.4.1.	Vyšetřované osoby	67
14.4.2.	Metody a prostředky vyšetření	67
14.4.2.1.	Popis vyšetřovny	67
14.4.2.2.	Měření intenzity osvětlení ve vyšetřovně	68
14.4.2.3.	Pracovní postup.....	68
14.5.	Výsledky	69
14.5.1.	Výsledky měření zrakové ostrosti	70
14.5.2.	Výsledky subjektivního hodnocení barev	74
14.6.	Souhrn	81
14.7.	Diskuze.....	83
15.	ZÁVĚR	85
	Seznam použité literatury.....	84
	Seznam použitých obrázků.....	90
	Seznam tabulek.....	93
	Seznam grafů.....	94
	Příloha CD-ROM.....	97

ÚVOD

Zrak patří k nejvýznamnějším smyslům člověka. Jeho prostřednictvím můžeme vnímat více jak 80% informací a podnětů z okolního světa. Jejich nositelem je světlo a osvětlení. Tyto prostředky mohou příjem buď usnadnit, nebo snížit. Vývoj civilizace a techniky postupně člověka vzdálil od prostředí přírodního k vytváření umělého prostředí v interiérech, kde je nutno se na osvětlení adaptovat. Moderní technologie dovolují vytvářet osvětlovací soustavy, které splňují náročné kvantitativní a kvalitativní požadavky kladené na osvětlení různých prostor týkající se stínivosti osvětlení, jeho stálosti, volby vhodného spektrálního složení světla i výše a rozložení hladin osvětlení a jasu. Nepříznivé účinky světelného záření se výrazněji projeví např. při oslnění, ale i při nevhodně zvolené chromatičnosti světla použitých zdrojů, kdy díky oslnění může dokonce dojít ke ztrátě schopnosti rozlišovat barvy. Nesprávné osvětlení při pracovních činnostech se projeví nejen zrakovou, ale i celkovou únavou. Po určité době se dostaví bolest hlavy, pálení očí a další obtíže. Nesmíme však zapomenout, že tyto problémy mohou způsobit i další činitelé ovlivňující tvorbu prostředí, jako je vlhkost, teplota, hluk, zdravotní komplikace či nekorigovaná zraková vada. Z uvedeného by se mohlo zdát, že světlo jakoby mělo negativní účinek. Opak je však pravdou. Světlo ovlivňuje náš biorytmus, podporuje aktivitu a psychickou pohodu. Je nejvýraznějším fyzikálním parametrem okolního prostředí, a proto je tato práce zaměřena zejména na vliv světelného záření na zrakový výkon a pohodu.

1. SÍTNICE A ZRAKOVÁ DRÁHA

1.1. Sítňice

Sítňice (retina) je průhledná blanka o tloušťce 0,1-0,25 mm, která volně naléhá na cévňatku a pevně je fixována pouze v oblasti terče optického nervu a v ora serrata. Ora serrata je slepá zubovitá linie pokrývající vnitřní stranu řasnatého těliska a zadní plochu duhovky. Rozděluje sítňici na přední a zadní část. Zadní část (pars optica retinae) se rozprostírá od ora serrata k terči zrakového nervu a obsahuje světločivé buňky (tyčinky a čípky), v části přední (pars coeca retinae) se žádné smyslové a nervové elementy nenachází.

1.1.1. Buňky sítňice

Světelné paprsky, které po průchodu optickým aparátem oka dopadnou na sítňici, jsou komplikovaným chemickým procesem přeměňovány v elektrické impulsy vedené zrakovou dráhou do mozku. Tomuto procesu je přizpůsobena i skladba sítňice. Světelné impulsy jsou zpracovávány smyslovými buňkami sítňice, tyčinkami a čípky. Dále jsou podněty přenášeny pomocí bipolárních a gangliových buněk.

Na sítňici lidského oka se nachází přibližně 130 milionů smyslových buněk. Dělíme je zejména podle funkce a vzhledu. V jamce nejostřejšího vidění nalezneme čípky. Na 1 mm² je jich zde nahuštěno až 150 tisíc. Ve vzdálenosti 0,13 mm od středu se jejich počet výrazně snižuje až na 85 000/mm², 3 mm od centrální jamky je jejich počet pouhých 6 000/mm² a směrem do periferie jejich množství stále klesá. Čípky mají podobu buclaté láhve a jejich celkový počet se pohybuje mezi 6 až 8 miliony. Hrdlo láhve tvoří úsek vnější a tělo úsek vnitřní. V místě centrální krajiny sítňice, tam, kde jsou čípky nejvíce nahuštěny, se jejich tvar mění, stávají se užšími a tenčími a více se podobají tyčinkám. Vnější úsek čípku se skládá z vnějšího a vnitřního výběžku. Vnější výběžek obsahuje látku citlivou na světlo tzv. jodopsin, vnitřní výběžek obsahuje velké množství mitochondrií. Vnitřní úsek buňky čípku představuje buněčné jádro a nervové vlákno, které je objemnější než u tyčinek, na konci se rozšiřuje a vytváří synapse s bipolárními buňkami.

Tyčinky nacházíme již 0,13 mm od centrální jamky. Nejvíce jsou však nahromaděny, ve formě prstence, ve vzdálenosti 5-6 mm, kde jich je až 160 000/mm². Směrem do periferie jejich počet postupně klesá, avšak v oblasti ora serrata jich stále ještě nalezneme přibližně 30 000/mm². Počet tyčinek je mnohonásobně větší než čípků. V lidském oku jich nacházíme

až 120 milionů. Na každé tyčince rozeznáváme stejně jako u čípků, dva úseky, vnější a vnitřní. Vnější úsek představuje samotnou tyčinku, obsahuje světločivé elementy a rozeznáváme na něm opět vnitřní a vnější výběžek. Vnější výběžek má cylindrický tvar a je složen z tisíce kulovitých disků s dvojitou membránou, které jsou umístěny kolmo k ose tyčinky. Zde se tvoří zrakový purpur- rhodopsin, velmi citlivý na světlo. Vnitřní výběžek tvoří tyčinkové mitochondrie, kterých je asi 15x méně než u čípků a Golgiho komplex. Na vnitřním úseku tyčinky můžeme elektronovým mikroskopem spatřit buněčné jádro, obklopeno jednotlivými nervovými vlákny, která vstupují do nitra sítnice a spojují se zde s buňkami bipolárními.

Bipolární buňky jsou buňky nervové, svými výběžky tvoří první neuron sítnice a tím zároveň i zrakové dráhy. Zprostředkovávají spojení mezi smyslovými receptory a gangliovými buňkami. Jde-li o spojení jednoho receptoru s jednou bipolární buňkou, hovoříme o spojení individuálním. Nacházíme jej pouze v jamce nejostřejšího vidění. V případě, že je na jednu nebo i více bipolárních buněk napojeno několik buněk smyslových, jedná se o tzv. difuzní spojení. Bipolární buňka může být rovněž spojena pouze s jednou nebo i více gangliovými buňkami. Může na ni být také napojen čípek zároveň s tyčinkou. Spojení smyslových buněk s buňkami bipolárními tvoří ganglion retinae.

Gangliové buňky nacházíme v nejvnitřnější jádrové vrstvě sítnice a svými výběžky tvoří druhý neuron zrakové dráhy. Gangliové buňky nejsou stejně velké. V centrální krajině sítnice jsou nejmenší a jsou uloženy v 5 až 7 vrstvách. Směrem do periferie se postupně zvětšují a soustředí se pouze do vrstvy jediné.

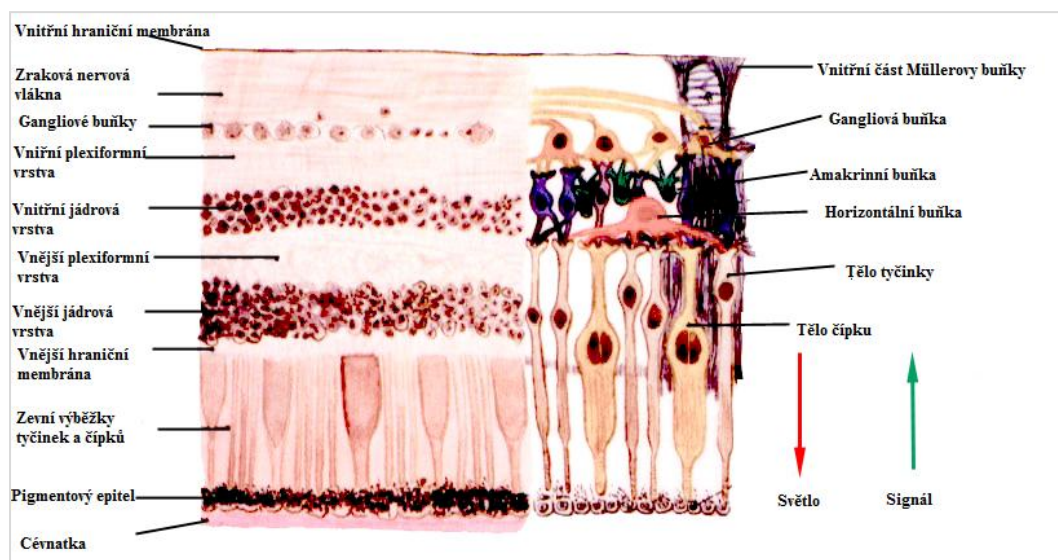
Ve vnitřní jádrové vrstvě sítnice se nachází i buňky asociační, které dělíme na buňky horizontální a amakrinní. Horizontální buňky mají krátké dendrity, které vytvářejí synapse s čípkami. Vybíhající neurit je opět spojen se zakončením tyčinek, případně čípků, a impulsy jsou vedeny horizontálně. Přesná role těchto buněk není v současnosti stoprocentně objasněna. Existuje domněnka, že souvisí s látkovou výměnou. Dendrity amakrinních buněk mohou spojovat i větší množství buněk gangliových. Jim je přisouzena úloha buněk podpůrných. Předpokládá se, že mají jakousi brzdící roli při procesu vidění.

Všechny nervové složky sítnice jsou obklopeny podpůrnou tkání, která slouží k výživě. Jsou to podpůrné Müllerovy buňky a neuroglie, mikroglie a astrocyty. [1, 2, 3, 4]

1.1.2. Struktura sítnice

Na sítnici rozeznáváme směrem od cévnatky a její Bruchovy membrány do nitra oka deset vrstev, které jsou společně s buňkami sítnice znázorněny na obrázku číslo 1.

1. Pigmentový epitel, který se procesu vidění účastní pouze nepřímo.
2. Vrstva zevních výběžků tyčinek a čípků
3. Vnější hraniční membrána (membrana limitans externa) se nachází mezi vnějšími a vnitřními segmenty smyslových buněk a je tvořena vodorovně probíhajícími výběžky Müllerových buněk.
4. Vnější jádrová vrstva se skládá z buněčných těl receptorů, kdy jádra čípků se nacházejí nedaleko od vnější hraniční membrány.
5. Vnější vrstva vláken (plexiformní) tvoří spojení mezi receptory a bipolárními buňkami.
6. Vnitřní jádrová vrstva v sobě zahrnuje jádra bipolárních, horizontálních, amakrinních a Müllerových buněk.
7. Vnitřní vrstva vláken (plexiformní) je tvořena neurity bipolárních buněk a dendrity buněk gangliových a nachází se zde vzájemné spojení mezi prvním a druhým neuronem.
8. Vrstva gangliových buněk se skládá z buněčných těl gangliových buněk.
9. Vrstva zrakových nervových vláken obsahuje neurity gangliových buněk směřujících k terči zrakového nervu, neuroglie a cévní kmeny sítnicového cévního systému.
10. Vnitřní hraniční membrána (membrana limitans interna) se táhne přes celou sítnici a ohraničuje ji proti sklivci.



Obrázek 1: Struktura sítnice

1.1.3. Zvláštní úseky sítnice

Anatomické uspořádání nám dovoluje rozeznat tři zvláštní úseky sítnice:

- **Terč zrakového nervu** (papilla nervi optici) je místem, kde nervová vlákna vystupují ze sítnice do zrakového nervu (nervus opticus). Kromě vnitřní hraniční membrány zde nenacházíme žádné jiné sítnicové vrstvy. Četné větvičky zadních ciliárních arterií způsobují její lehké růžové zbarvení. Okraj papily je mírně nadzdvižen, což je způsobeno větším množstvím nervových vláken, která se v tomto místě sbíhají. Ve svém středu je lehce prohloubena, mluvíme o tzv. fyziologické exkavaci. Z centra této exkavace vybíhají retinální cévy (arteria a vena centralis retinae), které se pak postupně na sítnici větví. U papily končí vrstva cévnatky a pigmentového epitelu. Bílá skléra pokračuje přes papilu, bývá viditelná jako bílý konus ve tvaru pŕlměsíce (conus peripapilaris).
- **Jamka nejostřejšího vidění** (fovea centralis) je oblast o rozměrech 1,5 mm na zadním pólu oka. V jejím středu se nachází foveola, jejíž průměr je asi 0,35 mm a obsahuje pouze čípky, těch je zde asi 115 000. Vlastní centrální vidění s nejvyšší rozlišovací schopností zajišťuje pouze centrální svazek s 2 500 čípků. Každý tento čípek má vlastní bipolární a gangliovou buňku, čímž je dána vysoká rozlišovací schopnost v centru foveoly. Ve vzdálenosti 3-5 mm od fovey leží zóna, která se označuje jako centrální krajina neboli žlutá skvrna (macula lutea). Žluté zbarvení je dáno pigmentem žluté barvy xantofylinem. Nevyskytují se zde žádné cévy, gangliové ani bipolární buňky. Vnitřní vrstvy sítnice jsou v těchto místech stlačeny do stran, což je příčinou větší tloušťky sítnice okolo fovey a vytvoření obloukovitého světelného reflexu.
- **Ora serrata**, jak již bylo uvedeno výše, je zubovitá linie, kde přechází sítnice z části optické ve slepou. V tomto místě se sítnice náhle oplošťuje a dochází zde k velkému úbytku smyslových, nervových i podpŕrných buněk sítnice.[1, 2]

1.2. Vjemová pole

Detailní zkoumání zpracování a přenosu zrakové informace, která je ve formě frekvenčně modulovaných podnětů, ukázalo, že základní funkční jednotkou sítnice není jedna světločivná buňka, nýbrž tzv. vjemové pole. Je to kruhový úsek plochy sítnice, z něhož lze stimulovat jedno vlákno očního nervu, tj. jednu gangliovou buňku. Velikost vjemových polí

není stálá, ale mění se v závislosti na jasu světelného impulsu a stavu adaptace sítnice. Jedná se o funkční jednotky, které se mohou i částečně překrývat. Na sítnici lidského oka existuje hodně typů vjemových polí. U některých reaguje na začátek podnětu více střed pole a okraje pole se účastní až na konci impulsu, u jiných polí je tato činnost opačná nebo existují i pole, v nichž probíhají oba typy reakcí.

Gangliové buňky mohou reagovat po celý čas trvání impulsu a umožňují tak vznik informace o kontrastech jasů, barev a drobných detailech, což je významné kritérium z hlediska rozlišovací schopnosti. V těchto buňkách mohou však také vzniknout pouze krátké a přechodné reakce na změny intenzity osvětlení, tedy informace o časových změnách světelného impulsu, což je podstatné z hlediska procesu adaptace sítnice.

Vjemová pole se také liší svým umístěním na sítnici. Pro periferii sítnice je typické spojení jedné gangliové buňky až s několika tisíci receptory. Naopak v místě fovea centralis bývá spojen jeden fotoreceptor s jednou gangliovou buňkou a právě v tomto důsledku je rozlišovací schopnost v této části sítnice největší.[5]

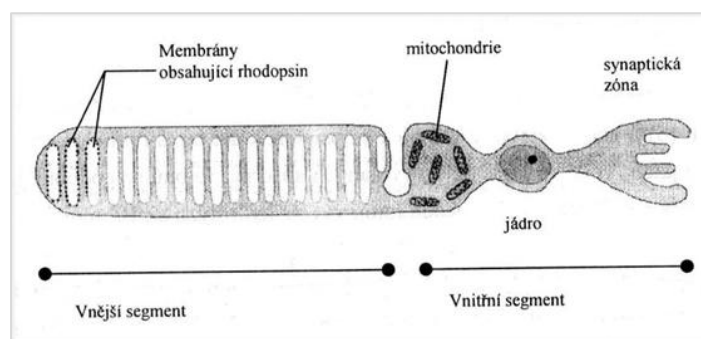
1.3. Zraková dráha

Zraková dráha spojuje sítnici s korovým zrakovým centrem, které je uloženo v mozku, v týlním laloku. Je tvořena třemi neurony. Tyčinky a čípky se pokládají za fotoreceptory, proto prvním neuronem jsou buňky bipolární, druhým buňky gangliové. Jejich dlouhé axony procházejí sítnicí k papile optického nervu, kde se všechna jejich nervová vlákna spojují a vytvářejí zrakový nerv. Optické nervy pravého a levého oka postupně prostupují kostěným kanálkem očního nervu do střední jámy lebni k chiasmatu, kde se částečně kříží. Vlákna jdoucí z vnějších, temporálních, polovin sítnice se nekříží a probíhají po stranách chiasmatu. Vlákna z vnitřních, nasálních, polovin sítnice se v chiasmatu kříží a prostupují skrz něj do nervových svazků opačné strany. Za chiasmatem se zraková vlákna sbíhají do optického traktu (tractus opticus) a podráždění je tak dále vedeno do šestivrstevného corpus geniculatum laterale, v mezimozku. Zde jsou pak uložena těla třetího (centrálního) neuronu. Ve druhé, třetí a páté vrstvě končí axony nekřížících se vláken z ipsilaterálních temporálních polovin sítnice. Ve vrstvě první, čtvrté a šesté pak vlákna křížící se, z kontralaterálních nasálních polovin sítnice. Z tohoto centra vystupují vějířovitě uspořádaná nervová vlákna posledního neuronu zrakové dráhy jako zraková radiace (radiatio optica, Gratioletův svazek) a kolem fissura calcarina míří do kůry týlního laloku, kde rozlišujeme area striata, area parastriata a area peristriata. V area striata, která se podle Brodmana nazývá jako area 17, končí vlákna

Gratioletova svazečku a slouží jako finální stanice zrakových impulsů. Začíná zde zpracování zrakového vjemu, tedy tvaru, pohybu, barvy a příprava informací pro podrobný rozbor v různých částech mozku. Area striata je spojena s area parastriata, která je označována též jako area 18, krátkými vlákny (obdobně jako area parastriata s area peristriata) a delšími vlákny se stejnými okrsky druhostranné kůry. Area parastriata slouží k optomotorické koordinaci očí a area peristriata je vyhrazena pro spojování zrakových informací s ostatními senzorickými, fatickými a mentálními aktivitami. Do zrakové mozkové kůry přicházejí také nervová vlákna z podkorových center i jiných senzorů a dalších mimozrakových částí kůry. Z toho tedy vyplývá, že osvětlení má vliv nejen na samotné zrakové vnímání, ale také na mnoho dalších biologických a fyziologických funkcí a projevů organismu člověka, v neposlední řadě na jeho celkový psychický stav.[1, 2, 5, 8,]

1.4. Biochemie vidění

Světlo, které vstupuje do oka, postupně prochází rohovkou, přední oční komorou s komorovou tekutinou, čočkou, prostorem vyplněným sklivcem až dopadá na sítnici, která je vlastním zrakovým aparátem. Jak již bylo uvedeno v předešlé kapitole, sítnice obsahuje dva typy světločivých buněk-tyčinky a čípky. Tyto fotoreceptory obsahují vizuální pigmenty (zraková barviva) pohlcující světlo a také velké množství enzymů a signálních molekul, které jsou zodpovědné za přeměnu světelné energie na kinetickou energii atomů a molekul. Tato chemická přeměna poté přechází v nervový vzruch a šíří se zrakovou dráhou dále do mozku.

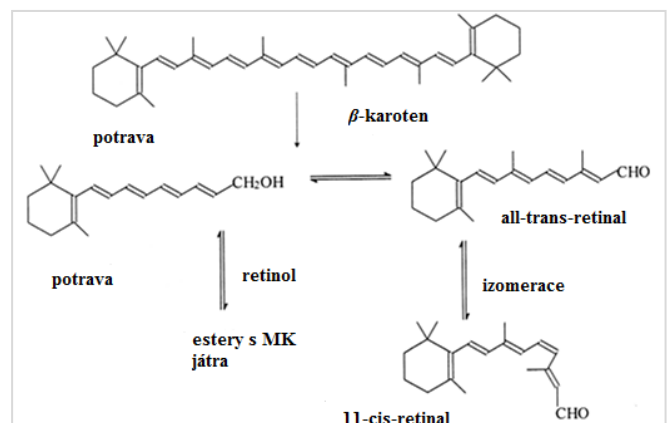


Obrázek 2: Stavba fotoreceptoru

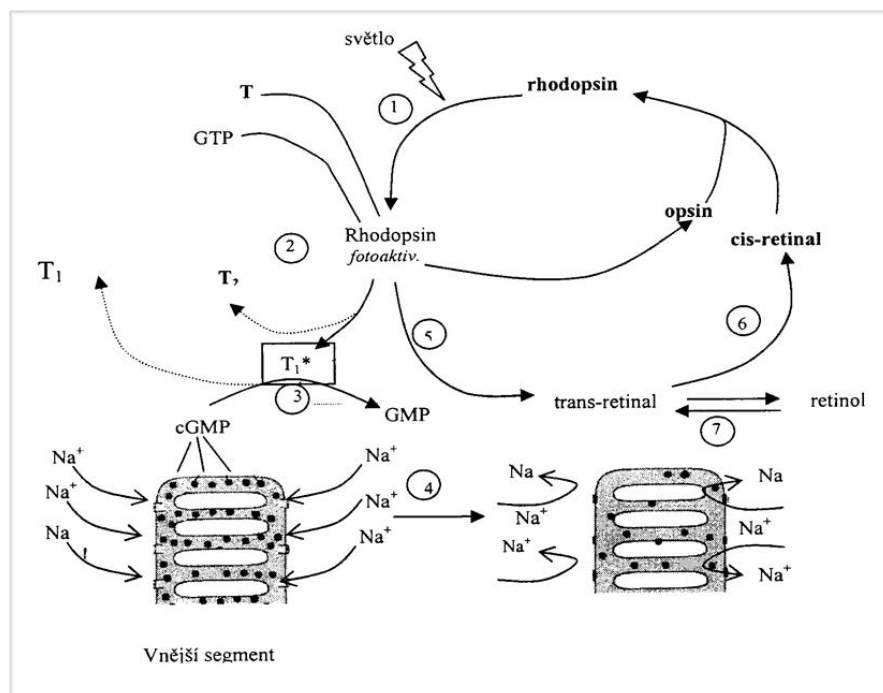
Dříve již také byla popsána stavba těchto receptorů, tedy že se oba typy buněk skládají z vnějšího a vnitřního segmentu. Vnější segmenty jsou tvořeny pravidelně uspořádanými sloupci měchýřkovitých váčků nebo membránami terčičků (disků) a vnitřní segmenty jsou bohaté na mitochondrie, obsahují jádro a synaptické pásmo.

1.4.1. Mechanismus vidění pomocí tyčinek

Tyčinky jsou buňky, které umožňují (černobílé) vidění za nízké intenzity světla. Toto vidění je pak označováno jako skotopické. Jejich vnitřní segment se vyznačuje vysokou metabolickou aktivitou, produkuje bílkoviny a ATP (adenosintrifosfát), látku, v níž je skladována energie. V membráně disků vnějšího segmentu je obsažen chromofor-rhodopsin. Ten se skládá z bílkovinné složky opsinu a z aldehydu 11-*cis*-retinalu, který je vlastním fotoreceptorem. Opsin uložený v membráně se skládá ze 7 šroubovic, což znamená, že sedmkrát touto membránou prochází a vystupuje z ní na obě strany. Nízkomolekulární barvivo, 11-*cis*-retinal, v organismu vzniká oxidací retinolu (vitamin A), který je skladovaný v játrech, v podobě esterů s mastnými kyselinami, a krví je pak přenášen pomocí retinol-vážečícího proteinu, označovaného též jako retinol-binding protein (RBP). Ve tkáních je za přítomnosti enzymů oxidován na retinal, který se váže přibližně uprostřed membrány zevního segmentu.



Obrázek 3: Rhodopsinový cyklus



Obrázek 4: Průběh biochemických reakcí

Po dopadu světla na sítnici dochází k primární fotochemické reakci v rhodopsinu, která trvá asi $2 \cdot 10^{-14}$ s. Při pohlcení světelné energie nastává excitace membrány, která je vyjádřena izomerací 11-*cis*-retinalu na all-*trans*-retinal (bod 1, viz. obr. číslo 4). Při tom se mění energie fotonu v pohyb atomů. Bez potřeby dalšího světla přitom také vznikají meziprodukty. Nejprve batorhodopsin, pak luminorhodopsin, metarhodopsin I a výsledný metarhodopsin II-aktivní rhodopsin. Ten pak dále aktivuje G-protein transducin, který se váže na GTP (guanosintrifosfát), látku podobnou ATP (bod 2). Kaskáda enzymových změn pak pokračuje aktivací PDE (fosfodiesteráza), která způsobí hydrolýzu cGMP (cyklický guanosinmonofosfát, ve tmě je vázán na kationových kanálech, Na^+ a Ca^{2+} , v buněčné membráně vnějšího segmentu a drží je otevřené, tzn. že Na^+ a Ca^{2+} mohou vtékat do buňky a depolarizovat ji na -40 mV), (bod 3). Poté následuje uzavření cGMP závislých kanálů pro Na^+ ionty v plazmatické membráně a dochází tak k hyperpolarizaci membrány (asi -70 mV, označované jako receptorový potenciál), (bod 4), která se šíří až do zóny synapse. Hodnota hyperpolarizace se odvíjí od intenzity osvětlení. V těchto místech se hyperpolarizace zeslabuje, což je způsobeno vyplavováním synaptického mediátoru. Při tom vzniká signál, jenž vede až ke vzniku akčních potenciálů gangliových buněk a ty jsou pak následně zrakovou dráhou vedeny dále do zrakových center v mozku.

11-*cis*-retinal se po své přeměně do *trans*-formy uvolňuje z vazby na opsin (bod 5). Ve tmě pak může opět přejít do *cis*-formy (bod 6) a vytvořit znovu komplex s opsinem, což je označováno jako Waldův cyklus. Část *trans*-retinalu se transportuje krví do jater (bod 7). Zde dochází k jeho hydrogenaci na alkohol *trans*-retinol a následně k izomeraci na *cis*-retinol, který je krví přenášen zpět do sítnice, kde je opět oxidován na 11-*cis*-retinal.[7, 8, 9, 10, 11]

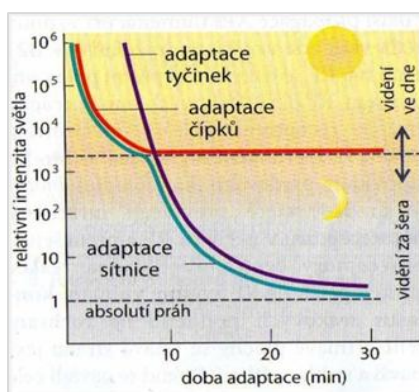
1.4.2. Mechanismus vidění pomocí čípků

Čípky jsou buňky, které zajišťují vidění při jasném osvětlení a umožňují nám rozeznávat barvy. Existuje několik teorií zabývajících se jejich barevnou citlivostí. V dnešní době je nejvíce akceptována myšlenka, že na sítnici primátů existují 3 druhy čípků, které pohlcují různé vlnové délky světla s maximy: 440 nm (modrá), 530 nm (zelená), 620 nm (červená). Probíhá při tom obdobný proces jako u tyčinek. Každý čípek obsahuje ve svém vnějším segmentu chromofor 11-*cis*-retinal, který je schopný izomerace. Struktura jejich bílkovinné složky je však v každém typu nepatrně odlišná, což vyvolává rozdíly v absorpci. Vjem dalších barev by měl pak vznikat kombinovanou stimulací těchto tří typů čípků.[7, 9, 10]

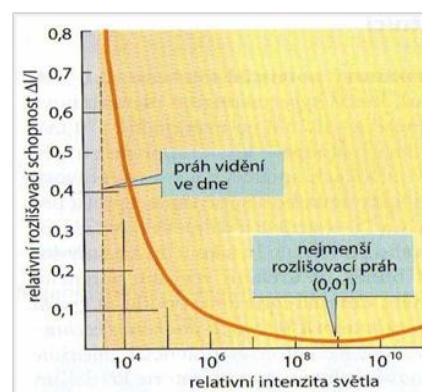
1.5. Adaptace sítnice

Lidské oko je schopno rozlišit, jak silné světelné podněty, které můžeme pozorovat například při slunečním osvětlení na ledovcích, tak slabé světelné stimuly, jako je záře malé hvězdy. Zpracování takto extrémně odlišných intenzit podnětů, které mohou být až v poměru $1:10^{12}$, je možné jen díky adaptaci oka. Adaptace je tedy schopnost oka přizpůsobit se různým hladinám osvětlení okolního prostředí, a to v rozmezí od 0,003 lx do 80 000 lx. Důležitým pojmem je v tomto případě práh vidění, který vyjadřuje mez lidského zraku, při které jsme schopni rozeznat, zpozorovat světelný vjem. Zjednodušeně se jedná o citlivost oka na světlo, kterou zajišťují fotonpigmenty čípků a tyčinek. Proto rozlišujeme adaptaci na světlo a adaptaci na tmou, která je z klinického hlediska významnější.

V případě, že je člověk adaptován na běžné denní světlo, slabě osvětlený pokoj se mu zpočátku zdá tmavý. To je dáno tím, že intenzita osvětlení je v tomto momentu menší než okamžitý práh oka. Po několika málo minutách dojde k zeslabení světelného prahu a můžeme již rozlišit vybavení pokoje. Při pozorování hvězdné oblohy trvá adaptace déle a svého maxima dosáhne asi až po půl hodině, kdy nejmenší rozeznatelná intenzita světla tvoří absolutní práh vidění.



Obrázek 5: Průběh adaptace



Obrázek 6: Rozlišovací práh a intenzita světla

Časový průběh normální adaptace sítnice při hodnotách asi 2 000krát vyšší než absolutní práh vykazuje tzv. Kohlrauschův zlom, který je na obrázku číslo 5 znázorněn modrou křivkou. V tomto okamžiku jsou na tmou adaptované čípky stále ještě stimulovány, a tento stav označujeme jako „práh vidění ve dne“. Další průběh křivky směrem dolů je dán částečně opožděnou adaptací tyčinek (na témže obrázku odpovídá fialové barvě). U barvoslepých osob („tyčinkový monochromat“, který nemá žádnou rozlišovací schopnost pro barvy) můžeme tedy izolovaně stanovit adaptaci tyčinek. Naopak izolovaná adaptace čípků (na obrázku znázorněna červenou křivkou) vzniká u pacientů s hemeralopií (šeroslepost), která se projevuje právě poruchou adaptace na tmou.

Pro vidění je také podstatná abilita oka rozpoznat dva podobně silné světelné stimuly. V případě, že jsou dvě světelné intenzity I a I' právě ještě rozeznatelné, jejich *absolutní* práh se stanoví jako $\Delta I = I - I'$ (1),

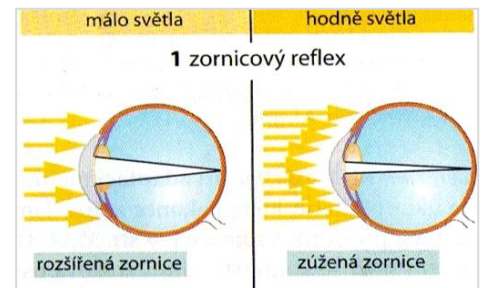
relativní rozlišovací práh je dán Weberovým vztahem: $K = \Delta I / I$ (2).

Na obrázku číslo 6 pak můžeme vidět, že při optimálním osvětlení (asi 10^9 násobná hodnota absolutního prahu) nastává nejmenší rozlišovací práh, tzn. rozlišovací schopnost je obzvlášť dobrá, a to když $\Delta I / I = 0,01$. Proto je relativní rozlišovací práh mnohem větší při adaptaci na tmu, ovšem stoupá i při velmi jasném světle, čemuž se můžeme bránit použitím slunečních brýlí, které rozlišovací práh zmenšují.[2, 8, 12]

1.5.1. Adaptační mechanismy

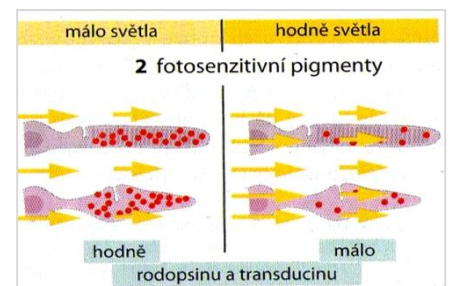
Mezi mechanismy, které se uplatňují při adaptaci oka na světlo, řadíme změnu velikosti zornice, citlivost fotoreceptorů, změnu velikosti stimulované plochy sítnice a v neposlední řadě také tranzici mezi fotopickým a skotopickým viděním.

Zornice může bezděčně asi až 16krát změnit množství světla dopadajícího do oka. Hlavní úlohou této reakce zornice tedy je, rychle přizpůsobit oko nenadálé změně jasu a maximalizovat tak zrakový výjem. Normální velikost zornice se pohybuje od 2 do 5 mm. Za světla se zužují, naopak ve tmě se stávají širšími.



Obrázek 7: Změna velikosti pupily

Citlivost tyčinek a čípků se přizpůsobuje světelným změnám chemickou cestou. Velké množství světla na delší dobu v receptorech snižuje cytoplazmatickou koncentraci Ca^{2+} . Pomocí rekovertinu (protein, který ve fotoreceptorech váže vápník) a fosducinu (protein umístěný ve vnitřních a vnějších výběžcích tyčinek, který se účastní fototransdukce, přeměny světelného impulsu na nervový, a zapojuje se do metabolických procesů probíhajících ve fotoreceptorech) je zmenšována dostupnost rhodopsinu, resp. transducinu.



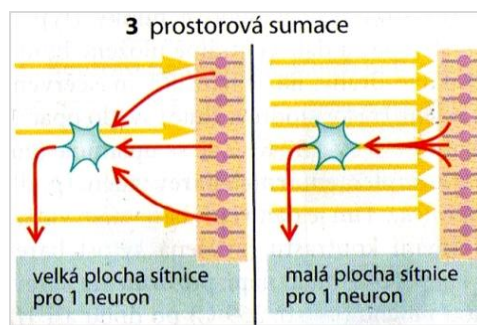
Obrázek 8: Vliv světla na fotoreceptory

V důsledku toho pak klesá naděje, že některá molekula rhodopsinu bude zasažena dalšími fotony. Při nízkém jasu jsou k dispozici naopak transducin a rhodopsin ve vysoké koncentraci, a proto jsou receptory na světlo daleko citlivější. V prvních minutách je adaptace čípků rychlá, ale méně silná. Adaptace tyčinek trvá mnohem delší dobu zhruba kolem 20-40

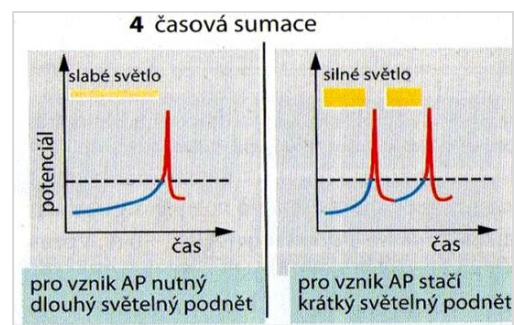
minut, a proto je mnohem vydatnější. Z hlediska adaptace na tmu je významný tzv. Purkyňův jev, při kterém dochází k posunu spektrální citlivosti sítnice ke kratším vlnovým délkám. Proto se barvy z krátkovlnné části spektra (modrá) jeví v přitmě světlejší než barvy s dlouhými vlnovými délkami (červená).

Široké přizpůsobení senzitivity oka je možné také díky tomu, že se může měnit plocha sítnice (množství fotoreceptorů), z níž se podráždění sbíhá do jednoho vlákna zrakového nervu (viz obrázek č. 9). Tato prostorová sumace se za světla zmenšuje, ve tmě zvětšuje.

Podprahové stimuly, které trvají krátkou dobu, se při prodloužení tohoto stimulu mohou změnit na nadprahové a vyvolat tak akční potenciál (AP). Tento jev označujeme jako sumace časová. Násobek intenzity a délky trvání stimulu má přitom konstantní hodnotu.[5, 8, 12, 13, 14]



Obrázek 9: Prostorová sumace



Obrázek 10: Časová sumace

1.5.2. Oslnění

Oslnění je neblahý stav zraku, který nastává, když je sítnice nebo její část vystavena příliš vysokým hodnotám jasu, na které nejsou oči schopny se ihned adaptovat. Nastává také v případě, že v zorném poli je místo, které má mnohonásobně vyšší jas, než je průměrný jas zorného pole, který mají okolní plochy. Průměrný jas zorného pole, je také označován jako tzv. adaptační jas, jež ovlivňuje všechny funkce oka a tím i kvalitu práce, pracovní výkon, ale také únavu.

Podle psychofyzilogických následků rozlišujeme 3 stupně oslnění:

- I. Oslnění nízké, rušivé: nemusí při něm dojít přímo ke zhoršení zrakové ostrosti, typicky se však dostávají bolesti hlavy a očí, v některých případech také bolesti břicha a zad. V důsledku nesprávné polohy těla, hlavy a mhouření očí pak narůstá celková únava. Tento typ oslnění bývá také označován jako oslnění psychologické.
- II. Vyšší stupeň: v tomto případě již vzniká omezující oslnění, které zhoršuje vidění. Patří do skupiny fyziologického oslnění.

III. Stupeň nejvyšší- jedná se o krajní případ fyziologického oslnění, které je oslepující a vidění tedy není vůbec možné.

Omezující a oslepující oslnění by v osvětlovacích soustavách ovšem vůbec nastat nemělo. Důležité je avšak také bránit vzniku oslnění rušivého, a to zvláště v pracovních podmínkách.

Oslnění je často způsobeno nesprávným nastavením polohy svítidel a nevhodnými svítidly vůbec. Podle příčiny pak rozlišujeme:

- Oslnění **přímé**, které je vyvoláno nadbytečným jasem svítících částí svítidla nebo hlavních povrchů prostoru. Můžeme si jej způsobit přímým pohledem například do žárovky.
- Oslnění **odrazem** svítidel na lesklých plochách, které vzniká například na skleněné desce stolu. Je zapotřebí také dávat pozor na odlesky světla na obrazovkách televizí, počítačových monitorech či lupách a dalších optických pomůckách. Při práci s optickými pomůckami se také musíme vyvarovat přímému pohledu do světelných zdrojů, samozřejmě i do slunce, neboť hrozí poškození sítnice.
- **Přechodové** oslnění nejčastěji nastává při náhlém přechodu ze tmy na světlo. Je způsobeno nenadálou změnou adaptačního jasu, kdy se oko v takovéto situaci nestačí rychle přizpůsobit.
- **Závojevé** oslnění, ke kterému dochází tehdy, je-li mezi okem a předmětem, na který se díváme, jasnější prostředí s jemnou strukturou (záclona) nebo je kalné (špinavé sklo, mlha, déšť).
- Oslnění **kontrastem** (relativní oslnění), které nastává tehdy, jestliže jsou v zorném poli přítomny příliš vysoké jasy v porovnání s jasem, na nějž je oko právě adaptované.

Ve venkovním prostředí nejčastěji oslňuje přímé sluneční světlo. V letních měsících je nepříjemné a znemožňuje nám číst text na bílém papíře, v zimě se odráží od ledu a sněhu a ztěžuje nám tak orientaci. Večer a v noci může být oslnění způsobeno světlomety protijedoucích vozidel, nepatřičně umístěným veřejným osvětlením, které svítí lidem do oken bytů nebo naopak pokud je pouliční osvětlení situováno níže a svítí lidem do očí. Rušivě také mohou působit odlesky světla od kaluží na chodníku, ale také ve sklech výkladních skříní obchodů.

V interiérech je největší pozornost věnována hodnocení přímého oslnění. To vychází ze statisticky zpracovaného výzkumu rušivého oslnění, při kterém jsou sledovány a hodnoceny situace při různých činnostech velkého počtu pozorovatelů ve speciálně uzpůsobených laboratořích. Nejpoužívanější způsob, kterým se oslnění hodnotí, je založen na stanovení indexu oslnění vyplývajícího z myšlenky, že stupeň oslnění je tím větší, čím větší je jas L

oslňujícího zdroje, a čím větší je prostorový úhel ω , pod kterým je zdroj vidět z kontrolního místa a naopak, že stupeň oslnění je tím menší, čím větší je průměrný (adaptační) jas pozadí L_b . Nejvíce je používán tzv. jednotný systém hodnocení oslnění UGR, který je schválen Mezinárodní komisí pro osvětlování (CIE). Index oslnění se stanoví pomocí vzorce (3) ve tvaru:

$$UGR = 8 \log_{10} \left(\frac{0,25}{L_b} \sum \frac{L^2 \omega}{p^2} \right) \quad (3),$$

kde L_b jas pozadí vypočítaný jako $L_b = E_{ind} / \pi$, ($\text{cd} \cdot \text{m}^{-2}$)

E_{ind} je svislá nepřímá intenzita osvětlení očí pozorovatele

L je jas svítící části každého svítidla ve směru očí pozorovatele

ω je prostorový úhel svítící části každého zdroje světla vzhledem k očím pozorovatele

p je činitel, který charakterizuje vliv polohy pro každé svítidlo

Hodnoty UGR osvětlovací soustavy nesmí být vyšší než hodnoty uvedené v normě ČSN EN 12464-1, Světlo a osvětlení – Osvětlení pracovních prostorů – Část 1: Vnitřní pracovní prostory, které je věnována samostatná kapitola.

Tomu, abychom se při práci vyhnuli únavě, chybám a úrazům, je nutné se před oslněním chránit. V místnostech můžeme zdroj světla zaclonit, např. zvětšením stínítka lampičky, svítidlo přemístíme, změním svoji pozici či místo, ze kterého se díváme, do oken umístíme žaluzie nebo závěsy. Oslnění odrazem můžeme zabránit také několika způsoby, zejména se jedná o využití povrchové úpravy (matové povrchy), zmenšení jasu svítidel či zvětšení jeho svítící plochy, popř. jasným stropem a stěnami. Před oslněním venku nám mohou pomoci brýle s filtrem vhodné barvy, díky nimž člověk vidí jasněji, mnohdy i kontrastněji. Nebo svůj zrak můžeme chránit slunečními brýlemi šedé a hnědé barvy, setkat se můžeme ovšem i se zabarvením zeleným, žlutým a oranžovým. Obyčejnou pomůckou je pak i čepice s kšiltlem nebo klobouk, které také snižují jas přímého a na obloze rozptýleného světla ze slunce.[15, 16, 17]

2. ZRAKOVÁ OSTROST

2.1. Rozlišovací schopnost a kontrastní citlivost

Rozlišení pozorovaných předmětů a detailů závisí na schopnosti oka rozpoznat odlišné světelné podněty, které vycházejí z určitých částí zorného pole, tedy na schopnosti vyhodnotit jejich jasnost. Jasnost je pojem psychosenzorický a vyjadřuje vlastnost zrakového vnímání. Přibližně můžeme říci, že jeho fyzikální protikladem je fotometrická veličina jas, viz dále. V zorném poli můžeme tedy rozeznat pozorované předměty jen v případě, že se dostatečně liší jasnem, popř. barvou.

V případě, že na pozorovaném detailu a pozadí je jas rovnoměrně rozložený, stupeň rozeznatelnosti detailu lze charakterizovat kontrastem jasu:

$$K = \frac{|L_a - L_b|}{L_b} \quad (5),$$

kde L_a je jas rozlišovaného detailu, L_b jas pozadí, který odpovídá jasu adaptačnímu. Při nárůstu kontrastu jasu se zvyšuje pravděpodobnost postřehnutí detailu, resp. lépe rozpoznáme jeho tvar. Nejmenší rozeznatelný rozdíl jasů se nazývá práh rozlišitelnosti jasu a stanovíme jej

dle vzorce: $|L_a - L_b|_{min} = \Delta L_{min}$ (6).

Prahu rozlišitelnosti odpovídá prahový kontrast K_{min} . Převrácená hodnota prahového kontrastu se označuje jako kontrastní citlivost a její velikost závisí na adaptačním jasu a na velikosti kritického detailu. Se zvyšujícím se adaptačním jasnem kontrastní citlivost narůstá. Nejlepších hodnot je dosaženo pro jasy 300 až 5 000 $\text{cd} \cdot \text{m}^{-2}$. Pokud jsou hodnoty jasu vyšší, kontrastní citlivost z důvodu oslnění klesá.

Při běžné činnosti je důležitá i rychlost rozlišování. Výzkumy ukazují, že se zvyšováním hladiny osvětlenosti rychlost rozlišení detailu nejdříve výrazně stoupá, ale poté se růst postupně zmenšuje, až se téměř neprojeví. To je dáno tím, že při vysokých hladinách osvětlenosti se zrak unaví, což způsobí pokles rychlosti rozlišení.[5]

2.2. Zraková ostrost

Zraková ostrost (vízus) je pojem, jehož autorem je zakladatel oftalmologie, holandský vědec a lékař F. C. Donders, který jej zavedl koncem 19. století.

Ostrost zraku je důležitým měřítkem pro posouzení rozlišovací schopnosti lidského oka, a to na základě rozeznání dvou detailů vůči danému pozadí. Může se jednat o body, čáry či

drobné plošky, které jsou od sebe umístěny ve velmi malé vzdálenosti. V takovémto případě se jedná o zřakovou ostrost úhlovou neboli angulární. Ta numericky odpovídá reciproké hodnotě nejmenšího úhlu, pod kterým je zřakový systém schopen rozlišit dva dotyčné detaily jako oddělené. Normální zřakovou ostrost má oko, které rozliší dva body, odpovídá-li jejich vzdálenost v obecné pozorovací vzdálenosti tangenti úhlu jedné úhlové minuty ($1'$). Tato hodnota byla na mezinárodní oftalmologické konferenci v Haagu přijata jako základní jednotka úhlové zřakové ostrosti a je označována jako minimum separabile (viz dále). Nebyla však zvolena náhodně, ale na základě skutečných zobrazovacích poměrů v průměrném lidském oku. Čím menší je tedy vzdálenost sledovaných detailů, které lidské oko ještě rozezná, tím větší je zřaková ostrost.

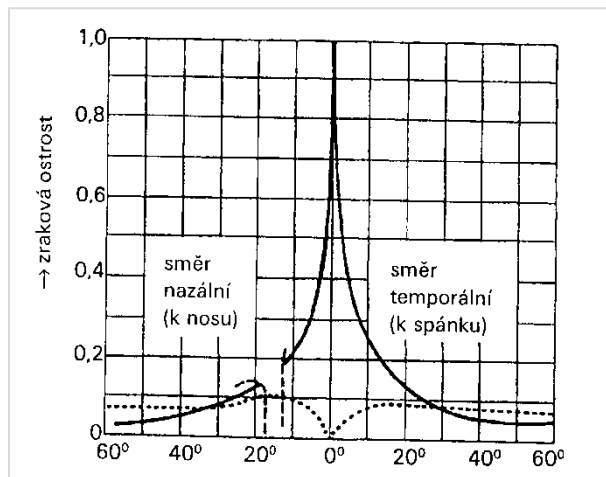
Existuje ovšem i jiný typ zřakové ostrosti, a to zřaková ostrost koincidenční neboli noniusová. Ta vychází z poněkud jiného principu. Jak již název napovídá hlavním kritériem je koincidence, která je nejčastěji vnímána jako kvalita stupně návaznosti, resp. pokračování dvou či více geometrických přímek při vyhodnocování okem v předmětovém prostoru. Je udáváno, že koincidenční zřaková ostrost je až 20x lepší než minimum separabile.

Zřaková ostrost je ovlivňována jak faktory fyzikálními (vady optického systému a osvětlení), tak fyziologickými (adaptační jas, rozložení smyslových elementů) a psychologickými (pozornost a kontrast). Je udáváno, že při zvyšování osvětlenosti do 100 lx, kvalita zřakové ostrosti narůstá, asi do 1000 lx zůstává stejná a při vyšších intenzitách osvětlení klesá z důvodu oslnění. Také bylo zjištěno, že se zvyšujícím se adaptačním jasnem zřaková ostrost zpočátku stoupá rychleji a pak od určitých hodnot (obvykle $100 \text{ cd}\cdot\text{m}^{-2}$, v některých situacích již při $25 \text{ cd}\cdot\text{m}^{-2}$) roste již málo.

Na podkladě výsledků vědeckých prací o vjemových polích, se v dnešní době odstupuje od teorie, podle níž zřaková ostrost záleží pouze na vzdálenosti mezi dvěma světločivnými buňkami, mezi nimiž zůstává alespoň jedna nepodrážděná. Prokázalo se totiž, že naše oko analyzuje obraz promítnutý na sítnici způsobem, který je podobný Fourierově analýze. Fourierova analýza je matematický proces, kterým lze komplexní kmitání rozložit na značné množství samostatných sinusových kmitů. Cesty zřakového přenosu pak vedou popis těchto jednotlivých sinusových složek. Rozlišovací schopnost oka je determinována sinusovou složkou obrazu, na jejíž frekvenci je zrak nejvíce citlivý. U člověka se zdravým zřakem je rozlišovací schopnost nejlepší při frekvenci asi 6 až 9 period na 1° zorného úhlu. Nejsme ovšem schopni rozlišit čáry velmi vysokých a velmi nízkých frekvencí.

Při kompletnějším studiu rozložení zřakové ostrosti na sítnici bylo také zjištěno, že zřaková ostrost klesá od centra do periferie sítnice. Na základě tohoto zjištění proto tedy

rozlišujeme zrakovou ostrost centrální, která se uplatňuje při pohledu přímo vpřed, kdy je stimulována centrální krajina sítnice a zrakovou ostrost periferní, která je až 20krát nižší.[5, 18, 19, 20, 21]



Obrázek 11: Rozdělení zrakové ostrosti na sítnici (plná čára značí fotopické vidění, tečkovaná odpovídá vidění skotopickému)

2.3. Prahové hodnoty

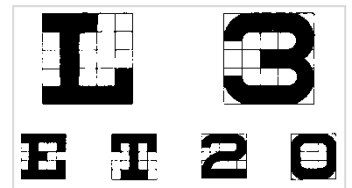
Rozlišovací schopnost je ovlivňována prahovými hodnotami, z nichž pro dobré vidění jsou důležité:

- * Minimum separabile- vyjadřuje schopnost zrakového systému rozlišit dva body ležící blízko sebe.
- * Minimum cognibile- prahová hodnota důležitá pro poznání známého tvaru, symbolu či znaku. Uplatňuje se při čtení znaků na optotypu.
- * Minimum legibile- je mezní hodnota vnímání a porozumění smyslu pojmu nebo souvislého textu o nejmenší velikost. Využívá se zejména při čtení na optotypu do blízka.
- * Minimum visible- vyjadřuje práh rozlišitelnosti na základě světelného kontrastu.
- * Minimum perceptible- je prahová hodnota vnímání slabých světelných impulsů, záleží na stavu adaptace oka.[22]

3. VYŠETŘOVÁNÍ ZRAKOVÉ OSTROSTI

3.1. Vyšetření zrakové ostrosti do dálky-vyjádření zrakové ostrosti, odstupňování řádků na optotypu, metody hodnocení

Východiskem stanovení zrakové ostrosti je zjištění již výše popsané rozlišovací schopnosti. K tomu nám slouží optotypové tabule s různými znaky a obrázky. První optotypy pocházejí již z roku 1862. Jejich autorem je významný holandský oftalmolog Herman Snellen, který zpočátku experimentoval s nejrůznějšími abstraktními symboly, ale později uznal, že klasické symboly, písmena a číslice, jsou mnohem vhodnější. Byly vepsány do čtverce, který se z určité vzdálenosti zobrazí na sítnici pod úhlem 5' a tloušťka čáry použitého znaku je rovna 1/5 strany čtverce a odpovídá tak 1'. Obvyklá vyšetřovací vzdálenost je 5 nebo 6 metrů. Hlavním důvodem, proč byla vybrána právě tato délka, je to, že při ní nastává akomodace menší než 0,25 D, tzn., že oko se prakticky dívá do nekonečna - neakomoduje.[2, 21, 22]



Obrázek 12: Snellenovy optotypy

Zraková ostrost neboli vízus (V) je běžně udávána jako poměr vzdálenosti, ze které je symbol optotypu právě ještě rozpoznán, ku vzdálenosti, z níž by při hodnotě vízu $V=1$ musel být ještě rozeznán. Vízus pak můžeme zapsat buď ve formě zlomku, nebo desetinného čísla, záleží na zvyku vyšetřujícího. V případě vyjádření zlomkem je vízus vypočítán jako:

$$V = \frac{\text{vyšetřovací vzdálenost v metrech (5-6 m)}}{\text{vzdálenost, ze které se základní kritérium použitého symbolu jeví pod úhlem 1'}} \quad (7).$$

Jednotlivé symboly jsou na optotypu uspořádány v řádcích od největších po nejmenší. Lze se setkat s různým odstupňováním optotypů, jelikož je možné zvažovat a aplikovat různé předpoklady, jako je např. splnění podmínky Weber-Fechnerova zákona.[20,22]

V České republice se v očních vyšetřovnách často využívají optotypy, které jsou založeny na principu Snellenova odstupňování známého již od roku 1890. Snellenova řada je tvořena následujícími členy: 0,1; 0,16; 0,25; 0,33; 0,5; 0,66; 1,0; 1,33; 2,0. Ve zlomkovém zápise tomu po drobných úpravách odpovídá zlomkový zápis, pro 5 metrovou zkušební vzdálenost: 5/50; 5/30; 5/20; 5/15; 5/10; 5/7,5; 5/5; 5/4 a pro vyšetřovací vzdálenost 6 metrů: 6/60; 6/30; 6/24; 6/18; 6/15; 6/12; 6/9; 6/6; 6/4.

V roce 1972 byly mezinárodní oftalmologickou radou navrženy optotypy s uplatněním logaritmického odstupňování, tzv. tabulky log MÚR (logaritmus minimálního úhlu rozlišení).

Pro tyto tabule je typické:

- na každém řádku je shodný počet písmen
- vzdálenost mezi písmeny odpovídá šířce znaku na onom řádku
- vzdálenost mezi řádky je vždy stejná a odpovídá velikosti písma
- rozměry jednotlivých znaků se mění logaritmicky, jako násobek faktoru 0,1 log jednotky, symboly se tedy řádek od řádku liší o $\sqrt[10]{10}$, tj. 1,2589

Při uspořádání znaků na optotypu je zachována konstantní vzdálenost, což je v souladu s Weber-Fechnerovým zákonem. Ten popisuje, že podráždění živého organismu musí růst logaritmicky, protože pouze tak může vzniknout lineární vjem. Optotypy tohoto typu mají 14 řádků s různě velkými písmeny, které můžeme vidět pod zorným úhlem od 10 do 0,5', což v logaritmickém zápisu odpovídá log MÚR od 1 do -0,3. Z tabulky č. 1. je patrné, jaké hodnoty jsou logaritmickému odstupňování ekvivalentní v decimálním a zlomkovém zápisu.[2, 22]

Tabulka 1: Vyjádření stupně vizu

Decimálně	Zlomek 5/m	Zlomek 6/m	Log MÚR
0,1	50	60	1
0,125	40	48	0,9
0,16	32	38	0,8
0,2	25	30	0,7
0,25	20	24	0,6
0,32	16	19	0,5
0,4	12,5	15	0,4
0,5	10	12	0,3
0,63	8	9,5	0,2
0,8	6,3	7,5	0,1
1	5	6	0
1,25	4	4,8	-0,1
1,6	3,2	3,8	-0,2
2	2,5	3	-0,3

Hodnocení a stanovení zrakové ostrosti může být prováděno pomocí různých metod. Jakýmsi nepsaným pravidlem velké části očních lékařů je, že konečný stupeň vizu odpovídá řádku, jež vyšetřovaný vidí jasně a zřetelně a s jistotou na něm přečte správně více než 60% znaků. Dle normy ČSN EN ISO 8596 195002, Oční optika - Zkouška zrakové ostrosti -

Normalizovaný optotyp a jeho zobrazení, je považován za nejobektivnější zkušební znak Landoltův kruh, který může být na optotypu upořádan v osmi různých pozicích. Naděje uhádnutí tedy činí asi 12,5 %. A podle vzorce

$$12,5\% + (100\% - 12,5\%)/2 = 56,25\% \quad (8),$$

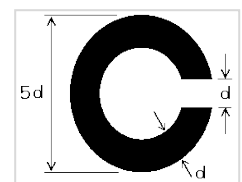
získáme po zaokrouhlení směrem nahoru, na 60%, správnou hodnotu prahové podnětu. Tato metoda hodnocení je označována jako celořádková a lze ji použít i pro jiné typy optotypů, není však zcela přesná.

V dnešní době při použití log MÚR optotypů je metoda celořádková nahrazována metodou interpolační. Základní ideou je předpoklad, že MÚR se rovná 1/5 vertikální úhlové velikosti písmene. Jelikož se velikost v každém řádku liší o 0,1 log jednotky, připadá na každé z pěti (deseti) písmen v řádku 1/5, tedy 0,02 (0,01). Je-li dodrženo toto pravidlo, pak vyšetřovaný, který správně přečetl celý řádek se stupněm vízu 0,2 log MÚR a na řádku nižším, tedy 0,1 log MÚR alespoň 3 písmena, má výslednou zrakovou ostrost stupně 0,14. K této hodnotě jsme dospěli následovně. Od stupně vízu posledního zcela správně přečteného řádku odečteme tolik písmen, která byla na dalším řádku ještě přečtena, tedy $0,2 - (3 \cdot 0,02) = 0,14$. Díky tomu, že řádky tvoří intervalová stupnice, je možné vízus stanovit přesně.[24, 25]

3.1.1. Optotypové znaky

V případě Snellenových znaků se využívá bezpatkové písmo, které je vytvořené na rastru 5x5 nebo 5x4 a jeho detaily pozorujeme v dané vzdálenosti právě pod úhlem 1'. Snellenovy optotypy ovšem nejsou dokonalé. Jejich největší vadou je nesterpně náročná čitelnost jednotlivých písmen, přičemž často dochází i k jejich záměně.

Tento nedostatek je již odstraněný na optotypu s Landoltovými znaky, jinak nazývané jako Landoltovy kruhy, či prstence. Název je odvozený z podobnosti k písmenu „c“ nebo „o“. Mají tvar kruhu s výřezem a jsou také vepsány do čtvercové sítě 5x5 jednotek. Šířka výřezu odpovídá 1/5 celkové velikosti kruhu, což je zároveň i tloušťka čáry znaku. Velikost a síla prstence musí být vždy taková, aby se celý znak na sítnici zobrazil pod úhlem 5'. Jak již bylo zmíněno výše, jednotlivé symboly jsou v řádcích uspořádány v osmi různých polohách: horizontálně, vertikálně a šikmo. Landoltův kruh je považován za nejobektivnější vyšetřovací znak. Jako jediný je normovaný a slouží k mezinárodně uznávaným znaleckým účelům.



Obrázek 13:Landoltův kruh

Dalšími optotypovými znaky, se kterými se můžeme setkat v oftalmologické praxi, jsou Pflügerovy háky. Háček je tvořen ze 4 stejně silných čar mající podobu písmene „E“. Oproti předchozím optotypům mohou být zobrazovány pouze ve 4 možných polohách, z čeho plyne, že pravděpodobnost uhádnutí správného směru je zvýšena na 25 %. Tyto znaky slouží především k určování vize lidí, kteří nejsou schopni správně pojmenovat písmena, číslice nebo obrázky. Hojně se tedy využívají při vyšetření analfabetů, cizinců či hluchoněmých. Jako velmi užitečná pomůcka při vyšetřování se osvědčilo „ukazovátko“ ve tvaru písmene „E“, které výrazně usnadňuje komunikaci mezi vyšetřujícím a vyšetřovaným během stanovení zrakové ostrosti.



Obrázek 14:Pflügerovy háky

V posledních letech se začaly prosazovat také Schoberovy optotypy. To jsou znaky, také se jedná o číslice a písmena, které vycházejí z běžných vizuálních situací a zkušeností.

První vyšetření zraku se provádí ve třech letech. To je věk, kdy děti ještě neznají písmena a číslice. Proto se používají symboly, které mají podobu obrázků, jako je např. domeček, židlička, hříbeček, srdíčko aj.[21, 22]

3.1.2. Konstrukce optotypů

V oftalmologické praxi se můžeme setkat s těmito typy optotypů:

- **Optotypy tištěné:** znaky jsou natištěny na papíře nebo fólii. Jedná se sice o nejlevnější provedení optotypů, zároveň však působením okolních vlivů dochází ke žloutnutí podkladu a z toho důvodu je vyšetření málo kvalitní. Těmito optotypy se vyšetřuje zejména na denním světle, jinak je nutné zajistit dostatečné difúzní osvětlení zhruba 500 lx.
- **Optotypy tištěné s bočním osvětlením:** na okrajích optotypu jsou umístěny světelné zdroje, které slouží k osvětlení znaků. Vyšetřuje se jimi převážně v temné místnosti.
- **Optotypy světelné:** můžeme se s nimi setkat v různém provedení. Dříve byly vyráběny s dřevěnou konstrukcí, která je v dnešní době nahrazována plastem, ale i přesto se s nimi v očních vyšetřovnách můžeme setkat. Optotypy tedy tvoří plastová skříňka, v jejíž přední části jsou žlábků, do nichž se zasouvá mléčné sklo. To má na zadní části nalepenou průsvitnou fólii se zkušebními znaky. V České republice jsou nejvíce využívány světelné optotypy vlastní produkce. Kompletní soubor zkušebních znaků je umístěn na jediném neděleném světelném poli.

Novější variantou jsou tzv. optotypy řádkové, které mohou být vyráběny v třísloupcové nebo dvousloupcové variantě. U každého řádku je umístěná žárovka, díky čemuž jsou řádky osvětlovány jednotlivě. Přístroj můžeme ovládat dálkově nebo otočným spínačem přes spojovací kabel. Výhodou takového provedení je to, že pozornost vyšetřovaného je tak soustředěna hlavně na osvětlené pole.

- **Optotypy projekční:** jedná se o běžný diaprojektor, který promítá příslušné znaky na speciální projekční plochu, kterou představuje stínítko s metalickým povrchem. Vyšetřovací místnost nemá být příliš osvětlená. V místě projekční stěny by osvětlení nemělo být nastaveno více než na 100 lx, avšak k osvětlení samotného vyšetřovacího pole je vhodná hodnota 400 lx. Tyto přístroje se od tištěných optotypů liší jen velikostí projekčního pole (kolem 4-5°) a sestavením promítaných znaků. Znaky jsou zmenšeny na diapozitivech o velikosti asi 16x16 mm, které jsou pro projekci uspořádány v revolverovém zásobníku. Zásobník obsahuje různé testy, clony, barevné a polarizační fólie, které mohou být předkládány v různých kombinacích. Modernější optotypy jsou vybaveny dálkovým ovládním, čímž je jejich používání značně zjednodušené, a proto se s nimi ve vyšetřovnách setkáme častěji. Kromě klasických optotypových symbolů zde nalezneme testy, které slouží ke stanovení monokulární refrakce, binokulární rovnováhy, testy pro určení stupně okohybných odchylek aj.
- **LCD optotypy:** jedná se o nejnovější verzi optotypů vyskytující se na našem trhu. Do LCD panelu je přímo zabudovaný počítač, který umožňuje vyšetřujícímu ke stanovení zrakové ostrosti využít celou škálu mezinárodně uznávaných testů. Ke snadné obsluze přispívá i dálkový ovladač, který umožňuje rychlou a nenáročnou manipulaci při měření. Kromě běžných symbolů jako jsou Snellenovy znaky, Landoltovy kruhy nalezneme v nabídce i ETDRS optotypy, tabulky na vyšetření kontrastní citlivosti i pseudoisochromatické Ishiharovy tabulky ke zkoušce barvocitu. Díky velké škále testů můžeme stanovit přesnou refrakci i motilitu očí. LCD optotypy jsou opatřeny úchytem na stěnu nebo je můžeme postavit na podložku. Při vyšetřování vízu musíme být vždy dodrženo všeobecně známé pravidlo o umístění optotypu. Optotyp má být vždy v úrovni očí vyšetřované osoby. V zorném poli nesmí být kromě zrakového testu žádný rušivý prvek. V případě, že je optotyp zavěšený na stěně, je nejvhodnější odstín malby bílé, příp. šedé. Celkový jas tabule musí být v rozmezí $85 \pm 5 \text{ cd} \cdot \text{m}^{-2}$. Díky moderní technologii nezáleží, zda je vyšetřovna tmavá nebo osvětlená místnost. Testy lze provádět v různých světelných podmínkách, což přispívá k tomu, že se příjemně cítí nejen vyšetřovaný, ale i vyšetřující.[21, 22]

3.2. Vyšetření zrakové ostrosti do blízka

Zkouška vidění do blízka se provádí ve vyšetřovací vzdálenosti 30-45 cm. Znaky testů bývají většinou uspořádány jako souvislý text, což je pro praktické vidění do blízka nejpotřebnější. Často jsou doplněny i ukázkami jízdních řádů, telefonních seznamů, notových partů atd.

Konstrukčně jsou řešeny obdobně jako optotypy do dálky, tištěné a světelné. Značení řádku textu je různé. Můžeme se setkat s označením číslem vyjadřujícím největší vzdálenost, ze které by daný řádek mělo ještě přečíst mladé emetropické oko nebo s udáním stupně vízu v desetinném čísle pro konkrétní vyšetřovací vzdálenost (např. 33 nebo 40 cm). Vyšetření vízu do blízka je výrazně ovlivněno věkem.

K vyšetření nám slouží celá škála zkušebních testů:

- Niedonovy tabulky: nejvyšší zraková ostrost je udávána jako Niden 1, to odpovídá cca vizu 0,75. Jsou používány ve zkušební vzdálenosti 30 cm.
- Birkhäuserovy tabulky: slouží rovněž k vyšetření zraku na vzdálenost 30 cm. Jsou charakteristické decimálním odstupňováním vízu od hodnoty 1,0 po 0,3.
- Snellenovy tabulky: jsou navrženy taktéž pro vyšetřovací vzdálenost 30 cm. Začínají číslem 1 a končí číslem 15, které vyjadřuje hodnotu vízu 0,06.
- **Jaegerovy tabulky:** používají podobný systém hodnocení jako Snellenovy optotypy do blízka, liší se pouze rozpětím číselné řady (1-17).
- Sachsenwegerovy tabulky: jsou zkonstruovány pro zkušební vzdálenost 40 cm.[1, 21, 22]

4. OKO JAKO OPTICKÝ SYSTÉM

Optický systém lidského oka bývá ve své funkci přirovnáván k fotografickému aparátu. Rohovka společně s komorovou vodou a čočkou představují objektiv, duhovka se zornicí slouží jako clona. Vlastní komoru zde zastupuje dutina vyplněná sklivcem a zamezení vzniku reflexů obstarává pigmentová vrstva cévnatky. K zaostření slouží ciliární sval, který prostřednictvím akomodace mění optickou mohutnost oční čočky a samotným fotografickým filmem či CCD čipem je sítnice.

Dioptrický aparát oka má ovšem z fyzikálně-optického hlediska řadu nedokonalostí. Vady optického vybavení oka můžeme rozdělit na vady fyziologické a refrakční. [23, 26]

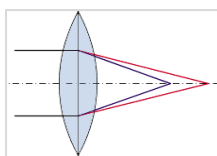
4.1. Fyziologické optické vady

4.1.1. Difrakce světla

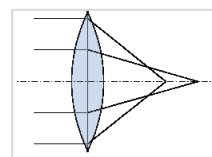
V případě, že světelná vlna prochází prostorem, okraje této vlny mají snahu se rozbíhat. Z tohoto důvodu na sítnici nevzniká bodové zobrazení předmětu, nýbrž řada koncentrických kroužků s jasnou skvrnou v centrální části. Tato vlastnost výrazně ovlivňuje přesnost sítnicového obrazu a to bez ohledu na dokonalost optického vybavení oka. Při průměru pupily 2 mm je průměr této skvrny na sítnici asi 0,01 mm. Proto tedy platí, že čím menší je velikost zornice, tím méně paprsků vytváří sítnicový obraz a tím menší je tedy difrakce.

4.1.2. Chromatická aberace

Bílé světlo se skládá z paprsků, které mají různou vlnovou délku. Podstatou chromatické aberace je tedy fakt, že paprsky o kratších vlnových délkách jsou lomivé více než paprsky dlouhovlnné. Proto ohnisko paprsků fialové barvy leží k rohovce blíže, asi o 0,6 mm, než ohnisko paprsků červených, viz obrázek č. 15. Oko tak nikdy nemůže zobrazit bílý bod jako bod a barevné objekty, které se nacházejí od oka ve stejné vzdálenosti, jsou zobrazovány na různá místa optické osy.



Obrázek 15: Chromatická aberace



Obrázek 16: Sférická aberace

4.1.2.1. Chromatická diference zvětšení

Díky nestejné lomivosti paprsků nedochází pouze ke vzniku obrazů v různých vzdálenostech od rohovky. V případě, že pozorovaný předmět leží poněkud stranou od optické osy, obrazy tvořené paprsky krátkých vlnových délek jsou menší než obrazy paprsků dlouhovlnných. Vzhledem k tomu, že místo nejostřejšího vidění, žlutá skvrna, neleží přesně na optické ose, je tato vada do značné míry neutralizována.

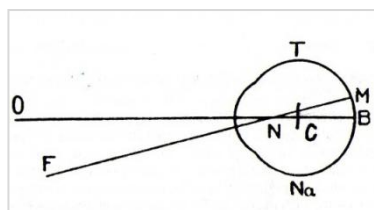
4.1.3. Sférická aberace

Paprsky jdoucí rovnoběžně s optickou osou se po lomu na kulové ploše nesbíhají v jednom ohnisku. Okrajové paprsky mají kratší ohniskovou vzdálenost než paprsky centrální. Proto i bod, který svítí monochromatickým světlem, na sítnici nevytváří bodový obraz, ale rozptýlený kruh. Sférická aberace je ale vada, která je v lidském oku do značné míry kompenzována. Podílí se na tom oční čočka, která je v centrální části lomivá více než při okraji a úzká zornice, která okrajové paprsky částečně odfiltruje. Důležitou roli zde hraje i rohovka, která není dokonalou kulovou plochou, směrem do periferie se oplošťuje a ve střední části je tedy více lomivá.

4.1.4. Decentrace

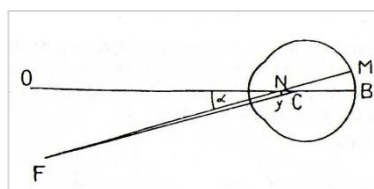
K tomu, aby na sítnici vznikl dokonalý obraz, je nutné, aby centra zakřivení rohovky a čočky ležela přesně na optické ose. I v tomto směru se projevují nedokonalosti lidského oka, jelikož centrace optického systému přesná není. Odchyly jsou však zanedbatelné.

Žlutá skvrna obvykle neleží na optické ose, ale je od ní mírně temporálně posunuta, asi o 0,25 mm. Proto předmět umístěný v prostoru nepozorujeme přesně ve směru této osy, nýbrž podél osy vidění, což je přímka, která spojuje bod fixace se žlutou skvrnou. Jen výjimečně se stává, že optická osa probíhá makulou v ose vidění. Vzhledem k tomu, že ve většině případů osa vidění prochází rohovkou lehce nad a nazálně od její centrální části, při fixaci osa optická probíhá spíše směrem dolů a zevně. V uzlovém bodě pak obě osy svírají úhel α (alfa), jehož průměrná velikost je 5° .



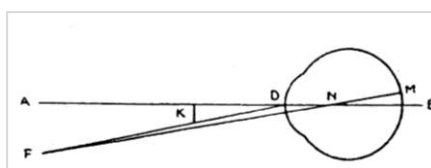
Obrázek 17: Úhel alfa (T- temporálně, Na- nazálně, O- optická osa, FM- osa vidění, N- uzlový bod, ONF- úhel alfa)

Oko se pohybuje kolem bodu, který leží uprostřed optické osy oka a je označován jako centrum rotace. Přímka spojující centrum rotace s bodem fixace se nazývá osa fixace a s optickou osou svírá úhel γ (gama).



Obrázek 18: Úhel gama (O- optická osa, FM- osa vidění, FC- osa fixace, C- centrum rotace, OCF- úhel gama)

Kromě úhlů α a γ je důležitý ještě úhel κ (kappa), který spolu v bodě při průchodu rohovkou tvoří osa vidění a pupilární přímka procházející středem zornice. Střed pupily leží od středu rohovky spíše nazálně. Pro klinické účely se ale tato mírná odchylka zanedbává a pupilární přímku považujeme za shodnou s optickou osou, a proto i úhel κ můžeme považovat za totožný s úhlem α i γ . [23, 26]



Obrázek 19: Úhel kappa (ANB- pupilární přímka procházející bodem D na rohovce, FM- osa vidění, ADF- úhel kappa)

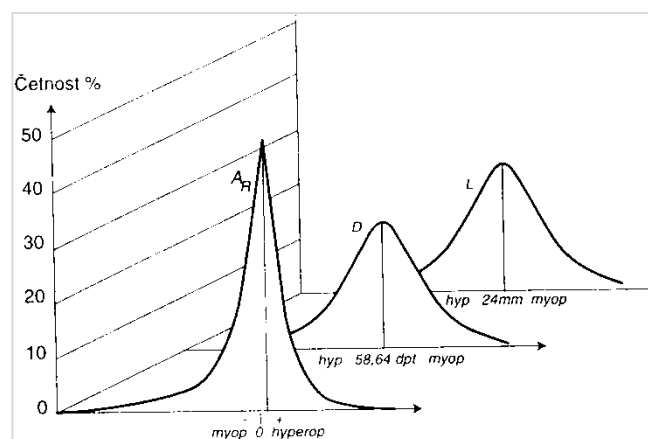
4.2. Refrakční vady

4.2.1. Refrakční vady

Na refrakční vady nenahlížíme jako na patologické, ale v jistém smyslu se taktéž jedná o poruchy fyziologické. Vývoj vidění je složitý a komplikovaný proces, který prochází aktivní a pasivní fází. Během aktivní fáze dochází ke stálému přísunu zrakových podnětů, které jsou

v průběhu fáze pasivní fokusovány na sítnici, kde vzniká ostrý obraz pozorovaného předmětu. Tento proces je ovlivňován několika faktory, zejména lomivostí rohovky a čočky, hloubkou přední oční komory a předozadní délkou oka. Právě tyto hodnoty jsou determinující pro refrakci oka, která se během života mění a to již od prvních měsíců vývoje dítěte. Většina novorozenců je při narození hypermetropická, průměrná hodnota dosahuje asi +2 D (dioptrie). V předškolním a školním věku růst předozadní délky oka pokračuje. Je udáváno, že mezi 8. a 20. rokem hypermetropizaci střídá myopizace, která je právě v těchto letech příčinou tzv. školní myopie. Asi od 40. roku probíhá druhé období hypermetropizace, po níž pak následuje někdy v rozmezí 65. až 70. let druhá myopizační fáze. Pro tyto fyziologické změny je charakteristický pomalý a plíživý průběh. Proto jakákoliv nenadálá změna refrakce může poukazovat na patologický stav, který vyžaduje pečlivé vyšetření.

Jak již bylo uvedeno, refrakční vady jsou dány individuální proměnlivostí zakřivení lomivých ploch a délky oka. Tyto biologické veličiny kolísají v rozsahu fyziologických hodnot, které lze vyjádřit, stejně tak jako i jiné hodnoty lidského těla, normální Gaussovou křivkou. Ta má tvar zvonce vytvořeného kolem nejběžnější hodnoty. Na obrázku č. 20 je znázorněný charakteristický průběh této křivky. Hodnoty lomivých ploch, jsou vyjádřeny v dioptriích (D) a délka oka je uváděna v milimetrech (L).[2, 23, 26, 27]



Obrázek 20: Výskyt ametropií v populaci

4.2.2. Emetropie, ametropie

Optický systém normálně vidícího oka, jehož délka, zakřivení lomivých prostředí a jejich optická mohutnost jsou v rovnováze, označujeme jako emetropický. V tomto případě, jsou v akomodačním klidu paprsky rovnoběžné s optickou osou po lomu optickými prostředími spojovány na sítnici, v co nejmenším difúzním kroužku. Naopak ametropie je stav, kdy tomu tak není, paralelní paprsky nejsou koncentrovány přesně na sítnici a oko tedy má refrakční

vadu. Nejčastější příčinou vzniku refrakční vady je kratší nebo delší axiální délka oka (ametropie osová, axiální), jelikož každá změna předozadní délky oka o 1 mm představuje změnu refrakce o 3 D. Jinou možností, která má za následek ametropii, je změna poloměru zakřivení rohovky a čočky. Vzácněji se pak vyskytují refrakční vady z poruchy indexu lomu (ametropie indexová).

Obecně můžeme ametropie rozdělit do dvou hlavních skupin, na ametropie sférické a asférické.

4.2.2.1. Ametropie sférické

U sférických ametropií je zachováno bodové zobrazení, ohnisko obrazu se však může nacházet před sítnicí (krátkozrakost) nebo za sítnicí (dalekozrakost).

Krátkozrakost (myopie) je refrakční vada, která ve většině případů vzniká v důsledku příliš velké předozadní délky oka při normální lomivosti optických prostředí, nebo z důvodu zvýšeného zakřivení rohovky či čočky při normální délce oka. V obou případech se rovnoběžné světlené paprsky vstupující do oka sbíhají v ohnisku před sítnicí.

Hlavním příznakem myopie je rozostřené a mlhavé vidění do dálky, které si člověk snaží sám korigovat mhouřením očí. Obecně se krátkozrakost koriguje pomocí rozptylných čoček, které rozbíhavě mění směr rovnoběžných paprsků vstupujících do oka, čímž je obrazové ohnisko posunuto na sítnici.

Podle počtu dioptrií rozlišujeme krátkozrakost:

- lehkou (myopia simplex) do -3 D
- střední (myopia modica) do -6 D
- těžkou (myopia gravis) nad -6 D

Lehkou a střední krátkozrakost řadíme mezi vady fyziologické, vznikají při normálním vývoji oka. Nedochozí při nich ke vzniku degenerativních změn, proto patří do skupiny nízké myopie. Dále pak rozlišujeme myopii středně těžkou (myopia intermedialis), která vzniká v důsledku postupného zvětšování oka (až do -10 D) a její vývoj je zpravidla zastaven po 20. roce života. Nejzávažnější typ krátkozrakosti představuje myopie patologická (myopia progressiva), při níž vada může růst až o -4 D za rok. Ke stabilizaci dochází kolem 30. roku a hlavní riziko spočívá ve vzniku degenerativních změn na cévnatce, sítnici a ve sklivci. Existuje též krátkozrakost vrozená (myopia congenita), ihned po porodu má hodnotu -10 D, která se již pak během život zpravidla nemění.

Dalekozrakost (hypermetropie) je běžným nálezem po narození. S vývojem a růstem bulbu tato vada klesá a v období puberty má určitý stupeň dalekozrakosti asi 50 % očí. Důvodem vzniku vady může být kratší axiální délka oka nebo nižší zakřivení, zejména rohovky, které může být vrožené-cornea plana nebo vznikne např. následkem úrazu. Při snížení indexu lomu čočkové tkáně se rozvíjí dalekozrakost indexová, se kterou se můžeme běžně setkat u pacientů staršího věku.

U hypermetropického neakomodujícího oka leží obrazové ohnisko paralelních paprsků za sítnicí. K tomu, aby byly paprsky fokusovány na sítnici, je možné využít vlastní akomodační úsilí nebo spojné čočky. Při stanovení refrakce je důležité si uvědomit, že dalekozrací lidé akomodují již nevědomky. Proto rozlišujeme:

1. hypermetropii latentní - je překonána fyziologickým napětím ciliárního svalu
2. hypermetropii manifestní – tu dále rozdělujeme na:
 - a) fakultativní-je zvládnuta zvýšeným akomodačním úsilím
 - b) absolutní-nekorigovaný zbytek vady

K tomu, abychom mohli stanovit totální hypermetropii, je nutné akomodaci vyřadit pomocí cykloplegik, která vyvolávají obrnu m.ciliaris. Tento proces je nutné dodržovat hlavně u dětí, jelikož stanovení totální hypermetropie je hlavní podmínkou k zabránění vzniku dalších komplikací.

Obtíže, které dalekozrakost způsobuje, se odvíjí od stupně hypermetropie a akomodační šíře. Chce-li hypermetrop vidět ostře do dálky, musí zapojit akomodaci více než emetrop a ještě větší úsilí musí vyvinout při práci do blízka. Tato nadměrná námaha akomodace může vyvolat astenopické obtíže, jako jsou bolesti hlavy a očí, slzení, pálení a zarudnutí očí a víček. Obecně platí, že pokud pacient netrpí žádnými zmíněnými obtížemi, refrakční vada je malá a zraková ostrost normální, není nutné vadu korigovat. Brýle je nutné předepsat u vady vysoké a v případě, že pacient šilhá, což platí zejména pro děti v předškolním a školním věku. U školních dětí je korekce nutná u vad vyšších jak +3 D. Vzhledem k tomu, že se akomodace v průběhu života snižuje, je po 30. až 40. roce vhodné předepsat brýle na práci do blízka, zejména na čtení, popř. i na trvalé nošení. Komfortní vidění je totiž možné pouze tehdy, nemusí – li být při pohledu do blízka dlouhodobě zapojováno více než 2/3 akomodační šíře.

4.2.2.2. Ametropie asférická

Hlavním představitelem tohoto typu refrakční vady je **astigmatismus**. Astigmatismus je stav optického aparátu oka, který nemá ve všech meridiánech stejnou optickou mohutnost.

Nejčastěji se můžeme setkat s astigmatismem rohovkovým, při počínající kataraktě pak s astigmatismem čočkovým. Paralelní paprsky, které vstupují do oka, se tak promítají do dvou fokálních linií, jejichž vzájemná vzdálenost se označuje jako fokální interval. Podle polohy fokál rozlišujeme:

1. astigmatismus pravidelný (regularis)- má oba hlavní meridiány postaveny na sebe kolmo. Osy hlavních meridiánů jsou nejčastěji v horizontální nebo vertikální rovině, pokud je tomu jinak vzniká astigmatismus šikmý (obliquus). Rozlišujeme astigmatismus přímý („podle pravidla“), vertikální meridián je více lomivý než horizontální, a astigmatismus nepřímý („proti pravidlu“), u kterého je tomu naopak. Pravidelný astigmatismus pak dále ještě dělíme na:
 - a) jednoduchý (simplex)- jeden meridián je emetropický, tzn., že jedna fokála leží na sítnici a druhý je buď myopický, nebo hypermetropický a fokála se nachází před nebo za sítnicí.
 - b) složený (compositus)-oba meridiány jsou buď myopické nebo hypermetropické.
 - c) smíšený (mixtus)-jeden meridián je myopický, druhý je hypermetropický.
2. astigmatismus nepravidelný (irregularis)- má v různých meridiánech různou refrakci. Vyskytuje se nejčastěji po onemocnění rohovky, kdy její povrch zůstává nepravidelně vyklenutý.

U malé vady do 0,5 D korekce zpravidla není nutná. U pacientů s nekorigovanou vyšší vadou se mohou vyskytnout také astenopické obtíže, u šikmého astigmatismu i kompenzační poloha hlavy torticollis, která může mít u dětí za následek poruchu vývoje páteře. Jednoduchý astigmatismus korigujeme čočkami cylindrickými, složený a smíšený čočkami sférotórickými. Výsledná korekce pak bývá kompromisem mezi binokulární snášenlivostí korekce a zrakovou ostroť.[2, 23, 26, 27, 28, 29]

5. HISTORICKÝ VÝVOJ NÁZORŮ NA PODSTATU SVĚTLA

5.1. Starověké Řecko

Historické prameny dokazují, že podstatou světla se zajímali již ve starověku. Staří Řekové byli výborní geometři a díky tomu se zabývali především geometrickou optikou. Rozlišovali katoptriku, nauku o odrazu světla různými zrcadly, a dioptriku, nauku o lomu světla. Jelikož staří Řekové neznali goniometrické funkce, kterých je třeba v dioptrice, byla lépe prozkoumána katoptrika, která je jednodušší.

Výkladem problémů vidění se zabýval **Pythagoras ze Samu** (590-500 př. n. l.), přezdívaný otec čísel, který jako první podal „teorii“, o kterou se vedly pře až do 17. století. Podstatou jeho myšlenek bylo to že, že z oka vycházejí výrony, emanace, které se odrážejí od tělesa zpět do oka a vyvolávají v něm zrakový vjem.

Archytas z Tarentu (kol. 430-345 př. n. l.) tyto výrony označil jako „zrakové paprsky“ a **Eukleidés z Alexandrie** (asi 325-260 př. n. l.) dokázal jejich konečným počtem to, že předměty vidíme vzdálené, nikoli malé. Další z filozofů byl **Empedokles z Akragantu** (483-423 př.nl.), který měl však názor opačný a učil, že výrony nevlétávají z oka, nýbrž z předmětů.

V následujících letech byl z hlediska názorů na povahu světla významný filozofický směr zvaný atomismus, jehož hlavní myšlenky formulovali **Leukippos z Milétu** (kolem 500-440 př. n. l.) a jeho žák **Démokritos z Abdér** (asi 460-370 př. n. l.). Démokritovou hlavní ideou bylo to, že všechno je složeno z částic-atomů. Tyto částice se nemohou dále dělit, měnit se a zanikat. Mohou mít však určitou hmotnost a geometrický tvar, ale nejsou barevné a nevoní. Jsou tedy nositelé kvantitativních, nikoli kvalitativních vlastností. Démokritos zároveň velmi ostře nesouhlasí s teorií o paprscích vystupujících z oka a hlásá, že vidění nám umožňují z těles se odlupující malé atomy, které dopadají na povrch oka.

Za zmínku stojí i řecký filozof, pedagog a matematik **Platón** (427-347 př. n. l.). Ten sloučil Pythagorovu teorii zrakových paprsků a myšlenku výronů vylétajících z těles. Toto spojení bylo v dalších letech pojmenováno jako synaugie.

Velký vliv v oblasti optiky měl na rozhraní řeckých dějin jeden z největších učenců a filozofů starověku **Aristoteles ze Stageiry** (384-322 př. n. l.). Podle jeho představ se světlo šířilo jako vlnění, které narušovalo jakousi neviditelnou látku vyplňující prostor. Tu nazval éterem. S tímto názorem se ztotožňovala většina učenců po dobu takřka 2 000 let. [30, 31, 32, 33]

5.2. Středověká Arábie

Antické znalosti optiky shrnul a rozvinul arabský učenec Abú Ali Muhammad Ibn al-Hasan Ibn al Haitham, latinsky **Alhazen** (965-1038 n. l.). Jako první prohlásil, že vidění způsobují paprsky, které vychází z každého bodu pozorovaného předmětu. Ty pak vstupují do oka a vytváří obraz v čočce. Svoje předpoklady demonstroval sestrojením camery obscury (byla předchůdcem současných fotoaparátů). Jednalo se o uzavřenou krabici, do které malým otvorem vstupovalo světlo a dopadalo na protější stěnu. Při pokusu jej zarazilo, že ve srovnání se zobrazovaným předmětem je vytvořený obraz převrácený. Z toho usoudil, že i obraz na sítnici lidského oka je rovněž obrácený, ale nikdy nezjistil, proč tomu tak je. Domníval se, že v procesu vidění hraje velkou úlohu i fantazie a rozum, pomocí nichž lze vyložit zrakové klamy.

Alhazen zkoumal i mísení barev. Využil k tomu rotující kotouč. Zjistil, že při určité rychlosti skutečně vznikne barva bílá. Z toho usoudil, že světlo má konečnou rychlost. K významným objevům patří i to, že dopadající, lomený a odražený paprsek leží v jedné rovině. Zákon lomu však neformuloval. Dalšími pokusy dokázal celou řadu vlastností světla, například, že dva světelné paprsky se navzájem neovlivňují nebo že se světlo šíří přímočaře. [32, 34, 36]

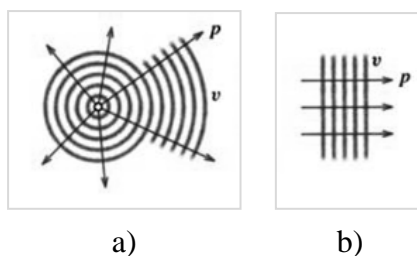
5.3. 17. století až 20. století v Evropě

Nové poznatky o podstatě světla byly zaznamenány až koncem 17. století. K významným fyzikům tohoto období patřili zejména Holanďan Christian Huygens a Brit Isaac Newton.

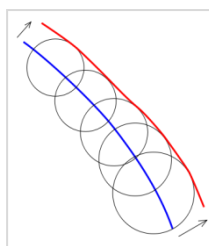
Christian Huygens (1629-1695), nazývaný holandský Newton, v roce 1678 objasnil proces šíření daného vlnění v prostoru. Tato myšlenka je dodnes nazývána jako Huygensův princip: „každý bod vlnoplochy, do něhož v určitém okamžiku dospělo vlnění, můžeme pokládat za zdroj vlnění elementárního, které se z něj šíří v elementárních vlnoplochách. Vlnoplocha v dalším časovém okamžiku je vnější obalová plocha všech elementárních ploch ve směru, kterým se vlnění šíří“ [35]. Vlnoplocha je plocha, jejíž body kmitají se stejnou fází a vlnění se šíří ve směru paprsku, který je vždy kolmý na vlnoplochu.

Při svých dalších pokusech zjistil, že světlo je podélné vlnění hypotetického světelného éteru, který se nachází ve vakuu i ve všech tělesech. Tato myšlenka byla základem jeho vlnové (undulační) teorie světla. Vyzkoumal, že světelný zdroj vysílá mechanické vlny šířící se světelným éterem do všech stran. V určitém okamžiku všechny vlny dorazí do jediného

bodou, který se nachází ve stejné vzdálenosti od zdroje a tam vytvoří kulovou vlnu. Vlny se sčítají a šíří se určitou rychlostí. Pojem hypotetické substance-světelný éter nebyl mezi matematiky a fyziky té doby přijat s velkým nadšením. Přesto však nemůžeme Christianu Huygensovi upřít zásluhy v oblasti středověké optiky. Vysvětlil zákon odrazu a lomu světla, vznik dvojlomu, ale nedokázal objasnit přímočaré vlnění světla. Předpokládal totiž, že vlnová délka je větší než skutečná, řádově se pohybující ve stovkách nanometrů.[32, 35]



Obrázek 21: Znárodnění procesu šíření vlnění v daném prostředí,
a) kulová vlnoplocha, b) rovinná vlnoplocha



Obrázek 22: K výkladu Huygensova principu-modrá barva znázorňuje původní vlnoplochu, šedivá barva plochy elementární a barva červená novou vlnoplochu, která vzniká jako obalová plocha všech elementárních vlnoploch

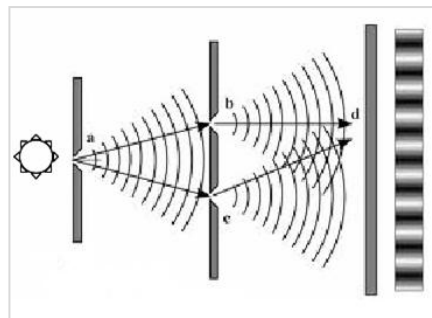
Oponentem jeho názorů byl anglický matematik a fyzik **Isaac Newton** (1642-1727). Jeho výsledky zkoumání budily obdiv a nadšení. Je autorem korpuskulární (emanační) teorie, která říká, že světelný zdroj vysílá jemné částičky (korpuskule) šířící se přímočaře. Ty po dopadu do oka vyvolávají zrakový vjem. Z hlediska korpuskulární či emanační teorie je přímočaré šíření světla pouhým důsledkem principu setrvačnosti. Odraz lze chápat úplně stejně jako v mechanice, lom je důsledkem změny přitažlivosti druhým prostředím.

Barvu světla vysvětlil tak, že částice patří k různým barvám. Ve vakuu se tyto částice pohybují rychlostí stejnou a ve skle různou. Rozmanitost barev je dána nestejnou hmotností světelných korpuskulí. Červené částice byly podle Newtona největší, fialové nejmenší. Bílé světlo považoval za množinu korpuskulí, které odpovídaly různým barvám. Pomocí pojmů „nálady světelných částic“, a „zhušťování éteru“, který způsobí částečný odraz a průchod světla na rozhraní, vysvětlil dokonce i interferenci světla. Éter totiž považoval za prostředí,

v němž světelné částičky mohou vyvolávat vlnění. Jeho teorie byla tedy propracovanější než teorie undulační. Proto byla uznávána v optice po celé 18. století. [30, 31, 36]

Začátkem století 19. se však ukázalo, že Huygensovy představy o světle jsou více reálné. Vítězství vlnové teorie světla je spojeno hlavně se jmény Thomas Young a A. J. Fresnel.

Thomas Young (1173-1829) provedl v roce 1803 jednoduchý, ale ve světě optiky přelomový experiment. V okenní roletě vytvořil malý otvor, který mu sloužil jako zdroj světla. Do kousku tuhého papíru udělal špendlíkem dva otvory umístěné blízko sebe. Papír přiložil tak, aby sluneční světlo procházelo oběma štěrbinami a dopadalo na plochu za ním. V případě, že by bylo světlo tvořeno částicemi, spatřili bychom po průchodu malými otvory v papíru na promítací ploše dva světelné body. Jelikož se však světlo šíří v podobě vlnění a jak známo, vlny se mohou skládat, mohou se vlny vycházející z otvorů navzájem překrýt. Tím se vytvoří na zobrazovací ploše světlé a tmavé pásy odpovídající střídající se intenzitě.



Obrázek 23:K výkladu Youngova pokusu: a) zdroj světla, b) a c) dvojice štěrbin na papíře, d) promítací plocha

Pomocí pokusů Young dokázal odhadnout i vlnovou délku pro jednotlivé barvy. Hodnoty pro červenou a fialovou barvu, ke kterým se dopracoval svými výpočty, se ukázaly jako správné a platí dodnes. Přesto ve své době sklídl obrovskou kritiku, zejména proto, že zásadně nesouhlasil s Newtonovými tezemi o světle. [31, 35]

Augustin Jean Fresnel (1788-1827) byl francouzský fyzik. Stejně jako Young uskutečnil pokus s ohybem světla na štěrbinách a prokázal, že světlo je vlnění. Tímto experimentem potvrdil teorii Huygense i Younga a zasloužil se tak o definitivní konec korpuskulární teorie.[31]

K novým poznatkům v oblasti povahy světla došlo až koncem 19. století. Velkou zásluhu na tom měl skotský fyzik **James Clerk Maxwell** (1831-1879), který přišel s tvrzením, že světlo je elektromagnetické vlnění s krátkými vlnovými délkami. Ve svých čtyřech rovnicích shrnul vše, co bylo do té doby o elektřině a magnetismu známo a tím vytvořil jednotnou teorii elektromagnetického pole. Při zkoumání vycházel z matematických výpočtů anglického fyzika a matematika, objevitele elektromagnetické indukce, Michaela Faradaye.

Maxwellovi se podařilo ze svých rovnic odvodit základní zákony fyzikální optiky a sjednotit tak optiku s teorií elektromagnetického pole. Jeho poznatky dokazují, že časová změna elektrického pole budí pole magnetické a časová změna pole magnetického budí pole elektrické. Obě pole se šíří v podobě vln rychlostí světla, která je konečná. Elektromagnetické vlny byly tedy teoreticky předpovězeny mnohem dříve, než byly potvrzeny experimenty. Možná i proto byla jeho teorie dlouho přijímána s velkou nedůvěrou. Maxwell se potvrzení svých objevů nedočkal. Teprve devět let po jeho smrti prokázal Heinrich Rudolf Hertz (1857-1894), že jeho předpoklady jsou správné. Elektromagnetické vlny tak přestaly být pouhou hypotézou a staly se součástí ucelené fyzikální teorie elektromagnetického pole.[30, 37]

V následujících letech se ukázala Maxwellova teorie jako správná a přesná. Díky těmto výpočtům se podstatou světla začalo zabývat mnoho dalších matematiků a fyziků. Teorie elektromagnetického světla však nebyla schopna objasnit další optické jevy, jako například fotoefekt, světelná spektra atomů nebo spektra záření, které vysílá absolutně černé těleso. V roce 1900 **Max Karl Ernst Ludwig Planck** (1858-1947) zveřejnil svou hypotézu, podle níž se vyzařování i pohlcování světla děje nespojitě, po určitých množstvích-kvantech energie, která jsou úměrná frekvenci záření.

Pro výraz kvanta světelné energie byl v pozdějších letech zaveden název fotony. Planck prokázal, že podle frekvence příslušné elektromagnetické vlny mají fotony energii,

$$E = h \cdot f \quad (10),$$

kde f je frekvence a h je Planckova konstanta, která činí $6,625 \cdot 10^{-34}$ J·s. Vzhledem k tomu, že vlnová délka světla je nepřímo úměrná frekvenci a přímo úměrná době kmitu podle vztahu

$$(11): \quad \lambda = \frac{c}{f} \quad (11),$$

kde c je rychlost světla ve vakuu, $c = 299\,792\,458 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$, mají fotony s kratší vlnovou délkou větší energii. Vyslovením toho předpokladu položil základ kvantové teorie světla.[31, 36, 37]

Na Planckovu práci zdárně navázal německý fyzik, **Albert Einstein** (1879-1955). Díky svým výsledkům zkoumání v oblastech kvantování elektromagnetického pole, obecné a speciální teorie relativity a v neposlední řadě i díky vysvětlení fotoelektrického jevu, je považován za největšího vědce 20. století.

V roce 1921 za objasnění fotoefektu obdržel Nobelovu cenu. Objev kvantové teorie úspěšně spojil částicový i vlnový charakter světla. Podle tohoto zjištění se světlo chová jako částice s vlnovým charakterem, proto můžeme mluvit o vlnově částicovém dualismu. Kvantový charakter světla lze nejlépe spatřit u krátkovlnného záření s velkou frekvencí, naproti tomu vlnový charakter světla se projeví u záření dlouhovlnného s frekvencí malou.[37]

Dle Mezinárodní komise pro osvětlování (CIE) odpovídá hodnotám spektrální citlivosti tzv. normálního fotometrického pozorovatele křivka 1, která náleží skotopickému vidění a křivka 8 znázorňující vidění fotopické.

Spodní hranice viditelného záření se obvykle udává v rozsahu 360 až 400 nm, horní pak mezi vlnovými délkami 760 až 830 nm. S viditelným zářením sousedí záření neviditelné-ultrafialové (UV) a infračervené (IR). Viditelné záření, které je klasifikováno lidským okem, je označováno jako záření světelné (světlo). Odlišná vlnová délka bílého světla podmiňuje v oku různé barevné vjemy, které jsou uspořádány do známé škály barevných odstínů duhy. Ve viditelné oblasti spektra vyvolává každé monofrekvenční záření jednoznačný barevný vjem, proto bývá nazýváno jako záření monochromatické. Bílé světlo se skládá z barevných složek o různých vlnových délkách: fialová 380-430 nm, modrá 430-485 nm, modrozelená 485-505 nm, zelená 505-530 nm, zelenožlutá 530-560 nm, žlutá 560-620 nm, oranžová 590-620 nm, červená 620-780 nm. Jednotlivé barevné odstíny přecházejí jeden ve druhý a vytváří tím viditelné spektrum.

Světelné a viditelné záření je pro člověka důležitým zdrojem k získávání informací o okolním prostředí. Příjem a zpracování světlem přenášených informací za jednotku času zrakovým aparátem lidského oka – zrakový výkon ovlivňuje i osvětlení. To je důležitým faktorem ke kvalitnímu zpracování zrakového vjemu bez zkreslení, s dostatečnou rychlostí a bez zbytečné námahy. Zrakový vjem velmi úzce souvisí s centrální nervovou soustavou, proto na celkové vnímání má velký vliv i okolní prostředí (teplota, hluk), pracovní vypětí, ale i dobrá nálada. Z toho plyne, že pojem zraková pohoda je vlastně příjemný psychofyziologický stav, kdy celý zrakový systém pracuje optimálně a člověk je zároveň v dobrém psychickém rozpoložení. Zraková nepohoda může ve svém důsledku vést k únavě očí i narušení zrakových funkcí. Nepříznivé účinky světelného záření se projevují zejména při oslnění, které zapříčiňuje nejrůznější úrazy či havárie. Také nevhodně zvolená chromatičnost světla použitých zdrojů může zapříčinit těžší rozlišování barev a pocit nepohody důsledkem disharmonie teploty chromatičnosti světla zdrojů s hladinami osvětlenosti. Aby se člověk cítil příjemně, je vhodné zvolit poněkud nižší hladiny jasů a osvětlenosti. Nesprávné osvětlení má při práci za následek nejen celkovou únavu a zrakovou nepohodu, ale i projev drobných astenopických obtíží. Vždy je ale třeba přezkoumat zda tato dysfunkce nesouvisí s nekorigovanou zrakovou vadou, příp. dalšími činiteli jako je znečištění ovzduší, vlhkost nebo teplota.[5, 27]

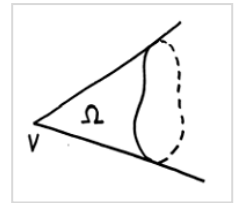
7. FOTOMETRICKÉ A RADIOMETRICKÉ VELIČINY

V předešlé kapitole jsme se věnovali světlu, elektromagnetickému záření, které vyzařuje do okolního prostředí energii. Vyzařování této energie lze posoudit pomocí fotometrických a radiometrických veličin. Fotometrické veličiny popisují subjektivně vnímaný účinek světla na zrakový vjem. Radiometrické veličiny nám poskytnou, za použití vhodných měřicích přístrojů, objektivní posouzení.[30, 36, 38]

7.1. Základní pojmy

Dříve než se budeme věnovat vlastnímu tématu této kapitoly, musíme ozřejmit některé pojmy, se kterými se v textu budeme nadále setkávat.

Prvním z těchto pojmů je prostorový úhel (Ω). Je to souvislá oblast prostoru vyplněná polopřímkami, které vycházejí ze společného bodu V (vrcholu úhlu). Typickým příkladem prostorového úhlu je oblast vymezená pláštěm kužele (ne vždy kruhového průřezu – viz obrázek č.



26)[30]

Obrázek 26: Znárodnění prostorového úhlu

Prostorový úhel je definován vztahem:
$$\Omega = \frac{S_r}{r^2} \quad (12),$$

kde: S_r [m^2] je velikost plochy, kterou na povrchu koule o poloměru r [m] se středem v elementárním zdroji vytne kuželová plocha, v níž se šíří světelné paprsky z elementárního zdroje. Prostorový úhel je číslo bezrozměrné, ale pro přehlednost pro ni používáme bezrozměrnou jednotku steradián [sr].

Neméně důležitým pojmem je bodový zdroj. Jedná se o zdroj světla, jehož rozměry jsou zanedbatelně malé v porovnání se vzdáleností od subjektu. Subjekt jej vidí, pod velmi malým zorným úhlem a zdroj se mu zároveň jeví jako takřka bezrozměrný matematický bod.

Zdroj, jehož velikost nelze zanedbat vzhledem ke vzdálenosti od subjektu, nazýváme zdroj plošný. Subjekt ho vidí jako menší či větší zářící plošku. [30, 39]

7.2. Fotometrické veličiny

Fotometrické veličiny jsou omezeny jen na záření, které je možné vnímat lidským okem. Jsou starší než veličiny radiometrické. Pro všechny fotometrické veličiny a jejich jednotky popisující světlo se používá pouze fotopická citlivost oka. Ta je definována pro běžné denní světlo, lidským okem vnímané pomocí čípků na sítnici oka. K fotometrickým veličinám patří:

- **Světelný tok (Φ):** vyjadřuje intenzitu zrakového vjemu normálního oka, vyvolaného energií světelného záření, které projde za jednotku času určitou plochou prostoru,

kterým se světlo šíří.
$$\Phi = \frac{\Delta E_s}{\Delta t} \quad (13).$$

ΔE_s ...světelná energie

Δt ...čas

Jednotkou je 1 lumen [lm]. Jeden lumen je světelný tok vysílaný do prostorového úhlu jednoho steradiánu bodovým zdrojem, jehož svítivost je ve všech směrech jedna kandela [cd]. Například světelný tok svíčky činí asi 10 lm, kompaktní zářivky 900 lm a 100 W žárovka má 1300 lm.

- **Svítivost (I):** je základní fyzikální veličinou v soustavě SI. Je dána podílem světelného toku, který zdroj vyzařuje ve směru osy elementárního prostorového úhlu a velikosti toho úhlu.

$$I = \frac{\Delta \Phi}{\Delta \Omega} \quad (14).$$

$\Delta \Phi$...světelný tok

$\Delta \Omega$...prostorový úhel

Jednotkou je 1kandela (cd). Patří mezi sedm základních jednotek v soustavě SI. Je definována součinem: $cd = lm \cdot sr^{-1}$.

Svítivost nám tedy vyjadřuje rozdělení světelného toku do různých směrů, do kterých vyzařuje zdroj světla. Svítivost svíčky odpovídá 1cd, 100 W žárovka má svítivost 135 cd a fotografický blesk asi 1 000 000 cd.

- **Osvětlenost (osvětlení)= intenzita osvětlení (E):** je dána podílem světelného toku dopadajícího na elementární plochu a velikosti této elementární plochy. Pro osvětlení platí vztah:

$$E = \frac{\Delta \Phi}{\Delta S} \quad (15).$$

$\Delta \Phi$...světelný tok

ΔS ...obsah plochy

Jednotkou osvětlenosti je 1 lux [lx]. Osvětlení jednoho luxu je vyvoláno světelným tokem jednoho lumenu rovnoměrně rozprostřeného na ploše 1 m². Osvětlení za slunného letního dne dosahuje až 100 000 lx, při zatažené zimní obloze cca 3 000 lx, za úplňku asi 0,24 lx.

- **Světelná účinnost (K):** je vyjádřena jako poměr světelného toku k toku zářivému. Jednotkou je lumen na watt [lm·W⁻¹].
- **Světelná energie (Q_v):** je zářivá energie vyvolávající vjem ohodnocená velikostí vjemu. Jednotkou je lumen sekunda [lm·s].

- **Světlení (Hv nebo Mv):** je světelný tok emitovaný plochou zdroje. Jednotkou je lumen na metr čtvereční [$\text{lm} \cdot \text{m}^{-2}$].
- **Jas (L):** je udáván jako podíl svítivosti plošky zdroje v daném směru a průměru této plošky do roviny kolmé k tomuto směru.
$$L = \frac{\Delta I}{\Delta S \cdot \cos \alpha} \quad (16).$$

ΔI ...svítivost

ΔS ...skutečná velikost plochy

$\cos \alpha$... úhel mezi normálou plochy a daným směrem

Jednotkou jasu je 1 nit [nt]. V soustavě SI je jednotkou jasu kandela na metr čtvereční [$\text{cd} \cdot \text{m}^{-2}$]. V literatuře se můžeme setkat i s dříve používanými jednotkami, 1 lambert [La] nebo 1 stilb [sb].

7.3. Radiometrické veličiny

Radiometrické veličiny lze definovat pro všechny druhy elektromagnetického záření, tedy i pro ty, které nelze vnímat lidským okem. Nejčastěji se setkáme s těmito veličinami:

- **Zářivý tok (Φ_e):** představuje energii vyzařenou zdrojem za jednotku času. Je dán

vztahem:
$$\Phi_e = \frac{\Delta E}{\Delta t} \quad (17).$$

ΔE ...vyzařena energie zdroje

Δt ...čas

Jeho jednotkou je 1 watt [W]. Ideální bodový zdroj světla vyzařuje zářivý tok do všech směrů rovnoměrně. To však pro skutečné zdroje neplatí. V praxi je nutno vědět, jakou energii vysílá zdroj do určité části prostoru. Z tohoto důvodu byla zavedena následující veličina – zářivost.

- **Zářivost (I_e):** je to podíl zářivého toku a velikosti prostorového úhlu, do kterého je tento tok vyzařován.

$$I_e = \frac{\Delta \Phi_e}{\Delta \Omega} \quad (18)$$

$\Delta \Phi_e$...zářivý tok

$\Delta \Omega$...prostorový úhel

Jednotkou zářivosti je watt na steradián [$\text{W} \cdot \text{sr}^{-1}$].

- **Intenzita vyzařování (H_e nebo M_e):** je dána jako podíl zářivého toku, který je vyslán z plochy zdroje (respektive dopadá na plochu povrchu tělesa) o plošném obsahu, a tohoto obsahu:

$$H_e = \frac{\Delta \Phi_e}{\Delta S} \quad (19)$$

$\Delta \Phi_e$...zářivý tok

ΔS ...plocha povrchu tělesa

Jednotkou je watt na metr čtverečný [$\text{W} \cdot \text{m}^{-2}$].

- **Zářivá energie (Q):** je definována jako celkové množství energie, které dopadá na určitou plochu v prostoru za určitý čas. Jednotkou zářivé energie je 1 joule [J]. [30, 36, 38, 39, 40, 41, 42]

8. BARVA

V lidském životě je barva velmi důležitá. Má vliv na naši náladu, varuje nás před možným nebezpečím a je nezbytná v řadě technických oborů, kdy je zapotřebí, aby byla přesně definovatelná a měřitelná.

Po fyzikální stránce barva však neexistuje. Jedná se pouze o zrakový počitek. Objektivně je charakterizována jako vlastnost předmětů a světelného záření. Barevné vlastnosti světla nazýváme pojmem chromatičnost. Ta je určena složením spektra záření emitovaného primárním zdrojem. Barevné vlastnosti předmětů se označují názvem kolorita, která závisí na spektrálním složení záření zdroje, jenž osvětluje pozorovaný předmět a na spektrální odraznosti či propustnosti materiálu předmětu. Obě tyto vlastnosti, chromatičnost i koloritu, je tedy možné fyzikálně vyhodnotit pomocí spektrálního složení barevného podnětu a spektrální citlivosti zraku na záření o různých vlnových délkách. Složení spektra vyvolává barevné podráždění sítnice, ovšem samotný vjem barvy vzniká až v mozku. Jedná se při tom o obtížný úkol, neboť vnímání barev je velmi komplikovaný fyziologicko-psychický děj.

8.1. Barevný tón

Barevný tón vyjadřuje kvalitativní rozdíl vjemu jednotlivých barev spektra. Je tedy dán vlnovou délkou daného světelného záření. Označuje názvy jako je fialová, modrá, zelená, žlutá aj. Percepce každého barevného tónu je u každého člověka jiná a je podmíněn nejen senzitivitou oka, ale i množstvím energie vyzařované v dané oblasti vlnové délky.

Kromě spektrálních barev existují i tzv. barvy nespektrální, které netvoří spektrum, sluneční světlo, ani záření jiných zdrojů a mají svůj typický nespektrální barevný tón. Patří mezi ně např. barva purpurová, která vzniká smísením okrajových částí viditelného spektra, tedy spektrální barvou fialovou a červenou.

8.2. Pestrost

Barvy dále můžeme rozdělit na pestré a nepestré. Pestrá barva reprezentuje takový vjem, který odpovídá barevnému tónu. Do této skupiny barev se řadí kromě čistých spektrálních barev i barvy purpurové a jejich odstíny vzniklé smícháním. Pojmenování těchto barev neoznačuje fyzikální vlastnost, nýbrž fyziologickou subjektivní vlastnost každého pozorovatele. Nepestré barvy jsou barevné vjemy, které tvoří plynulou řadu od bílé přes

šedou až po černou, nemají tedy žádný barevný tón a rozdíl mezi nimi je pouze v jejich intenzitě, tj. v hodnotě jasu nebo světelného toku.

8.3. Sytost

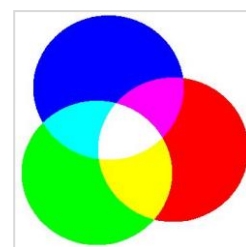
Sytost barvy je dalším důležitým faktorem, kterým je barva určována. Udává zastoupení čisté spektrální (i purpurové) barvy v dané barvě a vyjadřuje tak její podíl na celkovém barevném vjemu. Je tedy dána poměrem energií konkrétních jednobarevných světél zastoupených v určité barvě. Spektrální barvy mají hodnotu sytosti rovnu 1. Sytost barvy černé, šedé a bílé je nulová. Mísením spektrálních barev s barvami s nulovou sytostí se i jejich sytost zmenšuje. O málo sytých barvách můžeme říci, že se v podstatě jedná o barvu bílou s barevným nádechem.

8.4. Jas

Jas barvy vyjadřuje součet všech energetických příspěvků jednotlivých monochromatických světél a vystihuje tedy intenzitu zrakového vjemu. Čím je jas větší, tím je barva světlejší.

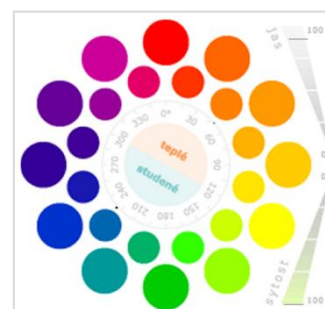
8.5. Mísení barev

Smísením tří základních barev (additive primary colors): modrá, zelená a červená, ve vhodných intenzitách, můžeme získat jakýkoli barevný odstín. V případě, že tyto barvy smísíme ve stejném poměru, získáme světlo bílé.



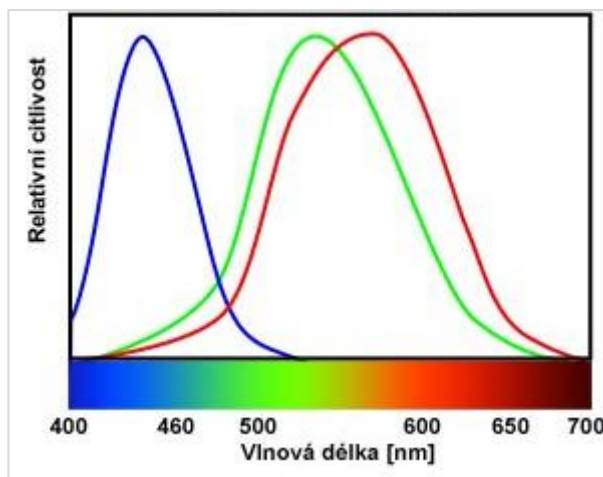
Obrázek 27: Znárodnění principu mísení 3 základních barev

Na obrázku č. 28 je znázorněno, že existují i tzv. komplementární (doplňkové) barvy, což jsou dvojice barev, které, jsou-li taktéž smíseny ve vhodném poměru, vytváří světlo bílé. V důsledku však nezáleží, jak bílé světlo vzniklo, barevný vjem je stále stejný.



Obrázek 28: Komplementární barvy

Toto tzv. aditivní mísení barev, předpokládá, že se na sítnici lidského oka vyskytují tři druhy čípků: S-čípky (short), maximálně senzitivní na barvu modrou, M-čípky (middle), nejvíce citlivé na zelenou a L-čípky (long) na barvu červenou. Zastoupení těchto tří druhů čípků není vyrovnané. Nejvíce je čípků v oblasti červené absorpce, méně v zelené a nejméně v pásmu modrém, a to v poměru: 32:16:1 (56%:37%:7%). Z obrázku č. 29 je tedy zřejmé, že se absorpční maxima sice liší, ale absorpční spektra se překrývají. Proto na barevný podnět reaguje více či méně intenzivně jeden, kombinace dvou nebo tří čípků.[5, 12, 36, 43]

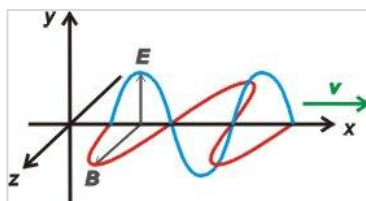


Obrázek 29: Citlivost lidského oka na barvy

Barevný vjem je ovlivněn nejen různou citlivostí oka na jednotlivé vlnové délky, ale i adaptací zraku podle převládajícího typu osvětlení zorného pole. Díky tomu, že člověk je dlouhodobě zvyklý na určitý barevný vzhled předmětů, jak v přirozeném, tak v žárovkovém světle, se tento faktor stává velmi často i vžitou představou a barevný počitek pozorovaného předmětu se považuje za normální. Při pozorování objektů ve světle výbojových zdrojů (s velmi odlišným spektrálním složením v porovnání s teplotními zdroji) často dochází ke značnému zkreslení barevného vjemu osvětlených objektů. V běžném životě se s těmito problémy setkáme zejména v obchodě, ale i v průmyslové výrobě. [5, 12, 36, 43]

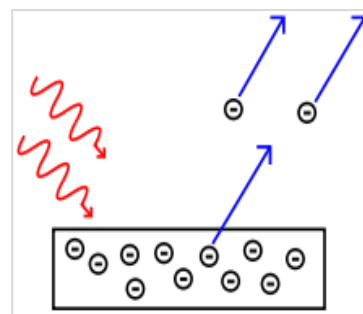
9. FOTOELEKTRICKÝ JEV

Fotoefekt patří k nejdůležitějším jevům kvantové optiky a dokazuje, že světlo je elektromagnetické vlnění kvantové povahy.



Obrázek 30: Průběh elektromagnetické vlny- písmeno „ E “ vyjadřuje elektrickou složku vlny, kterou tvoří vektor intenzity elektrického pole, písmeno „ B “ odpovídá složce magnetické, kterou představuje vektor magnetické indukce, obě složky jsou vůči sobě i vůči směru kolmé.

Samotný jev vzniká při vzájemné interakci elektromagnetického záření s látkou. Energie záření je předávána elektronům v látce, které jsou z látky následně emitovány a označují se jako fotoelektrony, jejich uvolňování je tedy označováno jako fotoemise.



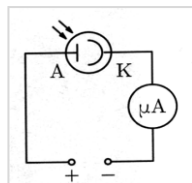
Obrázek 31: Schéma fotoefektu

Fotoefekt je nejlépe pozorovatelný u pevných látek, kovů a polovodičů. V případě, že jev probíhá na povrchu látky, jedná se o **vnější fotoelektrický jev**, jelikož působením vnějšího elektromagnetického záření jsou elektrony emitovány do okolního prostředí látky, nastává tedy fotoemise elektronů. Fotoefekt však může nastat i uvnitř látky a hovoříme o tzv. **vnitřním fotoelektrickém jevu**. Emitované elektrony z dané látky neunikají, ale setrvávají v ní a zvětšují tak její tzv. fotovodivost. Třetí situací, která nastává v případě, že na látku dopadají elektrony, jež vyvolává emisi fotonů, označujeme jako **inverzní (obrácený) fotoelektrický jev**.

Vnější fotoefekt se uplatňoval zejména ve fotonkách, které postupem času vystřídaly polovodičové součástky pracující na principu fotoefektu vnitřního.

Na obrázku č. 32 je znázorněno schéma elektrického obvodu s fotonkou. Ta je tvořena vakuovou skleněnou baňkou vybavenou dvěma elektrodami anodou (A) a katodou (K). Fotokatoda musí být vyrobena z vhodného kovu, často se používá např. cesium. Je napojena na záporný pól zdroje stejnosměrného proudu. Oproti tomu anoda, která má podobu např. malé drátěné smyčky, je připojena na kladný pól zdroje. V případě, že na fotokatodu dopadá

elektromagnetické záření (světlo), vylétají z jejího povrchu elektrony, které jsou následně přitahovány k anodě, a elektrickým obvodem tak začne procházet malý proud, tzv. fotoproud. Zesílení proudu bylo možné dosáhnout použitím fotonek vyplněných plynem (směs helia, neonu a argonu) o malém tlaku. Vzájemnými srážkami fotoelektronů, které byly urychlovány elektrickým polem mezi katodou a anodou, docházelo k ionizaci plynu, a tím byl proud v obvodu zesílen.



Obrázek 32:Elektrický obvod s fotonkou

Ke konci 19. století byly experimentálním bádáním vnějšího fotoefektu stanoveny tyto zákony:

- Každý kov má jistou mezní frekvenci f_m záření, při níž jsou z kovu emitovány elektrony. V případě že je frekvence f záření menší než frekvence f_m ($f < f_m$), fotoefekt nenastane.
- V případě, že $f > f_m$, počet emitovaných elektronů (velikost proudu) je úměrný intenzitě záření dopadajícího na fotokatodu.
- Energie emitovaných fotoelektronů je přímo úměrná frekvenci záření, nezávisí však na jeho intenzitě.

9.1. Einsteinova teorie fotoefektu

Zákony fotoelektrického jevu popsal v roce 1905 Albert Einstein, který rozvinul Planckovu kvantovou teorii záření.

Při fotoefektu každý fotoelektron pohltí jedno kvantum energie záření $h \cdot f$, v důsledku čehož se jeho celková energie zvětší. Takto získaná energie je využita na uvolnění elektronu z kovu, přičemž je vykonána výstupní práce W_v a fotoelektron tím zároveň získá danou kinetickou energii:

$$E_k = \frac{1}{2} m_e \cdot v^2 \quad (20),$$

kde m_e je hmotnost elektronu, v je velikost jeho rychlosti po uvolnění z kovu. Tento jev popisuje Einsteinova rovnice fotoelektrického efektu:

$$h \cdot f = W_v + \frac{1}{2} m_e \cdot v^2 \quad (21).$$

Čím větší je výstupní práce fotoelektronu, tím pevněji je ve struktuře kovu vázán elektron. V kvantové a atomové fyzice se často vyjadřuje energie, kterou získá částice s elementárním

nábojem ($e \approx 1,6 \cdot 10^{-19}$ C) při přechodu mezi místy s potenciálovým rozdílem 1 V, v jednotkách elektronvolt (eV). Tedy: $1eV \approx 1,6 \cdot 10^{-19}$ J (22).

Větší energie jsou označovány násobky této jednotky, např. keV, MeV.

Zákony fotoefektu vyložil pomocí své rovnice Einstein následovně:

- Je-li kvantum energie záření pohlcené elektronem alespoň rovno výstupní práci

$$W_v = h \cdot f_m, \text{ když } h \cdot f \geq h \cdot f_m, \quad (23),$$

nastane fotoelektrický jev. Z toho plyne, že každý kov má danou mezní vlnovou délku:

$$\lambda_m = \frac{c}{f_m} \quad (24),$$

kteřá stanoví horní hranici, při níž dojde k fotoefektu.

- Zvýšíme-li intenzitu záření, dopadá na katodu větší množství kvant záření a zároveň okamžitě dojde k uvolnění většího počtu fotoelektronů. Proto se u fotoefektu neprojeví žádná setrvačnost, kterou bychom jinak pozorovali díky zpoždění mezi ozáření katody a vznikem fotoproudu.
- Dopadá-li na kov záření o frekvenci $f \geq f_m$ získá fotoelektron kinetickou energii:

$$\frac{m_e \cdot v^2}{2} = h \cdot f - W_v \quad (25),$$

z toho plyne, že rychlost elektronů je tím větší, čím vyšší je frekvence záření, tzn. čím kratší je jeho vlnová délka. Podle vzorce (23) mají pak fotoelektrony svou maximální kinetickou energii:

$$E_{kmax} = h \cdot (f - f_m) \quad (26).$$

Fotoelektrický jev má velké uplatnění i v praxi:

- a) Vnější fotoefekt-ve fotodiodě, kde uvolňuje dopadající záření z fotokatody, která je pokryta vrstvou alkalického kovu elektrony.
- b) Vnitřní fotoefekt- elektrony jsou vyzařovány uvnitř polovodičového krystalu (sulfid kademnatý, selen) a tím se zvyšuje jeho vodivost.

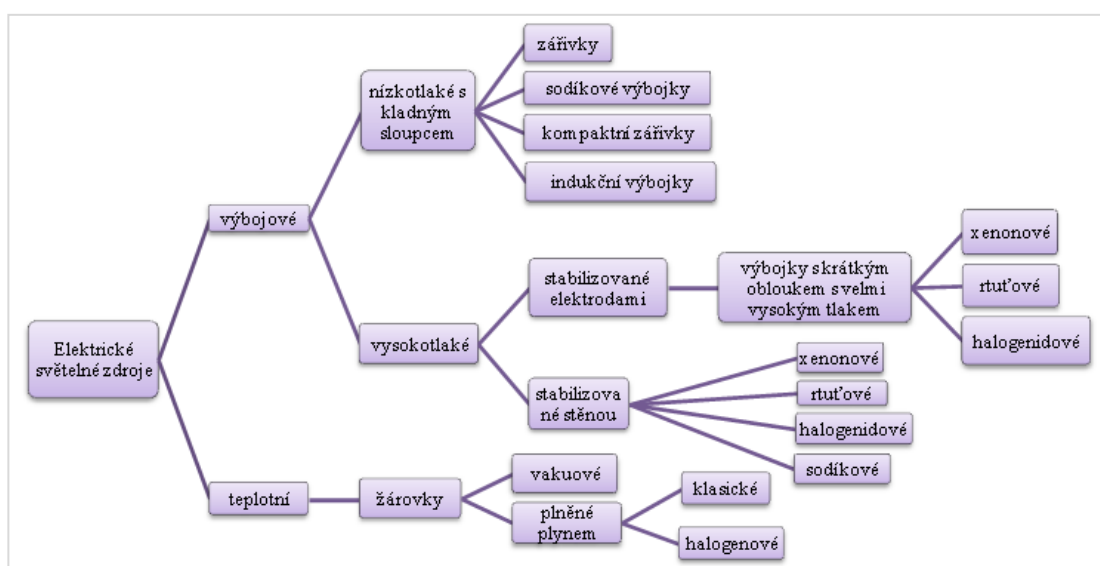
V obou zmíněných variantách začíná po dopadu záření na fotokatodu protékat obvodem elektrický proud. V hradlových fotočláncích dopadá záření na rozhraní polovodičů typu N a P, přičemž dojde k vzniku elektromotorického napětí. Tím pádem je možno transformovat energii dopadajícího záření na energii elektrickou.

Zejména vnitřní fotoefekt má v současné době v technické praxi široké spektrum využití. Na jeho principu jsou konstruovány expozimetry, fotometry, ovládání mechanismů a počítání výrobků, automatické soustavy, konstrukce videokamer, kopírky, ale i ve slunečních bateriích, kde je využíván jako alternativní zdroj elektřiny.

Na základě vnitřního fotoelektrického jevu jsou zhotoveny i polovodičové součástky – fotorezistory a fotodiody. Fotorezistor tvoří polovodičový materiál, který je upraven do vhodného tvaru v pouzdře, kde je zalit průhlednou látkou. V případě, že je fotorezistor osvětlen, jeho vodivost značně vzroste a obvodem s fotorezistorem prochází proud přímo úměrný intenzitě světla. Fotodioda je tvořena z krystalu křemíku s přechodem PN. Dojde-li k osvětlení, vzniknou v křemíku nosiče výboje a tím nastane zmenšení odporu diody v závěrném směru a zároveň vznikne napětí na elektrodách diody.[28, 35, 36, 44, 45]

10.SVĚTELNÉ ZDROJE, SVÍTIDLA

Předměty, které vysílají optické záření, se nazývají světelné zdroje. Mohou být přírodní (slunce, blesk) nebo umělé (svíčka, plynová lampa, žárovka, výbojka). Zařízení nebo i jeho povrch, který vyzařuje světlo, které v něm vzniklo přeměnou energie, je primární světelný zdroj. Sekundární světelný zdroj představuje zařízení nebo i povrch, který světlo vysílá tím, že paprsky světla částečně odráží nebo propouští. Umělý světelný zdroj je útvar určený k přeměně energie na světlo. Světelné zdroje jsou hlavní složkou osvětlovacích soustav. Pro osvětlování mají z umělých zdrojů nejvýraznější užitečnost zdroje napájené elektrickou energií (elektrické světelné zdroje). Ty se podle vzniku světla dělí na zdroje teplotní (žárovky), výbojové nízkotlaké (zářivky, nízkotlaké sodíkové výbojky), výbojové vysokotlaké (vysokotlaké rtuťové nebo sodíkové výbojky). Podrobnější dělení je zřejmé z obrázku č. 33:



Obrázek 33: Základní rozdělení elektrických světelných zdrojů používaných pro všeobecné osvětlení

V teplotních zdrojích prochází elektrický proud, který zahřívá pevné vodivé látky (kov) na teplotu, při níž nezbytnou budící energii zprostředkovává tepelný pohyb. Tato energie je předávána částicím, které jsou schopny vybuzení. Z nich pak vznikají elementární zdroje světla. Látka jako je např. vlákno žárovky, emituje optické záření. Teplotní záření má spektrum spojité, vyplňující jistý interval vlnových délek.

Výbojové světelné zdroje (výbojky) fungují na základě elektrického výboje v plynech a parách kovů. Dochází přitom k přeměně elektrické energie na kinetickou energii elektronů, pohybujících se ve výbojovém prostředí. V něm se při srážkách elektronů s atomy plynů poté mění jejich energie na optické záření, jehož spektrum je čárové. Pro rozložení spektrálních čar

je důležité nejen vlastní složení plynné náplně, ale i typ výboje. Velká část výbojových zdrojů (např. zářivky) funguje na principu luminiscence pevných látek. Právě z toho důvodu se tyto zdroje označují jako luminiscenční. Luminiscence pevných látek je akt, při kterém je z krystalů látek, molekul a atomů, emitována energie (v podobě fotonů) uvolněná při spontánním návratu elektronů z nestabilního excitovaného stavu, do něhož se dostaly působením vnějšího vlivu, na základní hladinu. V případě, že se jedná o vybuzení vyvolané elektrickým polem, hovoříme o elektroluminiscenci, když je vybuzení vyvoláno dopadajícím zářením jedná se o fotoluminiscenci.[5]

10.1. Požadavky na světelné zdroje

Požadavky na světelné zdroje jsou určeny hlavně vlastnostmi použitého přijímače záření, provozními podmínkami a schopností osvětlovacího zařízení. Jejich kvalita se hodnotí podle parametrů, při kterých pracují v určitých provozních podmínkách, které jsou vždy předepsány v technických dokumentacích.

Záření je posuzováno na základě hodnoty světelného toku a spektrálního složení, svítivost, jejím prostorovým rozložením, jasem a také změnou všech těchto parametrů v čase.

Jedním z nejdůležitějších provozních parametrů světelných zdrojů je měrný výkon. Ten vyjadřuje podíl vyzařovaného světelného toku a příkonu, jeho jednotkou je $\text{lm}\cdot\text{W}^{-1}$. Hodnoty měrného výkonu běžných žárovek se pohybují kolem $10 \text{ lm}\cdot\text{W}^{-1}$, u lineárních zářivek až $106 \text{ lm}\cdot\text{W}^{-1}$, nízkotlakých sodíkových výbojek i $200 \text{ lm}\cdot\text{W}^{-1}$.

Všichni výrobci světelných zdrojů se v praxi jednoznačně řídí mezinárodními normami předepisujícími stěžejní parametry, kterým musí světelné zdroje vyhovovat.

10.2. Teplotní světelné zdroje

K teplotním zdrojům patří všechny druhy plamene (oheň, louč, svíčky, olejové i petrolejové lampy) a zejména pak žárovky. Zdrojem záření je v těchto případech rozžhavené tuhé těleso (drobné částičky uhlíku, u standardních žárovek je to wolframové vlákno).

10.2.1. Žárovky obyčejné

V současnosti jsou nejrozšířenějším světelným zdrojem žárovky. Světlo v nich vzniká rozžhavením wolframového vlákna ve skleněné baňce. Vnitřní prostor je vzduchoprázdný a je

vyplněn kryptonem nebo argonem s příměsí dusíku. Nejčastěji se vyrábí baňky čiré, příp. matové, ve tvaru hříbku. Žárovky se připojují patičí vyrobenou z mosazi nebo hliníku. Patice je přísně normalizována a k baňce je připevněna na výrobní lince tvrzeným tmelem.

K největším výhodám žárovek patří: nízká pořizovací cena, malé rozměry, nepatrná hmotnost, jednoduchý provoz a zejména stabilní svícení a okamžitý start bez zablikání. Jejich nevýhodami je však velká spotřeba elektřiny, výrazná závislost na napájecím napětí, krátkodobá životnost i velký pokles světelného toku, což je způsobeno usazováním kovů z vlákna na vnitřní straně baňky.

10.2.2. Žárovky halogenové

Princip svícení u halogenových žárovek je stejný jako u klasických, ale baňka je nejčastěji vyplněna kryptonem a halogenovými sloučeninami (brommetany). Tím je způsobeno, že wolframové vlákno se více rozžhaví a žárovka tak vydá více světla. Vlákno se při odpařování neusazuje na skle, ale sloučí se s halogeny a vznikne průhledná látka. S tímto typem žárovek se setkáváme ve dvou provedeních:

- a) halogenové žárovky na síťové napětí 230 V- jsou vhodné do všech běžných svítidel.
- b) halogenové žárovky na napětí 12 V- jsou miniaturní typy uložené v malém reflektoru, s nímž dohromady tvoří ucelené svítidlo.

Novější verze halogenových žárovek zabraňují blednutí barev předmětů vlivem UV záření, a proto jsou konstrukčně vhodné, zejména jako bodové osvětlení v bytech, prodejnách i jinde.

Velkou výhodou halogenových žárovek je až o 20% větší účinnost než u žárovky klasické. Životnost se udává 2 000-5 000 hodin. Po celou dobu životnosti poskytují konstantní světelný tok, vytvářejí vynikající jasné světlo s kvalitním podáním barev, dají se stmívat a jejich provoz je velmi úsporný. Nevýhodou pak je to, že jejich příliš jasné světlo může způsobit oslnění a na plochách ostré přechody do stínu. Vzhledem k tomu, že se velmi silně zahřívají, hrozí při do tyku nebezpečí popálení.

10.3. Výbojové světelné zdroje

Výbojové světelné zdroje fungují na principu průchodu elektrického proudu prostředím vyplněného plyny nebo párami. V praxi se můžeme setkat s rozdělením podle typu výboje (obloukový, doutnavý, impulsní, bezelektrodový-vysokofrekvenční), podle místa vzniku záření (výbojky plynové nebo výbojky s parami kovů, výbojky luminiscenční, výbojky, kde

jsou zdrojem záření elektrody nažhavené v plynovém výboji na vysokou teplotu) a podle tlaku pracovní náplně, jejichž členění je uvedeno v obrázku č. 33.

Pro účely všeobecného osvětlení slouží především nízkotlaké výbojové zdroje zejména zářivky, kterým se proto v následujících odstavcích budeme věnovat podrobněji.

10.3.1. Zářivky

Zářivky jsou tvořeny zářivkovým tělesem, které nejčastěji představuje dlouhá skleněná trubice se žhavicími elektrodami naplněná parami rtuti a argonu. V nich vzniká doutnavý výboj, jenž září, zejména pro lidské oko, v neviditelné UV oblasti. Toto záření působí na vnitřní povlak trubice tzv. luminofor, který UV záření absorbuje a následně vyzařuje viditelné spektrum světla.

Pro výboje v plynu platí, že čím více protéká proud, tím méně dochází k úbytku napětí na výboji. V důsledku toho, musí být proud protékající zářivkou zapojenou v obvodu omezen vhodným způsobem. Proto jsou zářivky opatřeny vždy předřadným zařízením:

a. indukční předřadník a zapalovač: základní obvod obsahuje do série se zářivkou zapojený indukční předřadník (tlumivka) a zapalovač (startér). Pro start zářivka nutně potřebuje napětí několikanásobně vyšší než při následném ustáleném provozu. Z toho důvodu se k zářivkové trubici vždy přidává zapalovač. Ten je tvořen skleněnou baňkou o velikosti asi 2 cm. Uvnitř baňky se nachází argon, neon a dvě elektrody. Jedna elektroda je pevná a druhou tvoří bimetalový pásek. V případě, že zářivka nepracuje, jsou tyto elektrody od sebe vzdáleny. Připojíme-li zářivku do sítě, nastane nejdříve ve startéru doutnavý výboj a elektrody se začnou ohřívat. Tím se bimetalový pásek začne ohýbat směrem k pevné elektrodě. Asi po 1 s dojde k dotyku elektrod, čímž doutnavý výboj zanikne. Bimetalový pásek se ochladí a následně se od pevné elektrody oddálí, čímž způsobí zánik elektrického proud ve startéru. Ještě před tím však proud projde přes tlumivku, ve které naskočí doutnavý výboj přes elektrody zářivky, které se díky tomu rozžhají. Žhavením jsou emitovány elektrony, jež vytvoří kolem elektrod zářivky ionizaci plynu, ta je následně rozšířena po celé trubici.

Jedním z hlavních důvodů, proč jsou tlumivky používány více než elektronické předřadníky, je poměrně nízká cena a vysoká spolehlivost. Při rozsvícení může zářivka však několikrát bliknout, čímž dojde k nepříjemnému stroboskopickému efektu, který nejenže zkracuje životnost zdroje, ale může i u fotosenzitivních epileptiků vyvolat záchvat.

- b. elektronický předřadník:** napájí zářivku frekvencí až 40 000 Hz. Hlavní předností tohoto předřadného zařízení je to, že dokáže odstranit nevýhody uvedené u tlumivek. Ve srovnání s indukčním předřadníkem lze uspořit až 30% energie. V případě, že dojde k poškození zářivky, automaticky se odpojí, čímž nedochází k nežádoucímu blikání na konci její životnosti. V elektronickém předřadníku je integrováno zařízení pro rozsvícení zářivky, tzn., že nepotřebuje startér.

10.3.1.1. Zářivky trubicové (lineární, rovné)

Nejznámější ze všech zářivek jsou standardní (širokopásmové) zářivky. Starší typy byly vyráběny jako trubice u průměru 38 mm. Dodnes se používání zejména v zapojení s tlumivkou a obyčejným startérem, ale postupně jsou měněny za zářivky s průměrem trubic 26 mm. Jejich životnost se udává 6 000-8 000 hodin. Novější generaci trubicových zářivek představují tzv. úzkopásmové nebo také třípásmové zářivky pokryté směsí luminoforu ze vzácných zemin, přizpůsobených citlivosti oka. Jejich světlo dokáže nepatrně zvýraznit barvy. Při použití elektrického předřadníku je doba jejich života až 18 000 hodin. Vyrábí se v řadě odstínů bílé barvy světla (vhodné do pracovních prostor). Pro spotřebitele s vysokými nároky na kvalitu světla slouží zářivky pětípásmové. Jsou instalovány zejména v laboratořích, v televizních studiích atd. Díky širokému spektru využití zářivek se můžeme na trhu setkat s různými typy zkonstruovanými dle využití. Jsou to např. zářivky pro barevné a dekorativní účely, zářivky pro potravinářské pulty, UV zářivky využívané pro sterilizaci či dezinfekci vody. Lineární zářivky jsou mezi spotřebiteli oblíbené nejen díky tomu, že jsou velmi úsporné, ale i proto, že s elektronickým předřadníkem je možné jejich plynulé stmívání.

10.3.1.2. Zářivky kompaktní

První kompaktní zářivky byly vyráběny pouze se dvěma trubicemi spojenými můstkem. Byly velmi dlouhé, a proto byly později nahrazeny typy s více trubicemi. Dnes se využívají kompaktní zářivky jednopaticové (s kuličky) s trubicemi stočenými do spirály. Spojení této zářivky s elektrickým předřadníkem umožňuje zvýšení světelného toku přibližně o 15% a výrazné prodloužení její životnosti. Bez problémů tento systém nachází využití jako běžná žárovka, protože dokázal zcela vyloučit vliv častého vypínání a zapínání a odstranil i stroboskopický jev. Běžně bývají vyrobeny v odstínu teplé bílé barvy. Dalším typem, se kterým se můžeme setkat, jsou kompaktní zářivky se zabudovaným indukčním předřadníkem

(se závitem). V jedné baňce obsahují zářivku ve formě dvakrát stočené trubice, startér a kompletní předřadník. Díky mimořádné životnosti najdou uplatnění zejména při osvětlování chodeb. V chladném prostředí však těsně po zapnutí svítí velmi slabě, takže se nehodí do prostor s teplotou pod bodem mrazu. Další formou jsou kompaktní zářivky se zabudovaným elektronickým předřadníkem (se závitem). Zářivka je spojena s tímto předřadným zařízením v jeden celek. Oproti klasické žárovce jsou asi 5x účinnější a umí uspořit až 80% elektřiny při stejné hladině osvětlení. Zvláštností jsou kompaktní zářivky s čidlem intenzity světla, které se rozsvítí při snížení hladiny osvětlení pod určitou mez a zářivky se zabudovaným čidlem pohybu, které se rozsvítí při průchodu v jejich okolí. K oblíbeným typům patří i kompaktní zářivky s vysokofrekvenčním indukčním předřadníkem. Konstrukčně se zásadně liší od všech výše popsaných typů. Zářivka je prázdná, neobsahuje žádné žhavené ani pohyblivé částičky. Napájení obstarává vnější zdroj, vysokofrekvenční generátor s kmitočtem 2,25 MHz. Díky jejich dlouhé životnosti se využívají v místech s těžkou výměnou a ve veřejném osvětlení.

Jelikož zářivky obsahují rtuť, jsou považovány za nebezpečný odpad a musí být likvidovány ve sběrných dvorech či jiných k tomu určených místech.[5, 17, 46, 47, 48]

10.4. Svítidla

Ve většině případů světelné zdroje sami o sobě pro osvětlovací účely nevyhovují. Zpravidla totiž mají nevhodné rozdělení světelného toku do prostoru, vysoký jas a malou odolnost proti různým vlivům prostředí. Z toho důvodu se světelné zdroje umisťují do svítidel. Svítidlo je předmět, který nese a zároveň chrání světelný zdroj a potřebné technické prvky, a dále případně cloní nebo usměrňuje světelný tok.

Při volbě správného svítidla vycházíme zejména z toho, jaký je účel jeho použití. Hlavním kritériem při výběru by mělo být zvýšení kvality zrakového výkonu. [5, 17]

11.OSVĚTLOVÁNÍ VNITŘNÍCH PROSTOR

V současnosti se světelně-technické parametry osvětlovacích soustav odvozují zejména z požadavků na zrakový komfort a zrakový výkon. Pro dosažení optimálního osvětlení, v daném prostředí musí být brány v potaz zejména následující parametry osvětlení:

1. rozložení jasu v celém prostoru
2. chromatičnost světla použitých zdrojů a kolorita povrchů v místě zrakového úkolu i v celém prostoru
3. úroveň oslnění
4. úroveň osvětlení na pracovní rovině v místě zrakového úkolu

Vnitřní prostory jsou osvětlovány osvětlovacími soustavami, které podle použitých primárních zdrojů světla a funkčního rozsahu můžeme rozdělit na:

- soustavy denního osvětlení-osvětlení přírodním světlem
- soustavy umělého osvětlení-osvětlení pomocí svítidel
- soustavy sdruženého osvětlení-osvětlení vnitřního prostoru denním i umělým osvětlením
- soustavy integrované-jsou součástí klimatizačního systému a případně zahrnují i další funkce

11.1. Osvětlení pracovních prostor

Jedním z důležitých faktorů k dosažení kvalitní práce je i správné osvětlení pracovních prostor. Požadavky na osvětlení pro vnitřní pracovní prostory jsou pevně předepsány normou ČSN EN 12464-1 Světlo a osvětlení-Osvětlení pracovních prostorů. Pro bližší orientaci můžeme požadavky rozdělit do 6 kategorií.

Tabulka 2: Požadavky na osvětlení

Třída	Požadavky na osvětlení	Pro práci je třeba rozeznávat podrobnosti ze vzdálenosti		Osvětlení (lx)
		0,35 mm	1 mm	
1	mimořádné	0,1 mm	0,3 mm	více než 5000
2	velmi vysoké	0,1-0,2 mm	0,3-0,6 mm	2000-5000
3	vysoké	0,2-0,4 mm	0,6-1,2 mm	600-2000
4	průměrné	0,4-0,8 mm	1,2-2,3 mm	250-600
5	malé	0,8-1,5 mm	2,3-4,4 mm	100-250
6	velmi malé	1,5-3,0 mm	4,4-8,8 mm	25-100

Místnosti, kde se člověk trvale pohybuje, by měly mít osvětlení nejméně 120 lx. Čím menší jsou rozdíly jasu mezi pozorovaným předmětem a informačně nedůležitými plochami v okolí, tím jsou podmínky vidění kvalitnější. Dobře osvětlená místnost ovlivňuje i akomodační schopnost oka. Svou roli při osvětlení pracoviště hraje světlo, které se odráží od zdí, předmětů a od jejich barevného povrchu. Světlé stěny mají schopnost odrazet 60-80% světla, naproti tomu tmavé pouze méně než 30%. Procentuální vyjádření odrazu světelných zdrojů je popsáno v následující tabulce.[5, 17, 27, 49]

Tabulka 3: Činitel odrazu světelných zdrojů pro tři vlnové délky

Světelný zdroj	Činitel odrazu (%)		
	410-510 nm	510-610 nm	610-700 nm
Denní světlo za slunečního svitu	35	36	29
Žárovky	9	29	62
Vysoce výkonné fluorescenční zářivky	19	59	22
Sodíkové výbojky	8	59	33

11.2. Osvětlování zdravotnických zařízení

Většina vnitřních prostorů má podobná řešení osvětlení. Ani zdravotnická zařízení zpravidla, kromě kvalitní konstrukce svítidel a elektrických rozvodů z hlediska hygieny a bezpečnosti osob, nejsou výjimkou.

Správně navržené osvětlení berou na zřetel psychologické, fyziologické i biologické požadavky, neovlivňují jen kvalitu práce, ale i zdravotní stav člověka.

Kvalita osvětlení ve zdravotnickém zařízení se rovněž řídí předpisy normy ČSN EN 12464-1 Světlo a osvětlení-Osvětlení pracovních prostorů. Osvětlování ve zdravotnických zařízeních je nutné věnovat velkou pozornost zejména proto, že jsou zde vykonávány náročné a odborné zrakové úkoly. Ve většině moderně navržených budov dnes již nechybí možnost plynulé regulace osvětlení, k čemuž se využívají elektronické předřadníky. V prostorách, kde se vyšetřují pacienti, je nutná dostatečná osvětlenost a správné podání barev. Nejen z hlediska funkčnosti, ale i z hlediska estetického by měly být vyšetřovny osvětleny teplými světelnými zdroji, které pacientům navozují příjemný pocit.

Pro správné vyšetření zraku je nezbytné vytvořit optimální podmínky pro lidské oko. V oční vyšetřovně proto musíme zajistit kvalitní osvětlení nejen zorného pole, ale i celého okolí. Musíme zamezit tomu, aby došlo ke změnám adaptace zraku na různé hladiny

osvětlení. Pacient nemůže být oslněn osvětlením přímým, ani odrazy od okolních prostor. Svítidla musí mít světelné zdroje s činitelem podání barev $R_a \geq 90$, aby nedošlo ke zkreslení při testech barvocitu.[5, 17, 27, 49]

Tabulka 4: Osvětlení ve vyšetřovnách (obecně)

Druh prostoru, úkolu nebo činnosti	Osvětlení (lx)	UGR_L	R_a
celkové osvětlení	500	19	90
vyšetřování, ošetřování	1000	19	90

Tabulka 5: Osvětlení v očních vyšetřovnách

Druh prostoru, úkolu nebo činnosti	Osvětlení (lx)	UGR_L	R_a
celkové osvětlení	300	19	80
vyšetřování vnějšího oka	1000	-	90
testy čtení a barvocitu na optotypech	500	19	90

Pro zajímavost jsou v tabulce č. 6 uvedeny hodnoty intenzity umělého osvětlení v obytných budovách a jejích prostorech, které se řídí normou ČSN 36 0452 Umělé osvětlení obytných budov.

Tabulka 6: Intenzita osvětlení v obytných budovách

Prostor a činnosti	Střední hladina osvětlenosti (lx)
Základní orientace při průchodu místností, chodby, sklepy, občasný pobyt lidí	20-50
Jednoduchá orientace v místnosti při rychlejším pohybu, hygienická zařízení	50-100
Domácnosti- dětský pokoj	60-120
Domácnosti- kuchyně, jídelní kouty	75-150
Jednoduché práce v domácnosti	100-200
Domácnosti-obývací pokoj a místnosti podobného charakteru	150-250
Běžné práce v domácnosti, kanceláře, práce u PC	200-500
Jemná práce, učební plocha, kreslení, práce s vysokými požadavky na zrakový výkon	500-1000
Velmi jemná práce, zlatnická práce	1000-2000
Práce zvláště jemné, operační sál	až 20 000

12. MĚŘENÍ OSVĚTLENÍ

Měření osvětlenosti (intenzity osvětlení) se provádí pomocí objektivních přístrojů-luxmetrů. Ty jsou tvořeny přijímačem s korigovaným fotočlánkem, který je opatřený kosinusovým nástavcem a měřicím a vyhodnocovacím systémem s analogovým nebo digitálním indikátorem.

Podle přesnosti se luxmetry rozdělují do čtyř tříd: 1; 2; 3; 4, které se dle mezinárodního doporučení CIE označují písmeny L, A, B, C. Podle účelu měření se rozeznávají měření orientační, provozní a přesná. Provozní měření je určeno pro ověření osvětlovací soustavy, zda dodržuje předepsané předpisy požadovaných parametrů osvětlení. K tomuto účelu zcela vyhovují luxmetry třídy 3 a 4. Přesná měření slouží k posouzení intenzity osvětlení takových prostorů, kde jsou kladeny vysoké požadavky na práci zraku, pro pokusy v rámci nejrůznějších výzkumů a k přesnému laboratornímu měření. Z důvodu potřeby velmi přesného měření se využívají v praxi luxmetry třídy 1 a 2, které se mimo jiné slouží i jako sekundární etalony.

Před samotným začátkem měření je nutné ponechat fotočlánek luxmetru ve světelném prostoru, jež se chystáme proměřovat, odkryté, a to po dobu 5-15 min. Tento úkon je nezbytný k tomu, aby se čidla stabilizovala a přizpůsobila se tak daným podmínkám.

Luxmetry, které jsou určeny k provoznímu měření, bývají ve většině případů vybaveny dlouhým stíněným kabelem. Ten spojuje fotočlánek s vlastním měřicím přístrojem, což umožňuje zvolit vhodné umístění, bez ovlivnění činnosti fotočlánku. V případě, že je fotočlánek přímo součástí pouzdra měřicího přístroje, může dojít při čtení údajů k ovlivnění měření (zastíněním čidla, dalšími světelnými plochami), a proto musí být luxmetr vybavený na dálku ovládanou fixací naměřené hodnoty.[5]

12.1. Luxmetr PU 550

Luxmetr PU 550 je produktem firmy Metra Blansko, a. s., jejíž založení se datuje již k počátkům 20. století. Tento přístroj slouží k provoznímu měření intenzity osvětlení v průmyslových provozech a na pracovištích za účelem kontroly nebo údržby osvětlení, můžeme jím ale také změřit osvětlení komunikací nebo jej využít k některým měřením v laboratořích s ohledem na rozsah jeho technických možností.



Obrázek 34: Luxmetr PU 550

K samotnému měření osvětlení slouží sonda, v níž je umístěné čidlo a křemíková fotodioda. Součástí této sondy je také již výše zmíněný kosinový nástavec sloužící ke korekci směrové chyby měřeného optického zařízení. K přístroji se připojuje sonda pomocí konektoru v čelní části přístroje, kde se též nachází i konektor pro případné externí napájení. Fotodioda je vybavena soustavou optických filtrů, které zajišťují spektrální citlivost blízkou spektrální citlivosti lidského oka.

Přístroj se uvádí do chodu vypínačem ON-OFF v horní části přístroje, naměřenou hodnotu osvětlení lze pak lehce přečíst na displeji. Měřící rozsah fotodiody činí 20 lx, 200 lx, 2 000 lx, 20 klx, 100 klx. Lze jej snadno měnit otočným pětipolohovým přepínačem. Přesnost měření toho typu luxmetru je pak udávána $\pm (1\% \text{ z naměřené hodnoty} + 0,5\% \text{ z měřeného rozsahu} + \text{celková přídatná chyba sondy})$.

12.2. Luxmetr B510

Luxmetr B510 dodává na trh berlínská firma LMT Lichtmesstechnik. Tento přístroj je reprezentantem třídy A, příp. L. Jeho měřící rozsah se udává od 0,001 lx do 600 000 lx. Má čtyřmístný displej a velmi přesně korigovaný křemíkový fotočlánek o průměru 30 mm, který má pouzdro vybavené libelou.

12.3. Radiolux 111

Radiolux 111 je přístroj vyrobený firmou PRC Kochmann Berlín. Toto zařízení je možno využít nejen jako luxmetr, ale také jako radiometr. Je lehce ovladatelný, má automatické přepínání rozsahů od 0,01 lx do 3 660 klx. Je vybaven dálkovým ovládním s bluetooth adaptérem. Má široké spektrum využití.

12.4. Radiolux 211

Radiolux 211 je přenosný stolní měřicí přístroj také od firmy PRC Kochmann Berlín. Je vybaven automatickým přepínáním rozsahu od 1 Mlx do 200 klx. Tímto aparátem lze velmi přesně změřit i hodnoty UV záření.

12.5. Zásady měření s luxmetrem

Při měření s luxmetrem je nutno dávat pozor na to, aby nebyl překročen rozsah měřicího přístroje a aby, hlavně u starších přístrojů, nedošlo k ozáření čidla. U luxmetrů s několika rozsahy a u ručičkových měřících přístrojů je vhodné nečíst hodnoty v rozsahu do 1/5 stupnice, tím zabráníme, aby se nezvětšovala nepřesnost měření.

Měřením se kontrolují hodnoty osvětlenosti v bodech pracovní či srovnávací roviny. Nejčastěji se jedná o vodorovné roviny ve výšce 0,85 m nad podlahou v interiéru a v exteriéru 20 cm na povrchu.

Důležitým faktorem, který má vliv na výsledné hodnoty je i míra znečištění světelně činných ploch svítidel a osvětlovaného prostoru. Nové zářivky a výbojky by měly být před měřením v provozu při jmenovitém napětí po dobu 100 hod, žárovky nejméně 10 hod. V záznamu o měření se udává celkový počet hodin, po které byly tyto zdroje v provozu. Před každým dalším měřením, musí být světelný tok zdrojů stabilizován. Z toho důvodu musí být výbojové zdroje před začátkem měření minimálně 20 minut v provozu. V případě, že jsou instalovány v uzavřených svítidlech, je doba stabilizace delší.

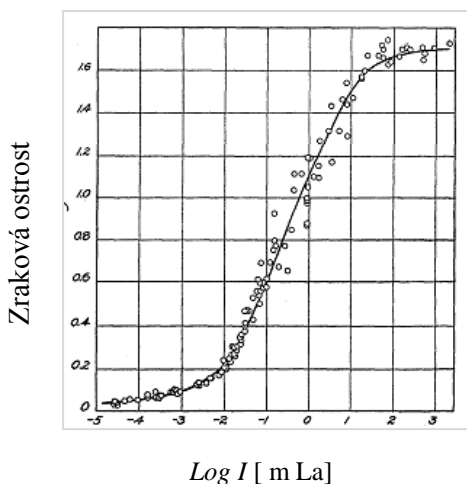
Při měření je nutno brát zřetel i na změny světelného toku zdrojů v závislosti na změnách napájecího napětí, na okolní teplotě i na době jejich provozu. Proto je nutno v protokolu o měření vždy uvést při jaké teplotě vzduchu v okolí svítidel bylo měření prováděno.[5]

13. VLIV OSVĚTLENÍ NA ZRAKOVOU OSTROST A SENZITIVITU OKA

Vztahem mezi zrakovou ostrostí a intenzitou osvětlení se podrobněji zabýval již v roce 1754 německý matematik a astronom T. Mayer. Ve svých bádáních dokázal, že zraková ostrost se zvyšuje jako šestá odmocnina intenzity osvětlení.

K dalším významnějším objevům v této oblasti dospěl až v 70. letech 19. století A. Posch. I přesto, že použil malý rozsah osvětlení, prokázal, že zraková ostrost se v závislosti na intenzitě osvětlení mění téměř logaritmicky. Tuto tezi podpořil ve svých měřeních R. Klein, a asi o deset později i F. Cohn. Jejich výsledky zkoumání potvrdil německý oftalmolog W. Uhthoff, který rozpracoval tento vztah při velkém rozsahu osvětlení bílého a barevného světla.

Na jeho výzkum navázal v roce 1897 S.Koenig, který se rovněž zabýval, a to velmi podrobně, vlivem bílého světla. Obrázek číslo 35 znázorňuje graficky vztah mezi osvětlením bílým světlem a zrakovou ostrostí.



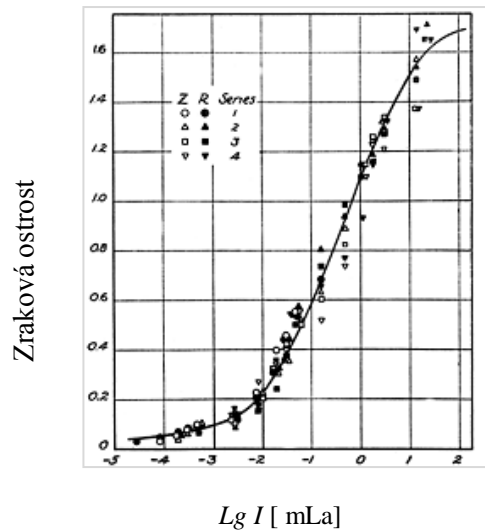
Obrázek 35: Graf závislosti zrakové ostrosti na osvětlení-původní hodnoty osvětlení byly vynásobeny koeficientem 0,072 a převedeny na mililamberty (mLa).

Výsledná křivka grafu má tvar písmene „S“. Nejprve stoupá pozvolna, pak je její průběh značně strmý a později je téměř vodorovná. Koenig prokázal, že se zraková ostrost mění jako logaritmus osvětlení, čímž potvrdil Mayerovu podmínku.

Na přelomu 19. století dokázal německý fyziolog, matematik, lékař, fyzik a meteorolog H. L. F. Helmholtz, že nízká zraková ostrost při slabém osvětlení, koresponduje s rozlišovací schopností oka. Francouzský lékař P. P. Broca v téže době předpokládal, že při vysokém osvětlení putuje pigment buněk sítnice mezi jednotlivými čípkami, které se v důsledku toho k sobě navzájem přibližují a mění svůj průměr. Tento závěr se však prokázat nepodařilo. Také

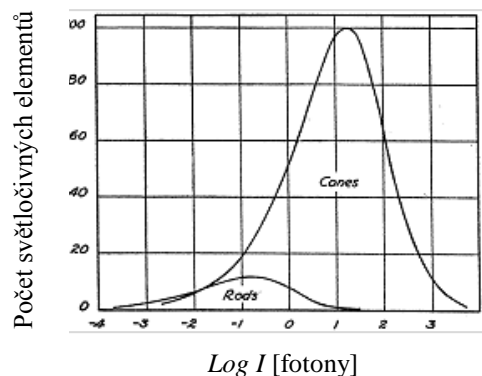
tvrdil, že vazba mezi světločivnými elementy a nervovými vlákny není přesně stanovena, a že snížíme-li osvětlení, vzroste počet světločivných buněk spojených s jedním nervovým vláknem.

Další významnější výzkumy jsou zaznamenány až na počátku 20. století. C. O. Roelofs a W. P. C. Zeeman ve snaze získat nové údaje prováděli měření sami na sobě. Výsledek jejich práce je znázorněn na obrázku číslo 36. Potvrzuje Koenigovu studii vztahu mezi zrakovou ostrostí a osvětlením.



Obrázek 36: Graf závislosti vízu na osvětlení

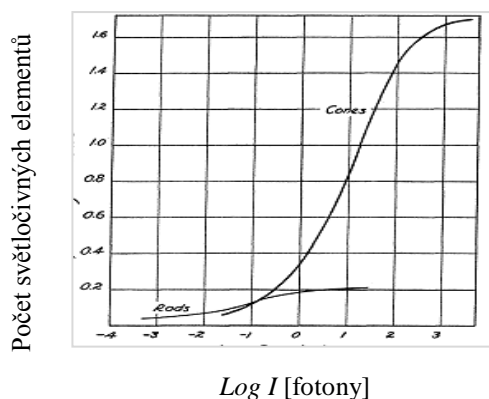
Významnější závěry týkající se tohoto tématu publikoval ke konci 20. let 20. století profesor Kolumbijské univerzity Selig Hecht. Ověřil a rozšířil prvotní výzkum Koeniga prokazující, že s poklesem zrakové ostrosti klesá i rozlišovací schopnost oka. Bylo známo, že tyčinky a čípky fungují jako samostatné jednotky, případně i skupiny. Jejich počet na sítnici je po anatomické stránce přesně daný, ale počet aktivních světločivných elementů se může na jednotce plochy sítnice změnit, a to až stokrát. Zkušenosti prokázaly, že senzitivita tyčinek a čípků není stejná. S rostoucí zrakovou ostrostí se vzdálenost mezi aktivními světločivnými buňkami zmenšuje, oproti tomu při snížení zrakové ostrosti je tato vzdálenost velká. Na obrázku číslo 37 je znázorněna křivka závislosti počtu aktivních světločivných elementů na osvětlení.



Obrázek 37: Graf závislosti aktivních tyčinek (rods) a čípků (cones) na hladině osvětlení

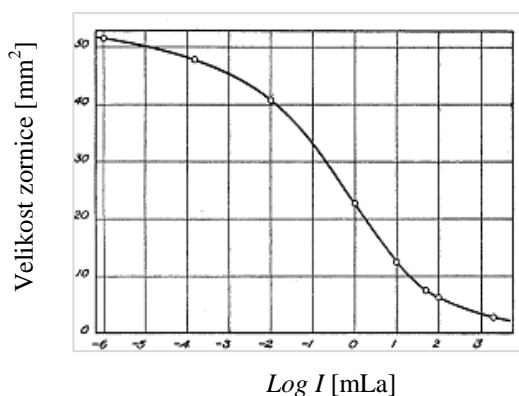
Intenzita osvětlení je zde vyjádřena v jednotkách zvaných fotony (foton odpovídá osvětlení sítnice 1 mililabert a velikosti zornice 1 mm^2).

Z grafu vyplývá, že obě křivky mají podobný průběh lišící se jen polohou a výškou svého maxima. Na následujícím obrázku můžeme pozorovat statistické rozdělení citlivosti tyčinek a čípků a jejich relativní počet ve funkční oblasti sítnice při určitém osvětlení.



Obrázek 38: Relativní počet aktivních počet tyčinek a čípků ve funkční oblasti sítnice v závislosti na osvětlení

Ve výzkumech, které byly prováděny v 19. a počátkem 20. století, se zohledňoval pouze vliv intenzity osvětlení na zrakovou ostrost, nikoli však další faktory jako jsou velikost zornice, vzdálenost zkušebního objektu od pozorovatele, jas a rozsah pole kolem zkušebního objektu. Na obrázku 39 je znázorněna závislost velikosti zornice a jasů. Z uvedeného grafu vyplývá, že čím je jas vyšší, tím je velikost zornice menší.



Obrázek 39: Graf vyjadřující závislost velikost pupily na jasů

Účinkem okolního osvětlení se zabývali ve 30. letech 20. století ve svých pracích zejména R. J. Lythgoe, J. Steinhardt. Ti prosazovali, že je nezbytné, aby oko bylo intenzitě okolního osvětlení zcela přizpůsobeno, tedy aby měření bylo prováděno ve stacionárním stavu adaptace.

V roce 1932 vydal W. W. Wilcox v odborných kruzích studii nazvanou „The basic of the dependence of visual acuity on illumination“, ve které shrnuje teorii Hechta. Jako testové značky pro svá měření použil dva úzké paralelní proužky z lesklého kovu o konstantní velikosti. Jejich vzájemná vzdálenost se však mohla měnit. Vyšetření vízu prováděl monokulárně, za přísné kontroly fixace. Celková plocha sítnice, která byla touto testovou značkou stimulována, byla omezena předsazenou štěrbínou obdélníkového tvaru o obsahu 4 mm². Tato velikost byla zvolena proto, aby podnět vyvolal podráždění pouze fovey a aby se při změnách osvětlení neměnila velikost zornice, tedy i rozměry sítnicového obrazu. Důležité bylo, aby pacient určil okamžik, kdy proužky, za kterými bylo instalováno ze strany osvětlené zrcadlo, rozlišil odděleně. Měření tak mohl provádět ve dvou variantách. V první sérii zkoumal rozlišitelnost tmavých pruhů na různě osvětleném pozadí. Zjistil, že při nízkých hladinách intenzity osvětlení je práh rozlišitelnosti vysoký, při dalším zvýšení intenzity rozlišovací schopnost optického aparátu oka klesá na určitou nejmenší hodnotu a poté opět narůstá. V druhé sérii měření použil různě osvětlené proužky na tmavém pozadí a vyzoroval, že rozlišovací práh při zvyšující se intenzitě osvětlení klesá. Odtud tedy plyne, že vliv změny intenzity osvětlení testové značky a pozadí na zrakovou ostrost není stejný.

K dalším významnějším závěrům dospěli H.P. Wozniak, M.Kelly, S.Glover, N.D. Moss až na konci 90. letech 20. století. Své poznatky publikovali v roce 1999 v odborném časopise *Australian Orthoptic Journal* v článku nazvaném „The effect of room illumination on visual acuity measurement“. Měření bylo prováděno pomocí Snellenových optotypů při dvou různých hladinách osvětlení místnosti- při 1300 lx a 90 lx. Výzkum prokázal, že s rostoucí intenzitou osvětlení se vízus zlepšuje. Výraznější změny zlepšení zrakové ostrosti byly zjištěny zejména u ametropických pacientů.

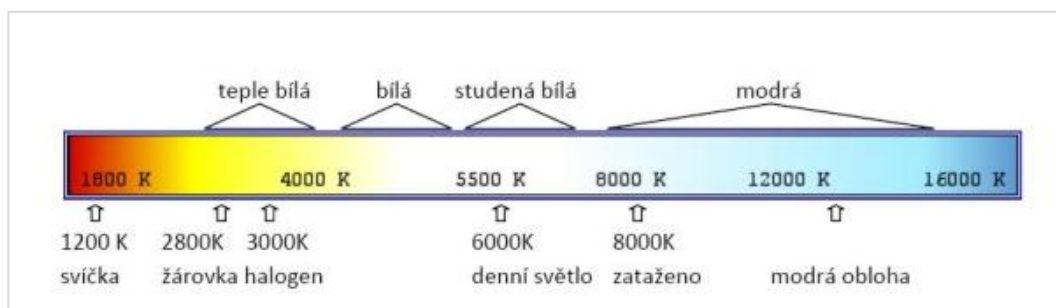
Asi o deset let později byl publikován výzkum, kterého se účastnilo 30 malajských vysokoškolských studentů ve věku 19 až 23 let, se sférickou refrakcí od 0 do -7,75 D a astigmatismem od 0 do -1,75 D. Při testech byl použit Snellenův, projekční a nástěnný optotyp. Prokázalo se, že intenzita osvětlení ani použité testové značky nemají vliv na subjektivní refrakci. Výsledky byly shrnuty a uveřejněny v roce 2010 pod názvem „Comparison of subjective refraction findings in two different levels of room illumination using free type of lettet chart“. [50, 51, 52, 53]

Senzitivita oka byla podrobněji popsána již v kapitole Optické záření a světlo. Mnohé výzkumy se shodují, že spektrální citlivost je ovlivněna těmito faktory: adaptací oka na světlo, znalostí barvy a volbou světelného zdroje.

Vliv adaptace se projeví v souvislosti s únavou receptoru jako následek déle trvajících pozorování monotónního podnětu nebo v důsledku krátkého zhlédnutí naopak velmi intenzivního podnětu.

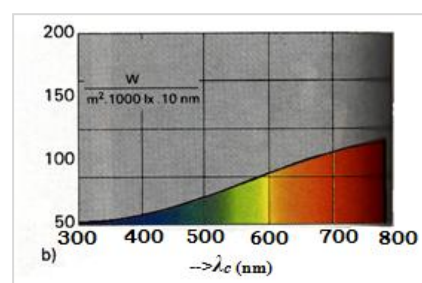
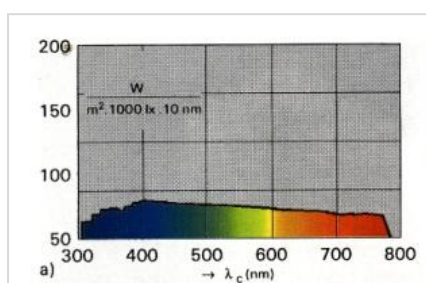
Znalost barvy je velmi ovlivněna subjektivním chápáním, každý jedinec má svou danou neměnnou představu o pojmenování konkrétní barvy.

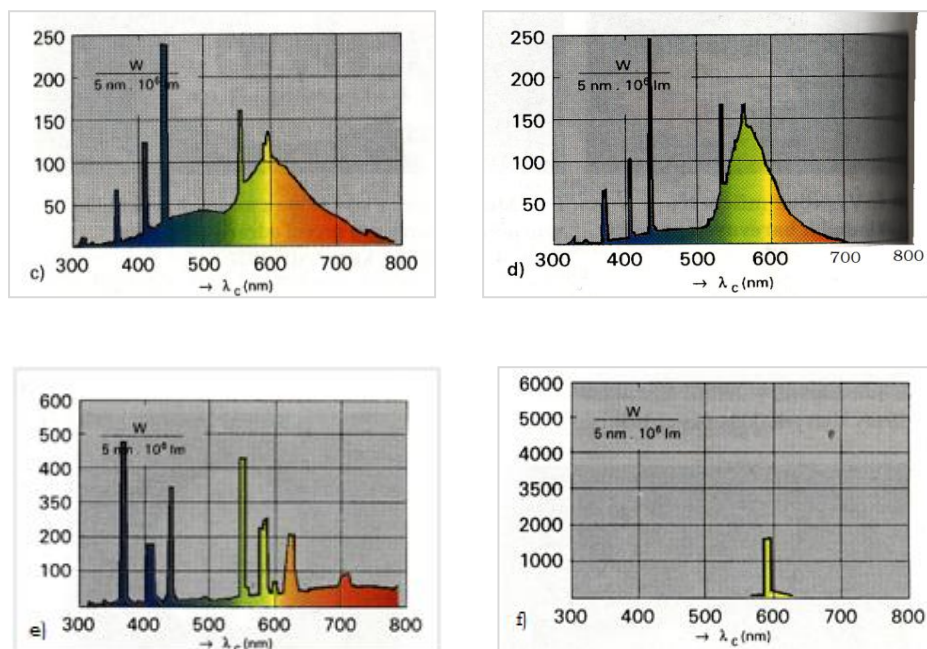
Z hlediska světelného zdroje jsou důležité zejména dvě podmínky, a to intenzita osvětlení a jeho barevná teplota (teplota chromatičnosti). Již několik staletí je známo, že světločivné elementy obsahují odlišné pigmenty. Pigment tyčinek je citlivý téměř na všechny vlnové délky viditelné části spektra. Bylo vyzkoušeno, že jejich maximální citlivost odpovídá vlnové délce 500 nm. Oproti tomu čípky mají práh citlivosti značně vyšší. Jinými slovy jsou aktivní pouze v případě, že na sítnici dopadá intenzivní světlo. Proto při špatných světelných podmínkách, za šera, barvy vidíme hůře, až nakonec barvy vůbec nerozpoznáme. Zajímavým úkazem je Purkyňův jev, který souvisí se změnou adaptace zraku. Při úbytku světla dochází v určitém okamžiku k patrnému posunu vnímání barev okolních objektů. Červená barva se jeví méně barevná a tmavší, zatímco tóny barvy modré jsou jasnější. Teplota chromatičnosti světelného zdroje se rovná barvě tepelného záření černého tělesa zahřátého na tuto teplotu. Je vyjadřována v kelvinech (K). Teploty chromatičnosti různých světelných zdrojů jsou uvedeny na obrázku číslo 40.



Obrázek 40: Škála teploty chromatičnosti

Pro příjemný pocit zrakové pohody je při osvětlení interiéru vhodné volit světelné zdroje s barevnou teplotou 6 000 K, která odpovídá dennímu světlu a nedochází tak k nežádoucímu ovlivnění pozorovaných předmětů nádechem teploty barvy zvoleného světla. [5, 54, 55, 56, 57]





Obrázek 41: Spektrální složení denního světla a záření světelných zdrojů: a) denní světlo, b) obyčejná žárovka c) zářivka standardní univerzálně bílá (4 000 K), d) zářivka standardní teple bílá (3 000 K), e) vysokotlaká rtuťová výbojka s luminoforem, f) nízkotlaká sodíková výbojka

14. VÝZKUM

14.1. Úvod do praktické části

K významným činitelům ovlivňující úroveň života lidí patří nejen voda, vzduch, půda, ale také světlo. Světelné záření vyvolává v lidech psychologické i fyziologické reakce, které úzce souvisí s množstvím a kvalitou světelné energie, druhem světla i jeho barevné prostředí. Nedílnou součástí okolí, v němž se člověk pohybuje, je světelné mikroklima (světelné prostředí). Dnes je všeobecně známo, že dobré osvětlení pracovišť umožňuje nejen vyšší produktivitu práce, ale i její bezpečnost. Neméně výraznou roli hraje kvalita osvětlení v domácnostech, společenských prostorách a zdravotnických zařízeních.

Činnost lidí, která směřuje k vytvoření určitého světelného prostředí, se nazývá osvětlování a jejím produktem je osvětlení, stav předmětů charakterizovaný množstvím světelné energie dopadající na pozorované předměty, stupněm jeho rozptýlení, převažujícím směrem dopadu světla a dalšími parametry. I když je světlo jen prostředníkem, který nám umožňuje získat zrakové informace jako výsledek složité spolupráce zrakového systému člověka a pozorovanými předměty, označují odborníci osvětlení při jakékoli činnosti lidí za jednu z nejdůležitějších podmínek pro fungování jedince.

Praktická část této diplomové práce byla prováděna v Kroměříži, v oční optice, jejíž součástí je i vyšetřovna optometristy a samostatná ordinace oční lékařky. Vzhledem k tomu, že lékařka provozuje praxi zaměřenou i na glaukomovou poradnu a svou ordinaci má nově rekonstruovanou, není působiště optometristy registrováno jako nestátní zdravotnické zařízení, i když ve své podstatě plně vyhovuje vyhlášce č. 221/2010 Sb., O požadavcích na věcné a technické vybavení zdravotnických zařízení.

Výzkum je rozdělen do dvou částí. Nejprve byl zkoumán vliv změny intenzity osvětlení na zrakovou ostrost a druhá část byla zaměřena na subjektivní vnímání a hodnocení barev.

14.2. Cíle výzkumu

Jak již bylo výše zmíněno, světlo je z hlediska osvětlování, prostředníkem k přenosu a získání informací o okolním prostředí. Aby člověk mohl tyto informace zpracovávat s dostatečnou rychlostí a přesností bez zbytečné námahy, musí být osvětlení přiměřené konkrétní zrakové činnosti. I to byl jeden z důvodů, proč bylo cílem prvním části výzkumu zjistit, zda při změně intenzity osvětlení dochází k poklesu zrakové ostrosti. Nepříznivé účinky světelného záření se výrazněji projeví při nesprávně zvolené chromatičnosti světla

použitých zdrojů. Takové osvětlení může nejen velmi ztížit, ale i znemožnit rozlišování barev. V důsledku toho je druhá část výzkumu zaměřena na to, zda a jak má změna intenzity osvětlení vliv na vnímání a posuzování barevných předmětů.

14.3. Pracovní hypotéza

Vzhledem k tomu, že se dnes bez elektrického osvětlení neobejdeme a že se při odvozování světelně technických parametrů osvětlení vychází nejen ze zrakového výkonu, zrakového komfortu a z normalizace oblasti světelné techniky (ČSN EN 12464-1 Světlo a osvětlení-Osvětlení pracovních prostorů) byly hypotézy formulovány následovně:

H01: Zraková ostrost se v závislosti na poklesu intenzity osvětlení vyšetřovny sníží.

H02: Subjektivní vnímání a hodnocení pestrosti barev se vlivem změny intenzity osvětlení mění.

14.4. Metodika výzkumu

14.4.1. Vyšetřované osoby

Do výzkumu bylo zařazeno 35 vyšetřovaných osob, z toho 18 žen a 17 mužů. Věk těchto respondentů se pohyboval v intervalu od 16 do 33 let. Ve zkoumané skupině bylo 13 emetropů, 11 myopů se sférickou refrakcí od -0,75 do -5,5 D, 5 hypermetropů s refrakcí +1,75 až 3,75 D a 6 osob s astigmatismem v hodnotách od -0,25 do -2,0 D.

14.4.2. Metody a prostředky vyšetření

14.4.2.1. Popis vyšetřovny

Vyšetřovna má tvar obdélníka o rozměrech 360x580 cm. K osvětlení místnosti slouží stropní okno o rozměrech 140x120 cm opatřené světle šedou stínící žaluzií a tři svítidla se světelným zdrojem 2 kusů zářivek firmy Philips. Zářivky mají příkon 36 W, jejich délka činí 120 cm a barva jejich světla je chladně bílá.

14.4.2.2. Měření intenzity osvětlení ve vyšetřovně

Prvním krokem před zahájením vlastního výzkumu bylo měření intenzity osvětlení ve vyšetřovně. K tomuto účelu posloužil luxmetr PU 550 vyrobený firmou Metra Blansko, a.s. Kvalita osvětlení v očních vyšetřovnách se řídí předpisy normy ČSN EN 12464-1 Světlo a osvětlení-Osvětlení pracovních prostorů, podle nichž intenzita osvětlení musí dosahovat hodnot 300 lx. Hladina osvětlení byla důkladně proměřována ve vzdálenosti 5 m od optotypu, tedy v místě, kde sedí vyšetřovaná osoba. Čidlo luxmetru bylo upevněno na pomocném stojanu, jehož rameno bylo nastaveno do polohy 90 ° ve výšce úrovni očí vyšetřované osoby. Různými variacemi rozsvěcování svítidel bylo docíleno osmi různých hladin osvětlení (430 až 30 lx). Aby byly zachovány stejné světelné podmínky a objektivita měření, byla před každým konkrétním měření provedena kontrola hladiny osvětlení.

14.4.2.3. Pracovní postup

Všechny osoby byly nejprve objektivně vyšetřeny na autorefraktometru typu GR-3100 K firmy Grand Seiko. Poté byla na nástěnném světelném kombinovaném optotypu dodávaném firmou Opting servis, který byl instalován ve vyšetřovací vzdálenosti 5 metrů vyšetřována zraková ostrost. Jako zkušební znaky byly zvoleny Pflügerovy háky, které jsou tvořeny ze tří kratších a jedné delší čáry. Tyto symboly byly použity zejména proto, že jejich rozpoznání vyžaduje oproti písmenům stejnou míru soustředění. K hodnocení zrakové ostrosti byla použita celořádková metoda. Nejprve byl testován monokulární a binokulární naturální vízus. Následně byl hodnocen vízus s korekcí. Jelikož 37% posuzovaných osob byli emetropové a jejich vízus dosáhl hodnot 1, příp. 1,25, nebylo u nich nutné provádět subjektivní dokorigování. 63 % zúčastněných byli ametropové. 82% ametropickým respondentům plně vyhovovala vlastní korekce a taktéž nebylo nutné provádět jakékoli změny jejich korekce. Pouze u 11% posuzovaných ametropů bylo zjištěno, že jejich korekce není optimální a byla provedena úprava.

Nejprve byl vlastní výzkum prováděn při standardních podmínkách, tj. se svítícím optotypem. Ve vyšetřovně byla postupně snižována intenzita osvětlení od hodnot 430 lx, 420 lx, 320 lx, 310 lx, 165 lx, 145, 42 lx až po 30 lx. Nižších hodnot nemohlo být dosaženo proto, že místnost je opatřena stropním oknem. Aby byla z důvodu adaptace oka na světelné podmínky zachována objektivita měření, bylo vždy nutné dodržet časový interval 15 minut. Výzkum zrakové ostrosti při těchto hodnotách osvětlení probíhal vždy nejprve monokulárně a

následně binokulárně. Aby byla nasimulována situace s tištěným optotypem, byla svítící tabule zhasnuta a celý proces vyšetření s výše uvedenými hodnotami luxů se v plném rozsahu zopakoval.

Po té bylo přistoupeno k druhé části výzkumu. Na zkušební plochu (bílý arch papíru A2), která byla umístěná v úrovni očí vyšetřovaných (ve vzdálenosti 5 m), byla připevněna pětice pastelek (výška 17 cm). Byly seřazeny následovně (zleva doprava): modrá, zelená, žlutá, oranžová, červená. Stejně jako v předešlé části výzkumu byla i nyní postupně snižována intenzita osvětlení od 430 do 30 lx. Časový interval 15 minut se rovněž nezměnil. Úkolem každého respondenta bylo vždy při dané hladině osvětlení seřadit na základě subjektivního pocitu všechny barvy od nejpestřejší po nejméně pestrou. Nejpestřejší barvě bylo přiděleno skóre 1, naopak barvě nejméně pestré skóre 5. Vyšetření bylo prováděno pouze binokulárně. Po dobu adaptace byla zkušební plocha s pastelkami vždy překryta neprůhlednou látkou, aby byly vždy navozeny optimální podmínky.

Všechny výsledky byly zapisovány do následující tabulky.

Tabulka 7: Vzorová tabulka pro zápis výsledků

Ž				sph	cyl	ax						
Věk	RV	Korekce	OD	-2,50			OR:	sph	cyl	ax		
16	M		OS	-2,25			OD	-2,50	-0,25	155		
		VN	Vsk				OS	-2,00	-0,5	22		
Vízus(310 lx)	OD	0,2	1,25									
	OS	0,2	1,25									
	ODS	0,4	1,25									
SVÍTÍ				NESVÍTÍ								
Osvětlení	V: OD	V: OS	V: ODS	Osvětlení	V: OD	V: OS	V: ODS	M	Z	Ž	O	Č
430 lx	1,25	1,25	1,25	430 lx	1,25	1,25	1,25	3	1	5	4	2
420 lx	1,25	1,25	1,25	420 lx	1,25	1,25	1,25	3	2	5	4	1
320 lx	1,25	1,25	1,25	320 lx	1,25	1,25	1,25	1	3	5	4	2
310 lx	1,25	1,25	1,25	310 lx	1,25	1,25	1,25	1	2	5	3	4
165 lx	1,25	1,25	1,25	165 lx	1	1	1,25	2	1	5	4	3
145 lx	1,25	1,25	1,25	145 lx	0,8	1	1	1	3	5	4	2
42 lx	1,25	1,25	1,25	42 lx	0,8	1	1	3	1	5	4	2
30 lx	1,25	1,25	1,25	30 lx	0,8	0,8	0,8	5	1	4	3	2

Vysvětlivky k tabulce č. 7:

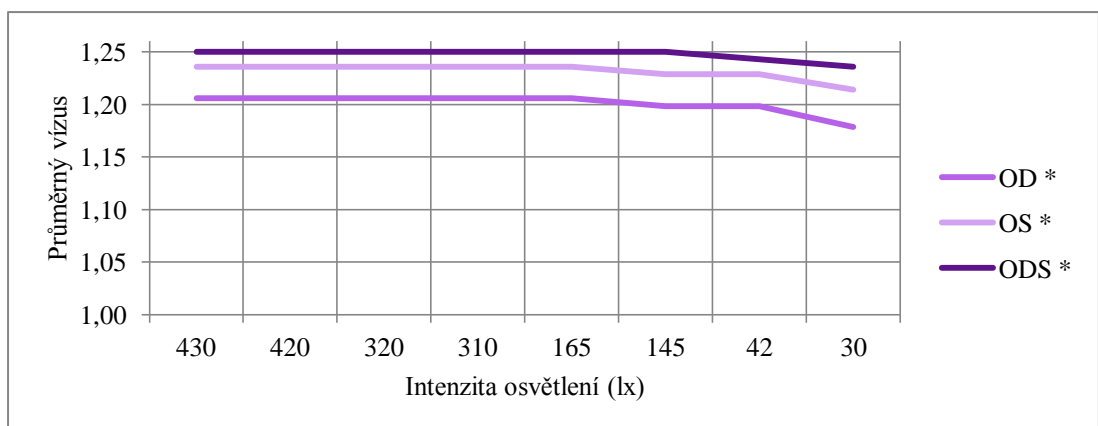
- **Ž**-žena, **RV**-refrakční vada, **M**- myop
- **OD**- pravé oko, **OS**-levé oko, **ODS**-pravé i levé oko
- **OR**-objektivní refrakce, **sph**- sféra, **cyl**- cylindr, **ax**- osa cylindru
- **VN**-vízus naturální, **VsK**-vízus s korekcí, **VOD**-vízus pravého oka, **VOS**-vízus levého oka, **VODS**- vízus pravého i levého oka (binokulární)
- **M**- modrá barva, **Z**-zelená barva, **Ž**- žlutá barva, **O**-oranžová barva, **Č**- červená barva
- **SVÍTÍ**-rozsvícený optotyp, **NESVÍTÍ**-zhasnutý optotyp

14.5 Výsledky

Na tomto místě jsou prostřednictvím grafů prezentovány výsledky, které jsou podrobněji okomentovány v následující kapitole. Všechna data byla zpracována pomocí programu Microsoft Office Excel 2007. Vzhledem k velkému počtu grafů budou v této práci uvedeny pouze grafy stěžejní. Všechna ostatní zjištěné údaje jsou zpřístupněny na příloženém CD-ROMu.

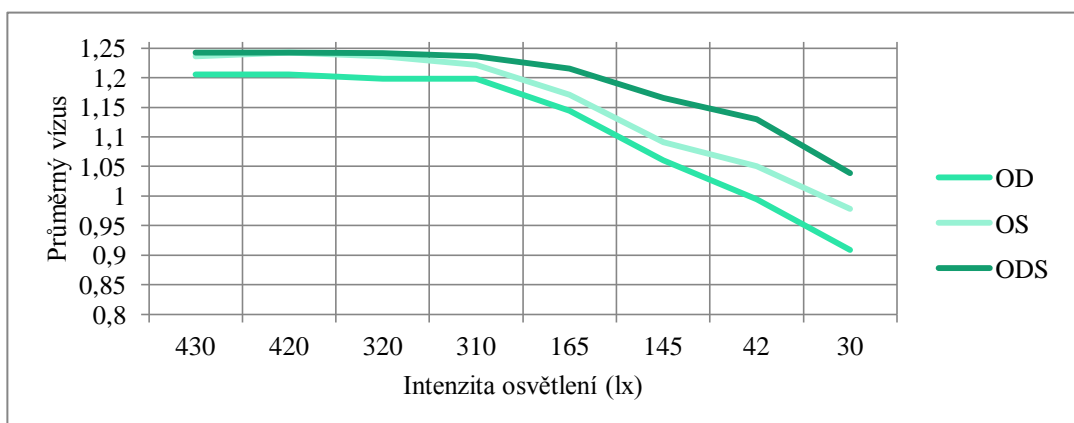
14.5.1. Výsledky měření zrakové ostrosti

První graf představuje výsledky měření zrakové ostrosti s korekcí.

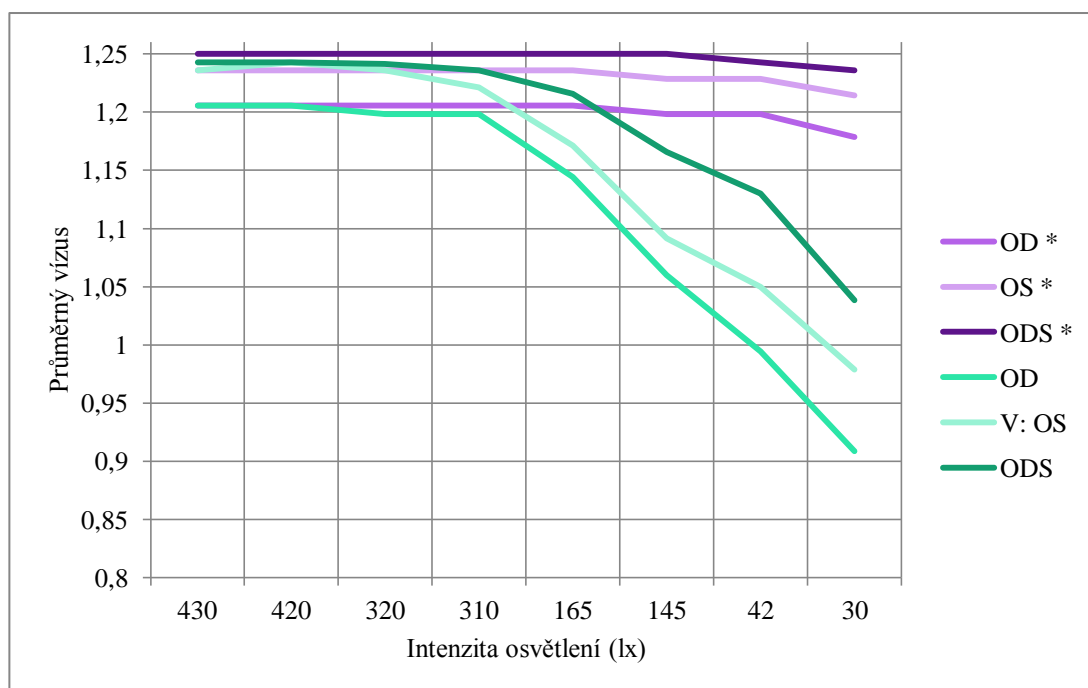


Graf 1: Závislost zrakové ostrosti všech zúčastněných respondentů na změně intenzity osvětlení vyšetřovny. OD-vízus pravého oka, OS- vízus levého oka, ODS-pravého i levého oko (binokulární), *-rozsvícený optotyp.

Další graf znázorňuje závislost zrakové ostrosti na změně intenzity osvětlení vyšetřovny při vypnutém optotypu.



Graf 2: Závislost zrakové ostrosti všech zúčastněných respondentů na změně intenzity osvětlení vyšetřovny. OD-vízus pravého oka, OS- vízus levého oka, ODS-pravého i levého oko (binokulární)



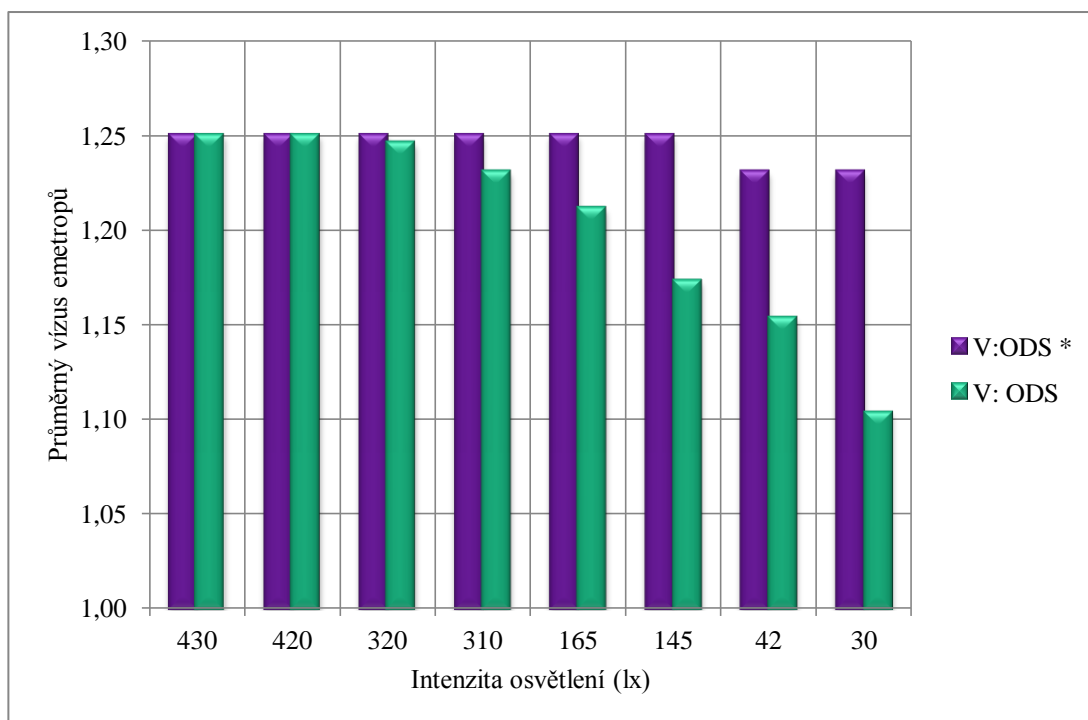
Graf 3: Porovnání závislosti zrakové ostrosti všech zúčastněných respondentů na změně intenzity osvětlení vyšetřovny při rozsvěceném a zhasnutém optotypu. OD-vízus pravého oka, OS- vízus levého oka, ODS-pravého i levého oko (binokulární), *-rozsvěcený optotyp

Hodnocení průměrného vízu v závislosti na intenzitě osvětlení vyšetřovny ukazuje graf č. 1, graf č. 2 a graf č. 3. Z grafického zobrazení výsledných dat je možné usoudit, že vliv osvětlení je významný zejména v případě zhaslého optotypu, kde při poklesu intenzity osvětlení vyšetřovny pod hodnoty 310 lx dochází k patrnému zhoršení monokulární i binokulární zrakové ostrosti. Rozdíl mezi monokulárním i binokulárním vnímáním byl pozorován v obou případech, více se však projevil při optotypu zhasnutém. Vyššího stupně vízu bylo dosaženo při binokulárním čtení, a to jak při rozsvěceném, tak zhasnutém optotypu.

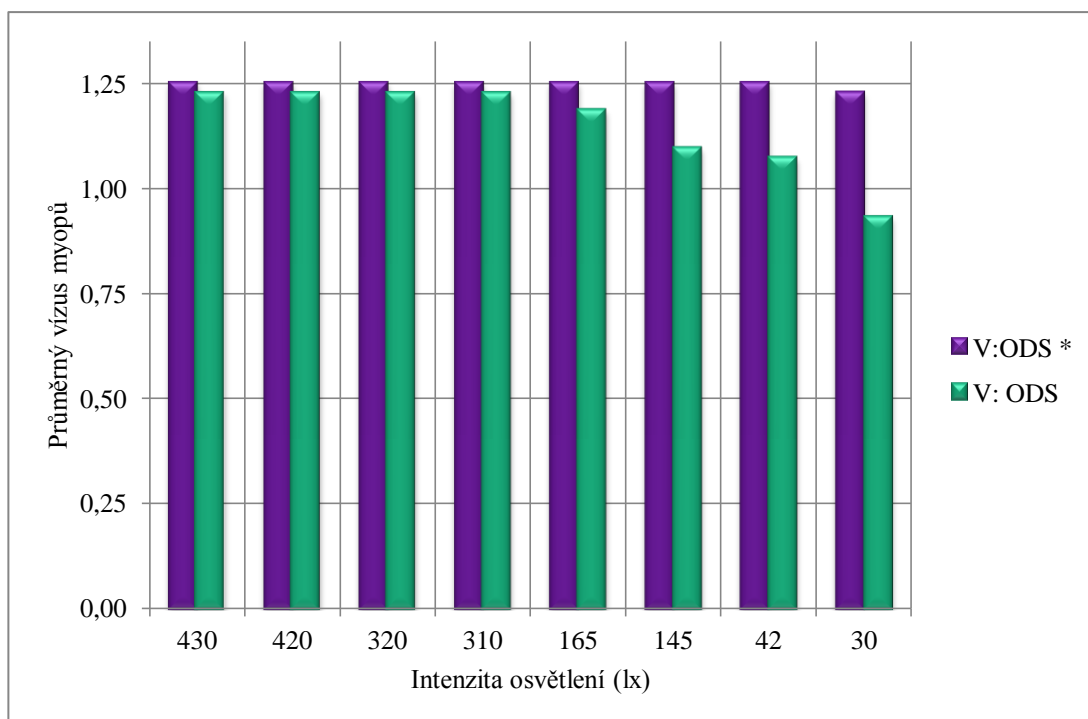
Maximální průměrné hodnoty vízu bylo dosaženo při měření binokulárním. S rozsvěceným optotypem, při hodnotě intenzity osvětlení vyšetřovny 430 lx, hodnota nejvyššího vízu činila 1,25.

Nejnižší průměrná hodnota vízu, 0,9, byla detekována při podmínkách se zhasnutým optotypem, při hodnotě intenzity osvětlení vyšetřovny 30 lx. Pro stejný způsob čtení, ovšem při maximální hodnotě intenzity osvětlení okolního prostředí, 430 lx, byl nalezen průměrný vízus 1,2.

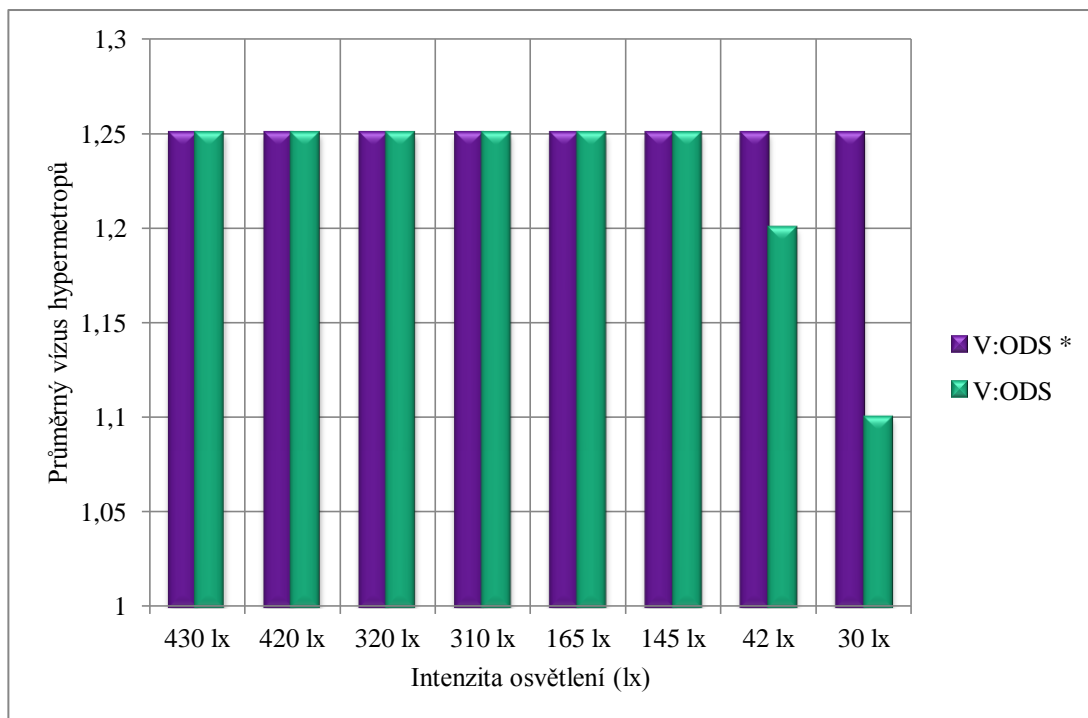
Tato série grafů znázorňuje výsledky měření emetropických i ametropických respondentů při změně intenzity osvětlení vyšetřovny.



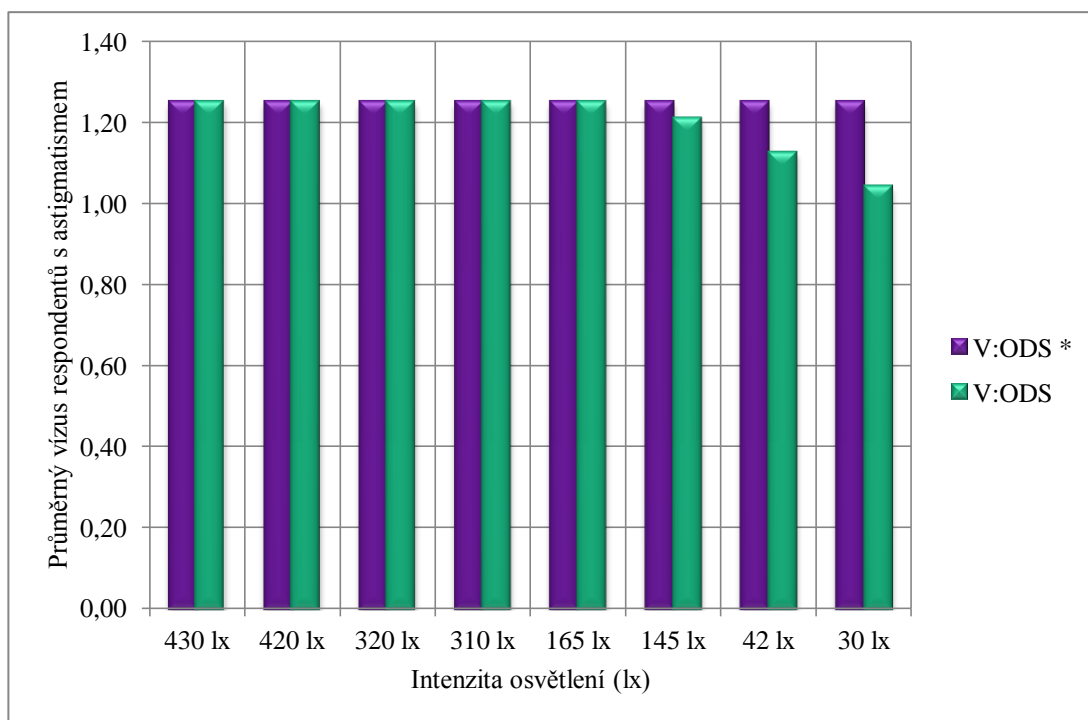
Graf 4: Závislost průměrné zrakové ostrosti emetropů na změně intenzity osvětlení vyšetřovny. VODS-vízus pravého i levého oko (binokulární), *-rozsvěcený optotyp



Graf 5: Závislost průměrné zrakové ostrosti myopů na změně intenzity osvětlení vyšetřovny. VODS-vízus pravého i levého oko (binokulární), *-rozsvěcený optotyp



Graf 6: Závislost zrakové ostrosti hypermetropŮ na změně intenzity osvĚtlení.
 VODS-vÍzus pravĚho i levĚho oko (binokulární), *-rozsvĚcený optotyp



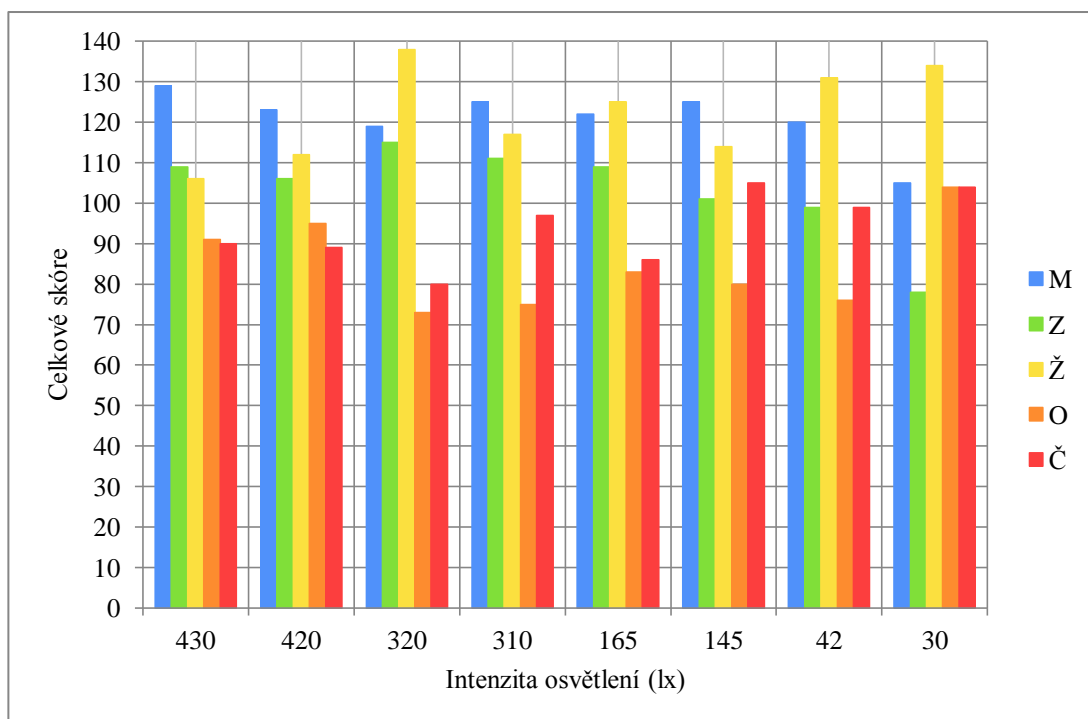
Graf 7: Závislosti zrakové ostrosti astigmatických respondentŮ na změně intenzity osvĚtlení.
 VODS-vÍzus pravĚho i levĚho oko (binokulární), *-rozsvĚcený optotyp

Hodnocení průměrného vízu emetropů, myopů, hypermetropů a vyšetřovaných osob s astigmatismem v závislosti na intenzitě osvětlení vyšetřovny ukazuje graf č. 5, 6, 7. Z grafického zobrazení výsledných dat je možné usoudit, že u emetropických respondentů (graf č. 4) nedochází k poklesu vízu pod hodnotu 1, ani při rozsvíceném, ani při zhasnutém optotypu. Naopak u myopů (graf č. 5) se vliv snižující intenzity osvětlení projevil, a to výrazněji v situaci se zhasnutým optotypem, kdy při postupném poklesu intenzity osvětlení ze 430 lx na 30 lx se průměrný vízus zhoršil z hodnoty 1,23 na 0,93. U hypermetropů (graf č. 6) se snížení vízu projevilo pouze při optotypu zhasnutém, a to až při intenzitě osvětlení 42 lx, hodnota průměrného vízu zde činila oproti 430 lx 1,2, při 30 lx 1,1. U respondentů s astigmatismem (graf č. 7). Byl opět průměrný vízus při rozsvíceném optotypu neměnný, při zhasnutém optotypu se zhoršení binokulárního čtení projevilo nejdříve při hodnotě 145 lx, kdy průměrná hodnota vízu byla 1,21, poté při 42 lx 1,13 a při 30 lx byl průměrný vízus 1,04. Z těchto výsledků je tedy zřejmé, že nejvíce se změna intenzity osvětlení projevila u myopických probandů.

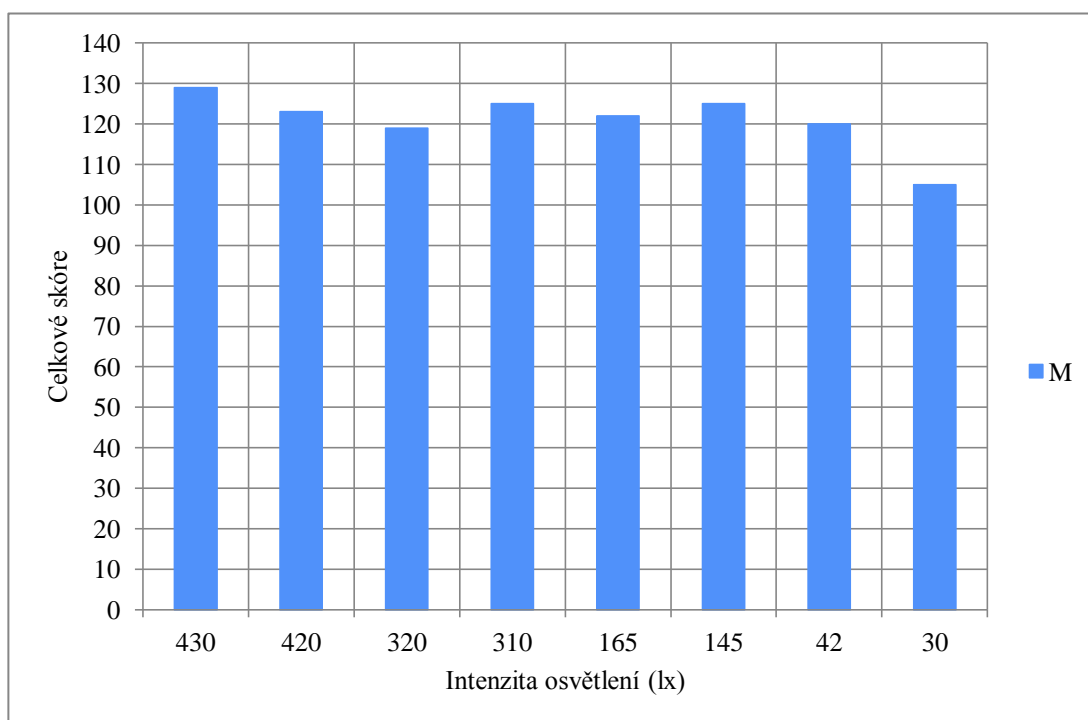
14.5.2. Výsledky subjektivního hodnocení barev

V této části budou prezentovány výsledky týkající se subjektivního vnímání a hodnocení barevných pastelek. Nejedná se o vyšetření barvocitu, ale o subjektivní pocity. Grafy, které jsou zde umístěny, jsou vždy vytvořené z dat všech respondentů, grafy vytvořené zvláště pro muže a ženy jsou opět umístěny v příloze na CD-ROMu.

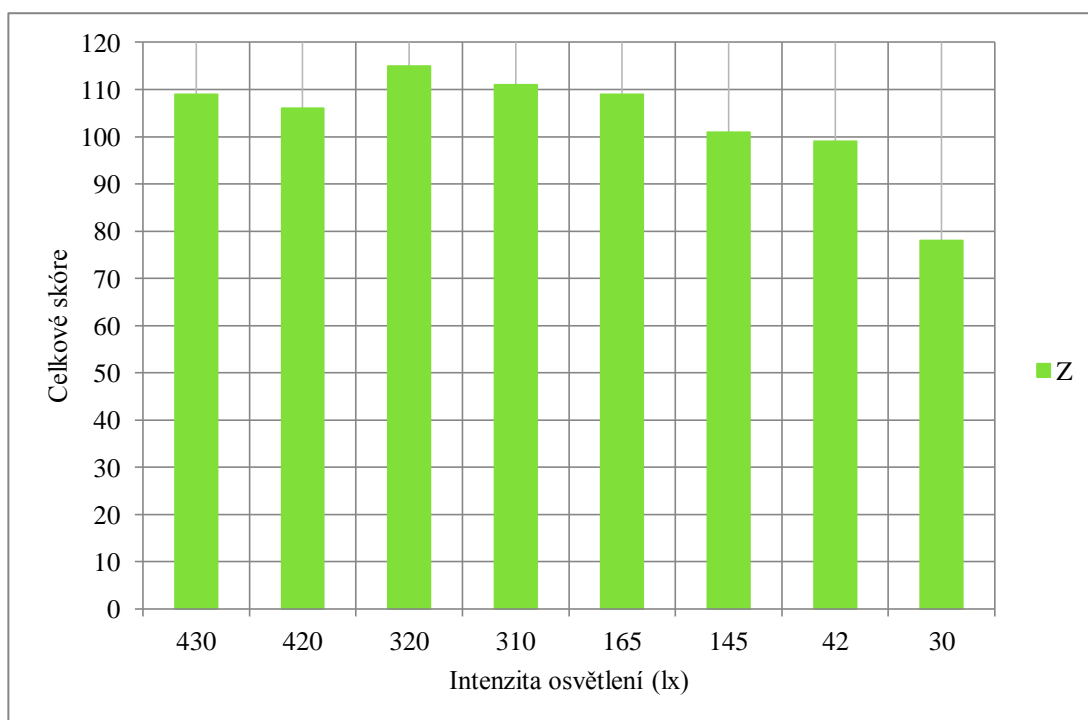
Grafy v této sekci znázorňují závislost celkového skóre na intenzitě osvětlení. Pro správné pochopení interpretace těchto výsledků, je nezbytné vysvětlit, co je míněno pojmem celkové skóre. Jedná se o součet všech udělených skóre každé barvě od všech zúčastněných respondentů. Proto sloupce barev, které jsou vždy nejvyšší, vyjadřují, že daná barva byla při dané hodnotě intenzity osvětlení vnímána nejhůře. Naopak z nejnižších sloupců barev můžeme konstatovat, že byly hodnoceny nejlépe.



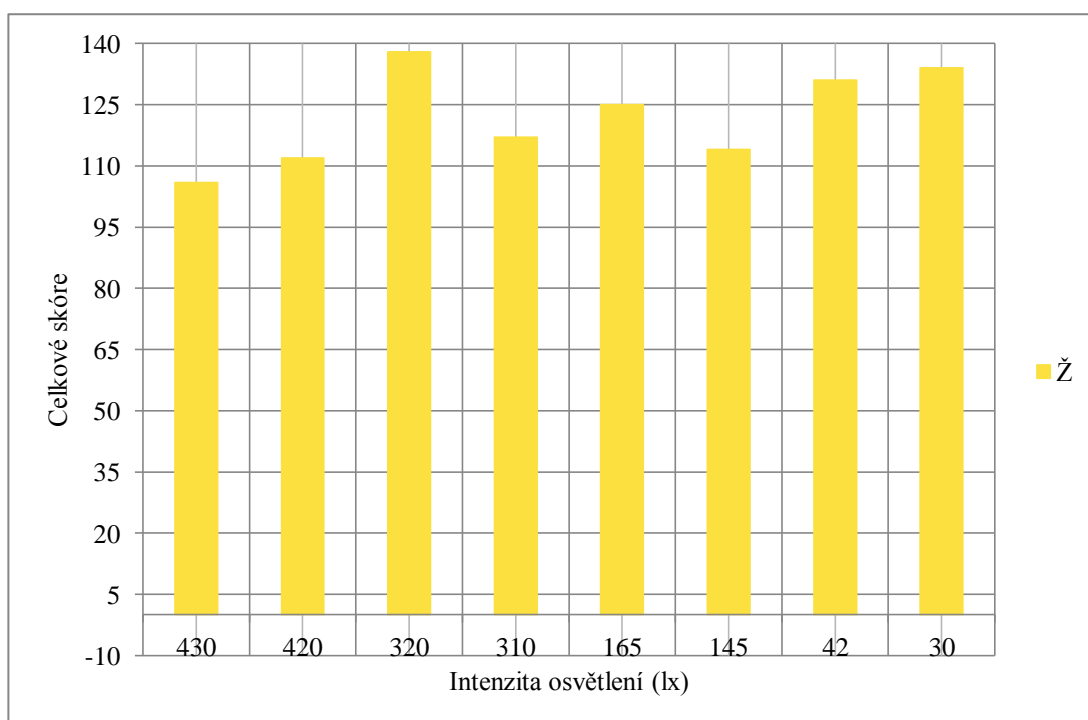
Graf 8: Závislost celkového uděleného skóre všech respondentů pro všechny vybrané barvy na změně intenzity osvětlení vyšetřovny



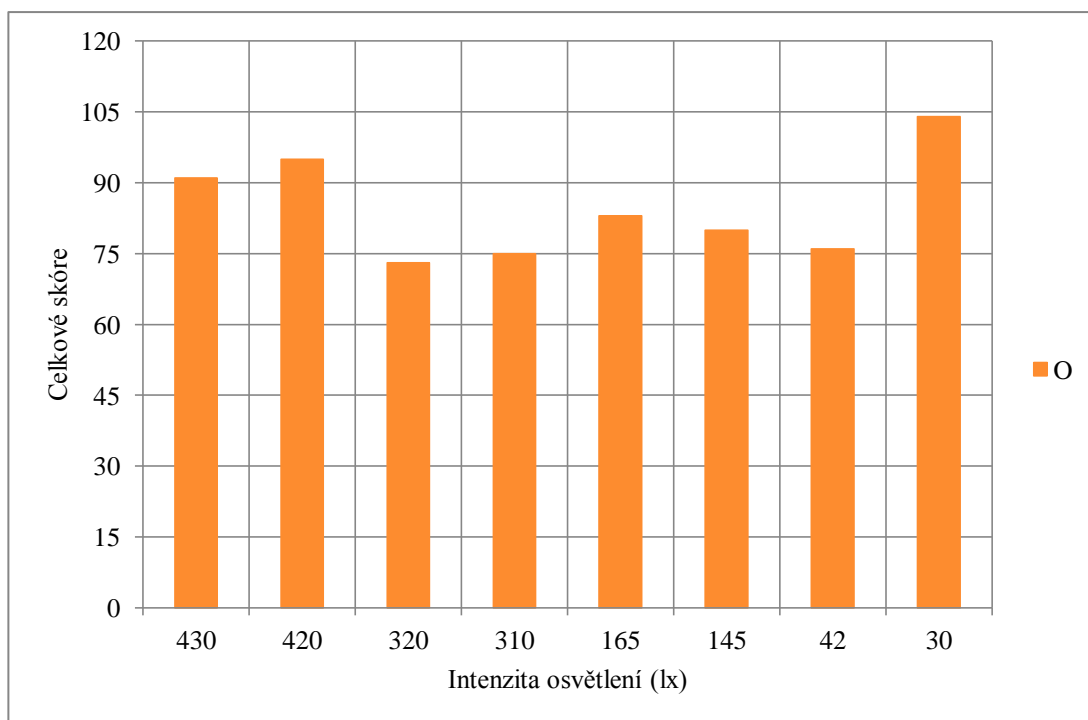
Graf 9: Závislost celkového uděleného skóre všech respondentů pro modrou barvu na změně intenzity osvětlení vyšetřovny



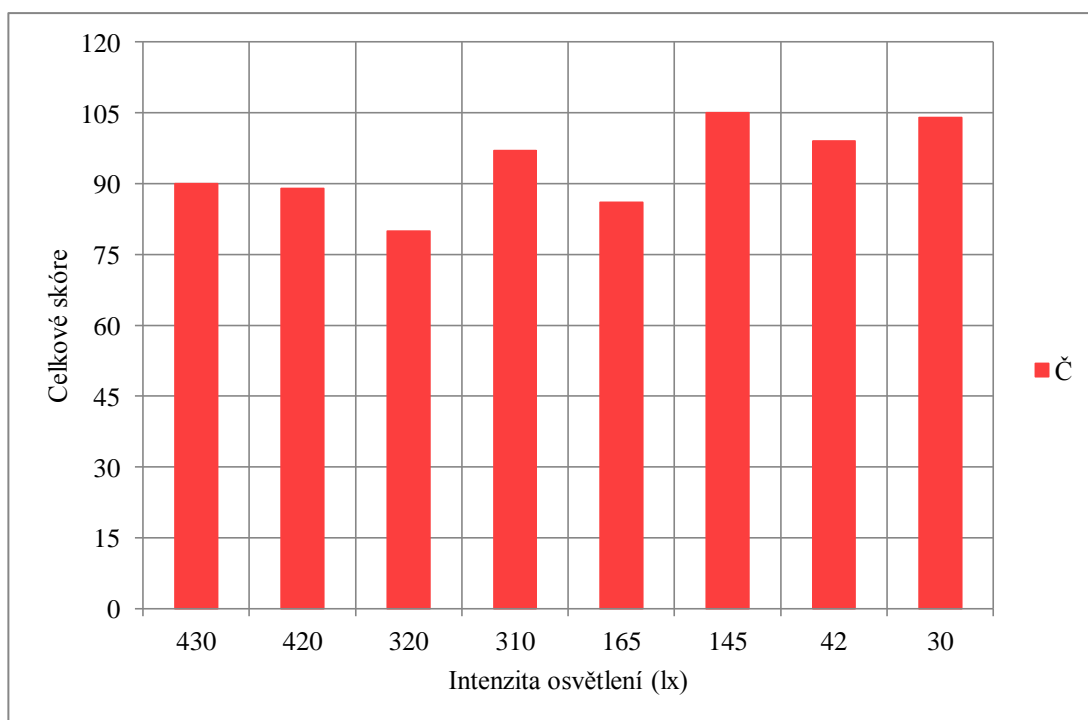
Graf 10: Závislost celkového uděleného skóre všech respondentů pro zelenou barvu na změně intenzity osvětlení vyšetřovny



Graf 11: Závislost celkového uděleného skóre všech respondentů pro žlutou barvu na změně intenzity osvětlení vyšetřovny

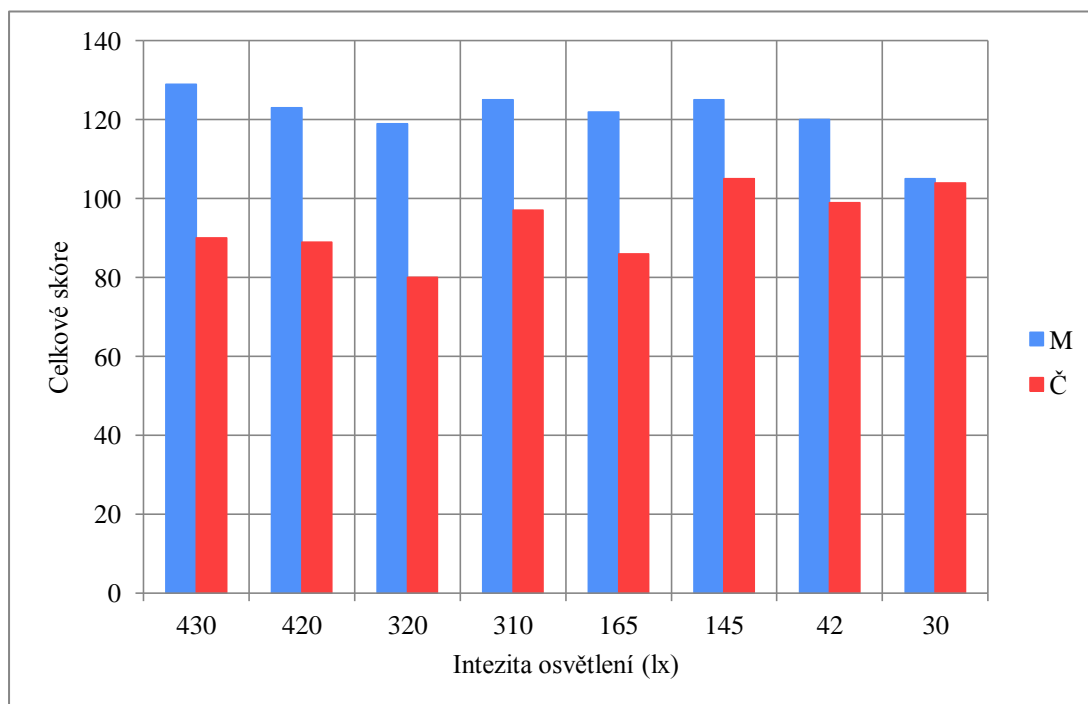


Graf 12: Závislost celkového uděleného skóre všech respondentů pro oranžovou barvu na změně intenzity osvětlení vyšetřovny



Graf 13: Závislost celkového uděleného skóre všech respondentů pro červenou barvu na změně intenzity osvětlení vyšetřovny

Jelikož byl v teorii popsán tzv. Purkyňův jev, je zde také zpracován a umístěn graf vyjadřující vzájemné porovnání subjektivního vnímání a hodnocení modré a červené barvy.

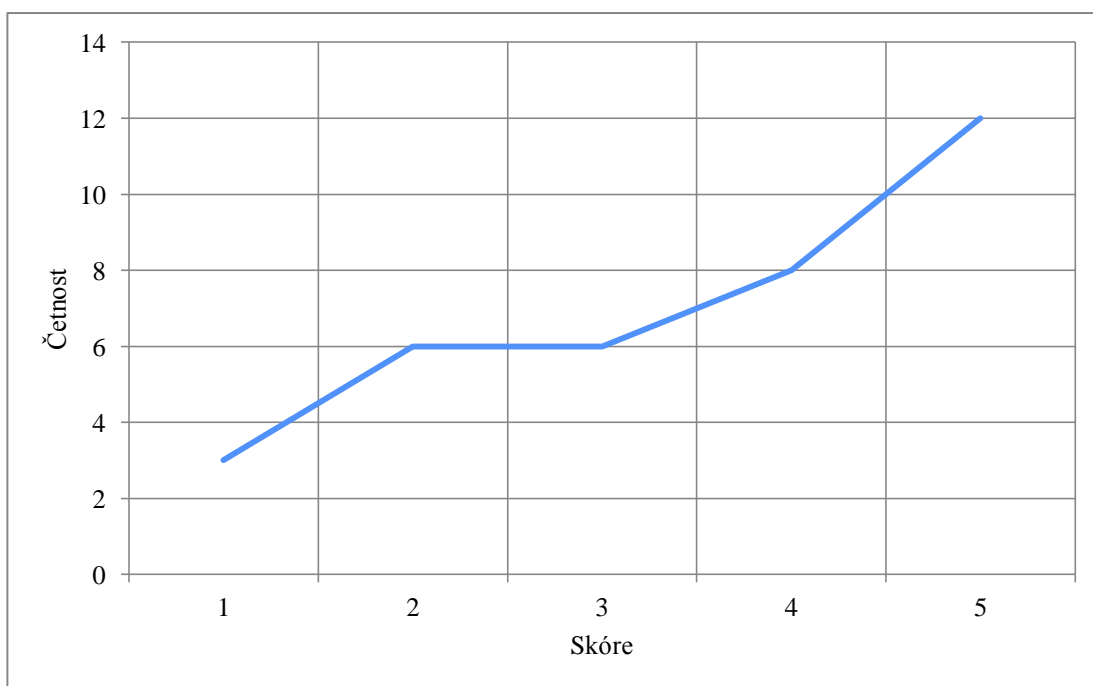


Graf 14: Závislost celkového uděleného skóre všech respondentů pro modrou a červenou barvu v závislosti na intenzitě osvětlení vyšetřovny

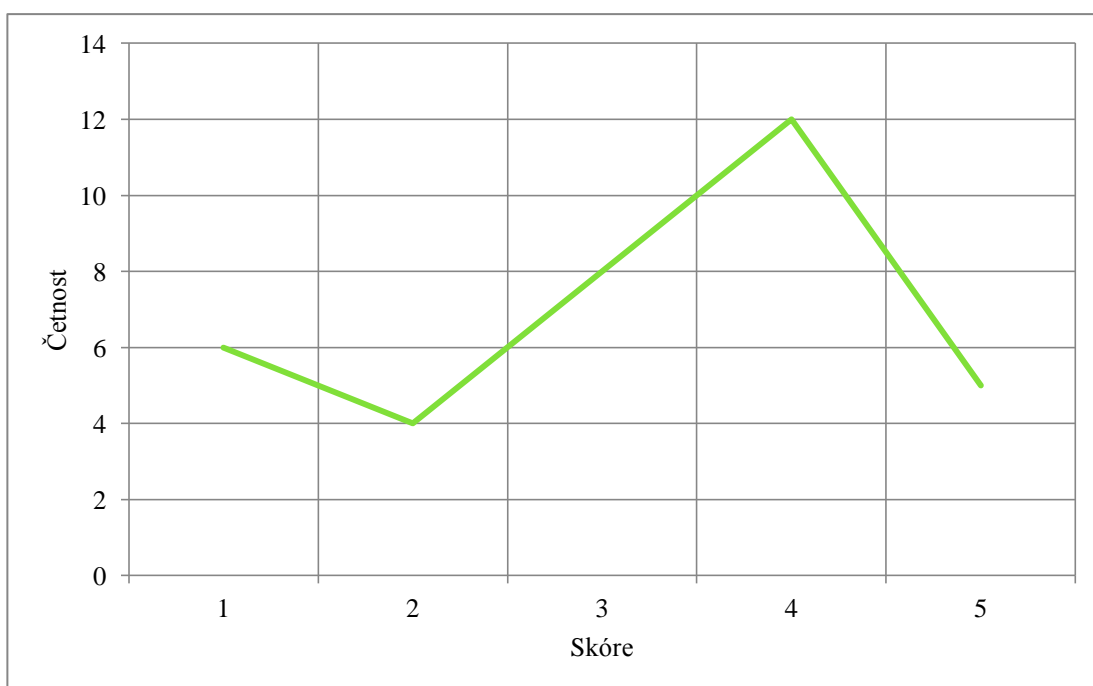
V grafech této sekce byla hodnocena závislost celkového skóre uděleného všemi zúčastněnými vyšetřovanými osobami na intenzitě osvětlení prostoru vyšetřovny.

Z grafu č. 8, který vyjadřuje závislosti všech pěti barev na změně intenzity osvětlení, je možné vyčíst, že modrá a žlutá barva byly hodnoceny nejhůře. Z grafu pro modrou barvu (graf č. 9) je patrné, že při vyšších intenzitách osvětlení byla barva vnímána hůře, než při osvětlením nižším. Zelená barva (graf č. 10) byla také při vyšších intenzitách osvětlení vnímána hůře, než při osvětlením nižším, ovšem oproti modré barvě dosáhla lepšího celkového hodnocení. Žlutá barva (graf. 11) byla lépe vnímána při vyšších intenzitách osvětlení, ale i tak její celkové dosažené skóre bylo oproti dalším 4 barvám nejvyšší, a proto tedy byla vnímána ze všech nejhůře. Barva oranžová (graf č. 12) byla ze 75 % měření subjektivně hodnocena jako nejlépe vnímaná. Graf č. 13 vyjadřující hodnocení barvy červené ukazuje, že tato barva byla lépe hodnocena při vyšších intenzitách osvětlení. Graf č. 14 poskytující srovnání hodnocení modré a červené barvy dokazuje, že celkového hlediska, při všech osmi zvolených hladinách osvětlení, byla modrá barva hodnocena hůře než červená.

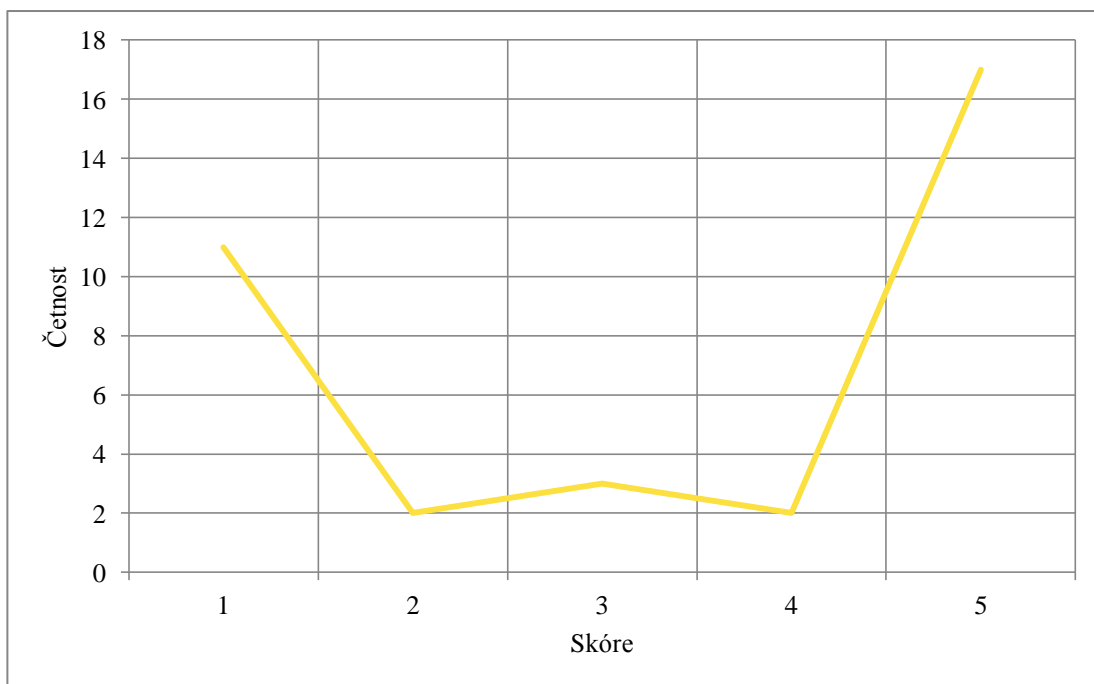
Pro doplnění jsou zde umístěny i grafy vyjadřující závislost četnosti na skóre uděleném pro každou vybranou barvu. Četnost vyjadřuje, kolikrát byla daná barva při různých intenzitách osvětlení hodnocena skórem 1-5 oproti zbývajícím čtyřem barvám při téže intenzitě osvětlení. Jsou zde umístěny grafy pro intenzitu osvětlení 310 lx, což je hladina osvětlení dána normami platné pro osvětlení očních vyšetřoven, ostatní výsledky pro zbývající intenzity osvětlení jsou opět uvedeny v příloze na CD-ROMu.



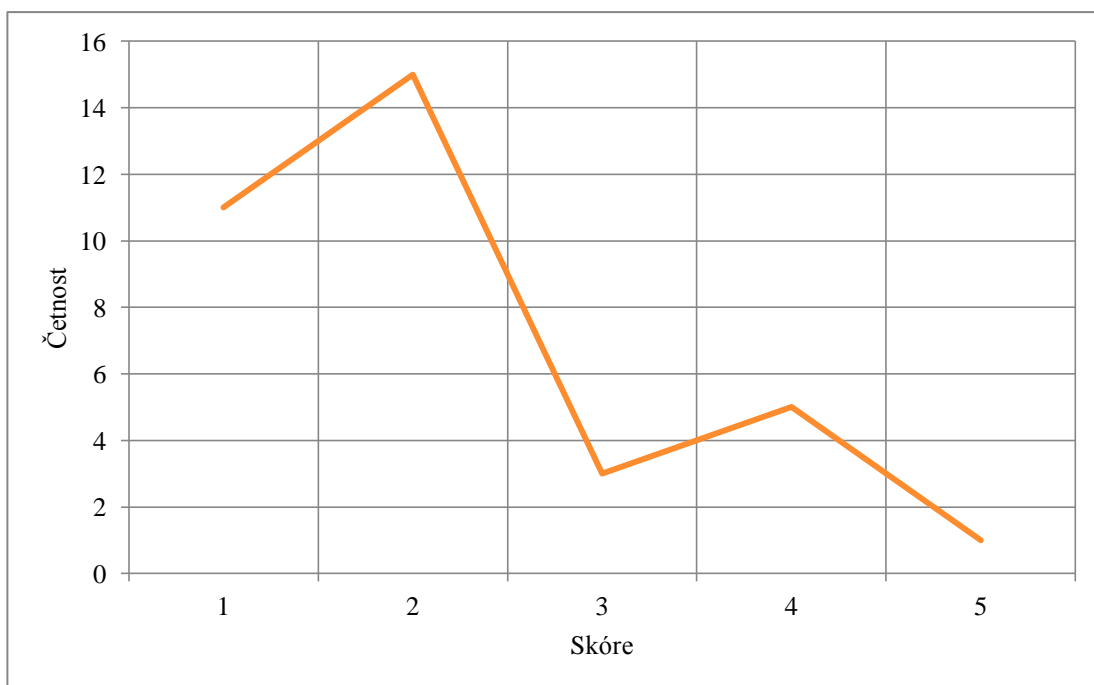
Graf 15: Závislost četnosti na uděleném skóre pro modrou barvu



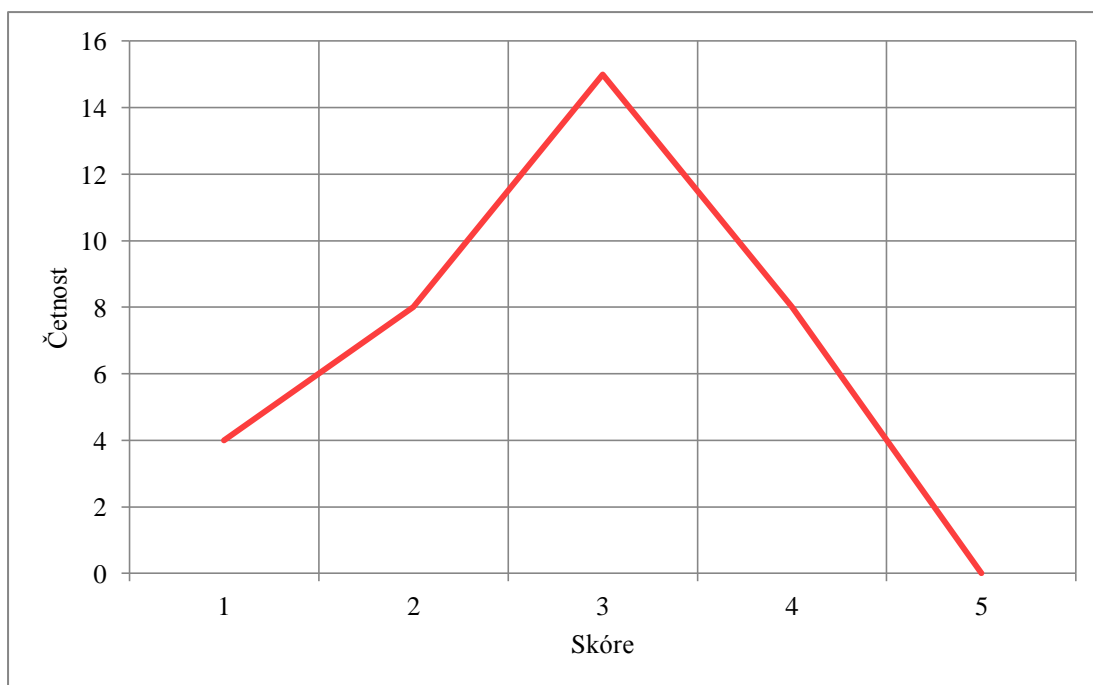
Graf 16: Závislost četnosti na uděleném skóre pro zelenou barvu



Graf 17: Závislost četnosti na uděleném skóre pro žlutou barvu



Graf 18: Závislost četnosti na uděleném skóre pro oranžovou barvu



Graf 19: Závislost četnosti na uděleném skóre pro červenou barvu

Závislost četnosti na skóre uděleném všemi respondenty pro každou vybranou barvu vyjadřují grafy č. 15, 16, č. 17, č. 18 a graf č. 19. Křivka grafu č. 15 vyjadřuje, že při intenzitě osvětlení 310 lx byla modrá barva ve vztahu k ostatním barvám nejčastěji ohodnocena skórem 5, z celkového počtu vyšetřovaných osob ji 35% respondentů při této intenzitě osvětlení vnímalo nejhůře. Z následujícího grafu, křivka zelené barvy, je patrné, že tato barva byla při intenzitě 310 luxů nejčastěji hodnocena oproti dalším barvám jako druhá nejhůře vnímaná a hodnocená. Skóre 4 jí přidělilo 35 % respondentů. Barva žlutá (graf č. 17) při intenzitě osvětlení 310 lx byla vnímána ještě hůře než barva modrá, skóre 5 jí přidělilo 49% respondentů. Oproti tomu barva oranžová (graf č. 18) byla nejčastěji hodnocena skórem 2 a 1 oproti dalším barvám. Skóre 2 jí při hodnotě 310 lx přidělilo 43% respondentů, skóre 5 jí při téže hodnotě přidělila pouze jedna vyšetřovaná osoba. Poslední z pěti pozorovaných barev, barva červená (graf č. 19) byla oproti jiným barvám nejčastěji hodnocena při intenzitě osvětlení 310 lx skórem 3, a to 43% respondentů. Skóre 5 jí při téže intenzitě osvětlení nebylo uděleno vůbec.

14.6. Souhrn

Náplní první části výzkumu bylo zjistit, zda při poklesu intenzity osvětlení dojde ke zhoršení zrakové ostrosti. Měření bylo prováděno ve dvou modifikacích.

V počáteční fázi toho experimentu jsem zkoumala, zda dojde ke zhoršení vízu při standardních podmínkách, tj. rozsvěceném optotypu. Bylo zjištěno, že za této situace změna okolního osvětlení nemá vliv na pokles vízu. Průměrný binokulární vízus všech zúčastněných respondentů klesl při změně intenzity osvětlení ze 430 lx na 30 lx z hodnot vízu 1,25 na 1,24, což se ve kvalitě vidění prakticky nijak neprojevilo.

Náplní modifikovaného experimentu bylo zjistit, zda dojde ke zhoršení vízu v případě, že optotyp zhasneme a bude měněna hodnota okolního osvětlení, abychom nasimulovali situaci, kdy zjišťujeme vízus za pomoci optotypu tištěného. Shrnutím výsledků bylo zjištěno, že průměrný binokulární vízus všech respondentů klesne při postupném snižování intenzity osvětlení ze 430 lx na 30 lx z hodnot 1,24 na 1,04.

Porovnáme-li výsledky měření obou těchto částí, můžeme říci, že rozdíl hodnot vízu při intenzitě osvětlení okolního prostředí 30 lx je 0,2.

Z dosažených výsledků jsme dále zjistili, že u emetropů rozdíl v průměrných hodnotách vízu při intenzitě osvětlení 30 lx při rozsvěceném a zhasnutém optotypu činí 0,13, u myopů 0,3, u hypermetropů 0,15 a u vyšetřovaných osob s astigmatismem 0,21. Z toho vyplývá, že u zkoumaných osob, u kterých byla diagnostikována myopie, dochází k nejvýraznějšímu poklesu zrakové ostrosti.

Výsledky výzkumu potvrdily nulovou hypotézu: "Zraková ostrost se v závislosti na poklesu intenzity osvětlení snižuje" pouze v případě, že ve vyšetřovně nasimulujeme situaci, kdy zkoumáme zrakovou ostrost na tištěných optotypech. V případě rozsvěceného optotypu signifikantní rozdíl hodnoty vízu v závislosti na hodnotě osvětlení vyšetřovny nalezen nebyl.

V druhé oblasti výzkumu jsem za pomoci pětice pastelek zkoumala, zda se změna intenzity osvětlení místnosti projeví na subjektivním vnímání a hodnocení pestrosti barev.

Z výsledku je patrné, že při postupné změně osvětlení byla všemi pokusnými osobami nejlépe subjektivně hodnocena barva oranžová, jelikož její průměrné udělené celkové skóre (vypočítané jako průměr z celkového součtu jednotlivých skóre pro všechny použité hladiny osvětlení) činí 84,6. Za ní následovala barva červená s průměrným celkovým skóre 93,75, poté barva zelená s průměrnými hodnotami 103,5, následně barva modrá s průměrným celkovým skóre 121. V celkové klasifikaci byla nejhůře subjektivně vnímána barva žlutá, a to s průměrnou hodnotou celkového skóre 122,2.

Naměřené hodnoty ukazují, že barva oranžová je z osmi variant osvětlení hodnocena nejlépe při 320 lx, naopak nejhůře při 30 lx. Barva červená byla také nejlépe vnímána při

320 lx a nejhůře při 145 lx. Zelená barva dosáhla nejvyššího celkového skóre při 30 lx, a naopak nejmenšího celkového skóre při 320 lx. Barva modrá byla respondenty, stejně jako zelená barva, nejlépe hodnocena při 30 lx, nejhůře při 430 lx. Poslední z pětice barev, barva žlutá, dopadla v celkovém skóre následovně: při 430 lx byla hodnocena nejlépe, při 320 lx nejhůře.

Pro doplnění byl do výsledků výzkumu zařazen i graf, vyjadřující vzájemné porovnání subjektivního vnímání a hodnocení modré a červené barvy, tedy vyjadřující Purkyňův jev. Naměřená data platnost tohoto jevu potvrdila.

Závěrem můžeme říci, že počáteční hypotéza: „Subjektivní vnímání a hodnocení pestrosti barev se vlivem změny intenzity osvětlení mění“, byla dokázána.

14.7. Diskuze

Odborná literatura pocházející z konce 19. století udává, že se zraková ostrost v závislosti na změně intenzity osvětlení mění. Toto tvrzení podpořila na konci 90. let 20. století studie, kterou publikovali H. P. Wozniak, M. Kelly, S. Glover, N. D. Moss v odborném časopise *Australian Orthoptic Journal* v článku nazvaném „The effect of room illumination on visual acuity measurement“.

Na rozdíl od výše uvedené studie, Ai-Hong Chen ve své publikaci s názvem „Comparison of subjective refraction findings in two different levels of room illumination using free type of letter chart“ z roku 2010, zveřejnila výsledky výzkumu, který dokazuje, že intenzita osvětlení ani použité testové značky nemají vliv na subjektivní refrakci.

Můj experiment se sice přiklání k výsledkům z konce 20. století, nutno je však podotknout, že počet zkoumaných osob dosáhl pouze čísla 35 a nabízí se tedy myšlenka, že v případě většího počtu respondentů mohou být výsledky zcela odlišné. Přes všechny dohady se na základě svého praktického měření přikláním ovšem k názoru, že snižující se intenzita osvětlení opravdu negativně působí na zrakovou ostrost.

Co se týče barevného vjemu, nemohu povést srovnání z žádné publikace, jelikož se v mém případě nejednalo o vyšetření barvocitu, ale o ryze subjektivní pocity respondentů. Teorie barevného vidění říká, že lidské oko je nejcitlivější pro žlutozelenou, popř. žlutou barvu viditelného spektra a ve skotopickém pásmu je maximální citlivost pro modrozelenou barvu. Moje měření sice nepotvrdilo, že žlutá barva byla pro mé respondenty nejlépe vnímána, přesto však výsledky mého výzkumu barevné teorii neoponují. Zkoumané osoby, které se zúčastnili mého výzkumu, nejlépe hodnotili barvu oranžovou. Ta se ve viditelném spektru

světla nachází za barvou žlutou. Vzhledem k tomu, že test vnímání barev byl prováděn, ne zcela sofistikovaně, na barevných pastelkách, a ne v laboratorních podmínkách, lze závěrem říci, že odchylka od vnímání dle teorie barevného vidění není příliš výrazná.

Jako důkaz tohoto tvrzení bych uvedla příklad z praktického života, kdy z důvodu bezpečnosti jsou i reflexní vesty, které jsou nedílnou součástí výbavy každého motoristy, vyráběny z oranžové látky. Pokud zůstaneme v motoristické oblasti, dalším příkladem může být i to, že červené vozy jsou na pozemní komunikaci považovány za nejlépe postřehnutelné. Přednostní vnímání červené, zelené a oranžové barvy osobami během mnou provedených experimentů je v korelaci i s například léty prověřeným spektrálním zastoupením barev na světelných signálních zařízeních (semafor, zabezpečení železničních přejezdů, etc.)

15. ZÁVĚR

V rámci provedených experimentů, které jsou součástí předkládané diplomové práce, byla testována závislost vlivu měnící se intenzity osvětlení okolního prostředí, vyšetřovny, na zrakovou ostrost a subjektivní vnímání a hodnocení barev. Z výsledků výzkumu vyplynulo, že při snížení intenzity osvětlení dochází zvláště u ametropů a zejména pak myopů, k výraznějšímu zhoršení vízu. Naopak emetropičtí probandi žádné zhoršení nezaznamenali. Důležitou skutečností je tedy prokázání vlivu intenzity osvětlení na změnu zrakové ostrosti, a to v případě, že je k stanovení subjektivní refrakce použit optotyp bez vlastního osvětlení.

V oblasti vnímání barev byla nalezena závislost mezi subjektivním hodnocením vnímání různých barev a hodnotou intenzity osvětlení prostředí. Z testovaných barev byla testovanými osobami jako nejlépe vnímaná barva oranžová, která při všech zvolených intenzitách osvětlení dosáhla vždy nejlepšího průměrného celkového skóre. Během provedených pokusů byl také potvrzen tzv. Purkyňův jev.

Provedené experimenty prokázaly vliv intenzity osvětlení na kvalitu výsledků při subjektivním vyšetření vízu, a proto je tedy nutno dodržovat standardní podmínky dané legislativou, pro zdravotnické zařízení jsou platné normy ČSN EN 12464-1 Světlo a osvětlení-Osvětlení pracovních prostorů. Při nedodržení standardizovaných hodnot nemusejí tak být opakovaná a nesoumírná měření vzájemně srovnatelná.

Seznam použité literatury:

[1]KVAPILÍKOVÁ, Květa. *Anatomie a embryologie oka*, první vydání, Brno: Institut pro další vzdělávání pracovníků ve zdravotnictví v Brně, 2000, 206 s. ISBN 80-7013-313-9.

[2]ROZSÍVAL, Pavel, et al. *Oční lékařství*. První vydání. Praha: Galén a Univerzita Karlova v Praze, 2006, 373 s. ISBN 80-7262-404-0.

[3]ŘEHÁK, Jiří, REHÁK, Matúš, et al. *Venózní okluze sítnice*. Praha: Grada Publishing, a.s., 2011, 144 s. ISBN 978-80-247-3480-4.

[4]KUCHYŇKA, Pavel et al. *Oční lékařství*. Praha: Grada publishing, a.s., 2007, 812. ISBN 978-80-247-1163-8

[5]HABEL, Jiří et al. *Světelná technika a osvětlování*. Praha: FCC Public, s.r.o., 1995, 448 s. ISBN 80-901985-0-3.

[6]KOLÍN, Jan et al. *Oftalmologie praktického lékaře*. Praha: Karolinum, 1994, 276 s. ISBN 80-7066-861-X.

[7]DOSTÁL, Jiří, Hana PAULOVÁ, Jiří SLANINA a Eva TÁBORSKÁ. *Biochemie pro bakaláře*. Brno: Masarykova univerzita, 2005, 176 s. ISBN 80-210-3232-4.

[8]SILBERNAGL, Stefan, DESPOPOULOS Agamemnon. *Atlas fyziologie člověka*. 6. vydání. Praha: Grada publishing, a.s., 2004, 448 s. ISBN 80-247-0630-X.

[9]Biochemie procesu vidění. In: *Wikiskripta* [online]. Hradec Králové, 2010, 21. 11. 2012 [cit. 2013-02-08]. Dostupné na WWW:
http://www.wikiskripta.eu/index.php/Biochemie_procesu_vid%C4%9Bn%C3%AD

[10]MATOUŠ, Bohuslav et al. *Základy lékařské chemie a biochemie*. Praha: GALÉN, 2010, 540 s. ISBN 978-80-7262-702-8

[11]WALD, George. The biochemistry of vision[online], 1953[cit. 2013-02-08]. Dostupné z WWW:<http://www.annualreviews.org/doi/abs/10.1146/annurev.bi.22.070153.002433?journalCode=biocchem>

[12]JUREČKA, Tomáš. *Fyziologie oka*. [s. 1.]. 459 s. Přednáška. Masarykova univerzita, Lékařská fakulta.

[13]KALLONIATIS, Michael a Charles LUU. Light and Dark Adaptation. In: *Webvision: The Organization of the Retina and Visual System* [online]. 2007, 2011 [cit. 2013-02-08]. Dostupné z WWW: <http://webvision.med.utah.edu/book/part-viii-gabac-receptors/light-and-dark-adaptation/>

[14]HECHT, Selig. Human retina adaptation. In: [online]. 1920 [cit. 2013-02-13]. Dostupné z WWW: <http://www.jstor.org/stable/83953>

[15]Oslnění. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikipedia Foundation, 2007, 7. 8. 2011 [cit. 2013-02-8]. Dostupné z WWW: <http://cs.wikipedia.org/wiki/Osln%C4%9Bn%C3%AD>

[16]ČANSKÁ, Monika. Několik poznámek k osvětlení pracovišť: Illumination at the workplace. *České pracovní lékařství* [online]. 2006, 1. Dostupný z WWW: http://www.tigis.cz/images/stories/CESKE_PRACOVNI_LEKARSTVI/2006/01/06_Canska_web.pdf

[17]MACHÁČEK, Pavel. *Osvětlení a slabozrakost: Jak správně svítit a vytvořit vhodné podmínky pro slabozrakého člověka*. Praha: Tyfloservis, 2002, 48 s. ISBN 80-238-9231-2.

[18]ANTON, Milan. Nové poznatky o zrakové ostrosti. *Česká oční optika*, 2006, ročník 47, č. 4, s. 16-17. ISSN 1211-233X

[19]COLENBRANDER, August. Measuring Vision and Vision Loss. In: *The Smith-Kettlewell eye research insitute* [online]. 2001 [cit. 2013-02-28]. Dostupné z WWW: http://www.ski.org/Colenbrander/Images/Measuring_Vis_Duane01.pdf

[20]RUTRLE, Miloš. *Brylová optika*, druhé přepracované vydání, Brno: Institut pro další vzdělávání pracovníků ve zdravotnictví v Brně, 1993, 144 s. ISBN 80-7013-145-4.

[21]POLÁŠEK, J., et al. *Technický sborník oční optiky*, první vydání, Praha: SNTL, 1975, 580 s.

[22]RUTRLE, Miloš. *Přístrojová optika*, první vydání, Brno: Institut pro další vzdělávání pracovníků ve zdravotnictví v Brně, 2000, 189 s. ISBN 80-7013-301-5.

- [23]ANTON, Milan. *Refrakční vady a jejich vyšetřovací metody*, 3. přepracované vydání, Brno: Národní centrum ošetřovatelství a nelékařských zdravotnických oborů, 2004, 96 s. ISBN 80-7013-402-X.
- [24]KRAUS, Hanuš, et al. *Kompendium očního lékařství*, první vydání, Praha: Grada Publishing, spol. s r.o., 1997, 360 s. ISBN 80-7013-079-1
- [25]ČSN EN ISO 8596 195002. *Oční optika-Zkouška zrakové ostrosti-Normalizovaný optotyp a jeho zobrazení*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2009, 16 s.
- [26]AUTRATA, Rudolf; VANČUROVÁ, Jana. *Nauka o zraku*, první vydání, Brno: Institut pro další vzdělávání pracovníků ve zdravotnictví v Brně, 2002, 226 s. ISBN 80-7013-362-7.
- [27]KVAPILÍKOVÁ, Květa. *Práce a vidění*. Brno: Institut pro další vzdělávání pracovníků ve zdravotnictví v Brně, 1999, 122 s. ISBN 80-7013-275-2.
- [28]HRAZDIRA, Ivo a Vojtěch MORNSTEIN. *Lékařská biofyzika a přístrojová technika*. Brno: Neptun, 2001, 396 s. ISBN 80-902896-1-4.
- [29]HROMÁDKOVÁ, Lada. *Šilhání*, druhé doplněné vydání, Brno: Institut pro další vzdělávání pracovníků ve zdravotnictví v Brně, 1995, 163 s. ISBN 80-7013-207-8.
- [30]KALUS, René. *Trivium z optiky*. Ostrava: Přírodovědecká fakulta OU, 2004, 107s. ISBN 80-7042-999-2.
- [31]JEXO VÁ, Soňa. *Geometrická optika*, Brno: Národní centrum ošetřovatelství a nelékařských zdravotnických oborů, 2010, 218 s. ISBN 80-7013-521-2.
- [32]MALÍŠEK, Vladimír. *Co víte o dějinách fyziky*, první vydání, Praha: Horizont, 1986, 272 s.
- [33]WILLIAMS, Bill. A History of Light and Lighting. In: *Professional Lighting Resources* [online]. 1990, 1999 [cit. 2012-11-22]. Dostupné z WWW: <http://www.mts.net/~william5/history/hol.htm>
- [34]ŠTOLL, Ivan. *Svět očima fyziky*, Praha: Prometheus, 1996, 256 s. ISBN 80-85849-89-5.
- [35]SVOBODA, Emanuel et al. *Přehled středoškolské fyziky*, Praha: Prometheus, 2008, 532 s. ISBN 978-80-7196-307-3.

[36]REICHL, Jaroslav a VŠETIČKA. *Encyklopedie fyziky* [online]. 2006 [cit. 2012-11-22].

Dostupné z WWW: <http://fyzika.jreichl.com/>

[37]LIBRA, Martin, ŠTĚRBA, Jan, BLÁHOVÁ, Ilona, Fyzikální podstata světla. In: *Světlo: časopis pro světelnou techniku a osvětlování* [online], 2000 [cit. 2012-11-25].

Dostupné z WWW: http://www.odbornecasopisy.cz/index.php?id_document=22854

[38]KRYNICKÝ, Martin. *Radiometrické a fotometrické veličiny* [online]. 2010, 29. 8. 2010 [cit. 2012-11-22]. Dostupné z WWW:

<http://www.realisticky.cz/ucebnice/02%20Fyzika%20S%C5%A0/05%20Optika/04%20Elektromagnetick%C3%A9%20z%C3%A1%C5%99en%C3%AD/06%20Radiometrick%C3%A9%20a%20fotometrick%C3%A9%20velic%C4%8Diny.pdf>

[39]*Měření osvětlení* [online]. Zlín: Laboratorní cvičení z Environmentální fyziky, Univerzita Tomáše Bati, 2009, 17. 3. 2011 [cit. 2012-11-22].

Dostupné z WWW: http://ufmi.ft.utb.cz/texty/env_fyzika/EF_lab_04.pdf

[40] *Měření osvětlení* [online]. Praha: Návodů na cvičení, Elektrotechnická fakulta ČVUT, 2005, 11. 5. 2005 [cit. 2012-11-22]. Dostupné z WWW:

<http://www.micro.feld.cvut.cz/home/X34SES/cviceni/Navody%20na%20cviceni/06.Mereni%20osvetleni.pdf>

[41]Radiometrické veličiny. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001, 23. 10. 2012 [cit. 2012-11-22].

Dostupné z WWW: http://cs.wikipedia.org/wiki/Radiometrick%C3%A9_velic%C4%8Diny

[42]Fotometrické veličiny. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001, 30. 7. 2012 [cit. 2012-11-22].

Dostupné z WWW: http://cs.wikipedia.org/wiki/Fotometrick%C3%A9_velic%C4%8Diny

[43]ANTON, Milan. Co je to barva?, *Česká oční optika*, 2006, ročník 47, č. 1, s. 28-30. ISSN 1211-233X

[44] Fotoelektrický jev. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2005, 3. 2. 2013 [cit. 2013-03-01]. Dostupné z WWW:

http://cs.wikipedia.org/wiki/Fotoelektrick%C3%BD_jev

- [45] JEDLIČKA, Miroslav. *Fotoelektrický jev*. 1. vyd. Praha: SNTL - Nakladatelství technické literatury, 1975, 203 s.
- [46] Zářivka. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2004, 8. 3. 2013 [cit. 2013-03-03]. Dostupné z WWW: <http://cs.wikipedia.org/wiki/Z%C3%A1%C5%99ivka>
- [47] KÖNIG, Holger a Peter ERLACHER. *Neviditelná hrozba?: Elektromagnetická pole kolem nás*. Ostrava: HEL, 2001. ISBN 80-86167-15-1
- [48] VRBÍK, Petr. *Hygiena optického zařízení a osvětlování*. 1. vyd. Brno: Institut pro další vzdělávání pracovníků ve zdravotnictví, 1998, 139 s. ISBN 8070132655.
- [49] SADSKÝ, Jaroslav. *Osvětlování zdravotnických zařízení* [online], 2007 [cit. 2013-03-03], Dostupné z WWW: <http://www.cez.cz/edee/content/file/vzdelavani/soutez/sadsky.pdf>
- [50] HECHT, Selig. The relation between visual acuity and illumination [online]. 1927 [cit. 2013-03-01]. Dostupný z WWW: <<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC2140971/pdf/255.pdf>>.
- [51] WILCOX, Warren Wesley. The basic of the dependence of visual acuity on illumination. In: *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* [online]. 1931 [cit. 2013-03-1]. Dostupné z WWW: <http://www.pnas.org/content/18/1/47.full.pdf+html>
- [52] WOZNIAK, Helena P., et al. The effect of room illumination on visual acuity measurement. *Australian Orthoptic Journal* [online]. 1999, Vol. 34 [cit. 2013-03-1] Dostupný také z WWW: <http://search.informit.com.au/documentSummary;dn=402367049153726;res=IELHEA>
- [53] CHEN, Ai-Hong, et al. Comparison of Subjective refraction findings in two different levels of room illumination using three different types of letter charts. *Indian journal of ophthalmology* [online]. 2010 [cit. 2013-03-1] Dostupný z WWW: <http://210.101.116.28/W_kiss5/31800940_pv.pdf>.
- [54] MONZER, Ladislav. Umělé osvětlení v obytných prostorech 1. část: Úvod. *Světlo: časopis pro světelnou techniku a osvětlování* [online]. 2002, č. 02 [cit. 2013-03-02]. Dostupné z WWW: http://www.odbornecasopisy.cz/index.php?id_document=22942

[55] MONZER, Ladislav. Umělé osvětlení v obytných prostorech 4. část: Světlo, barva a barevné vidění. *Světlo: časopis pro světelnou techniku a osvětlování* [online]. 2003, č. 02 [cit. 2013-03-02]. Dostupné z WWW: http://www.odbornecasopisy.cz/index.php?id_document=23077

[56] Barevná teplota. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2005 [cit. 2013-03-01]. Dostupné z: http://cs.wikipedia.org/wiki/Barevn%C3%A1_teplota

[57] Cones and Color Vision. In: *National Center for Biotechnology Information* [online]. 2001 [cit. 2013-03-01]. Dostupné z WWW: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK11059/>

Seznam použitých obrázků:

Obrázek 1:Struktura sítnice:

<http://www.vetmed.vt.edu/education/curriculum/vm8054/eye/retina.htm>

Obrázek 2:Stavba fotoreceptoru: DOSTÁL, Jiří, Hana PAULOVÁ, Jiří SLANINA a Eva TÁBORSKÁ. *Biochemie pro bakaláře*. Brno: Masarykova univerzita, 2005, 176 s. ISBN 80-210-3232-4

Obrázek 3:Rhodopsinový cyklus: DOSTÁL, Jiří, Hana PAULOVÁ, Jiří SLANINA a Eva TÁBORSKÁ. *Biochemie pro bakaláře*. Brno: Masarykova univerzita, 2005, 176 s. ISBN 80-210-3232-4

Obrázek 4:Průběh biochemických reakcí: DOSTÁL, Jiří, Hana PAULOVÁ, Jiří SLANINA a Eva TÁBORSKÁ. *Biochemie pro bakaláře*. Brno: Masarykova univerzita, 2005, 176 s. ISBN 80-210-3232-4

Obrázek 5:Průběh adaptace: SILBERNAGL, Stefan a Agamemnon DESPOPOULOS. *Atlas fyziologie člověka*. 6. vydání. Praha: Grada publishing, a.s., 2004, 448 s. ISBN 80-247-0630-X.

Obrázek 6:Rozlišovací práh a intenzita světla: SILBERNAGL, Stefan a Agamemnon DESPOPOULOS. *Atlas fyziologie člověka*. 6. vydání. Praha: Grada publishing, a.s., 2004, 448 s. ISBN 80-247-0630-X.

Obrázek 7:Změna velikosti pupily: SILBERNAGL, Stefan a Agamemnon DESPOPOULOS. *Atlas fyziologie člověka*. 6. vydání. Praha: Grada publishing, a.s., 2004, 448 s. ISBN 80-247-0630-X.

Obrázek 8:Vliv světla na fotoreceptory: SILBERNAGL, Stefan a Agamemnon DESPOPOULOS. *Atlas fyziologie člověka*. 6. vydání. Praha: Grada publishing, a.s., 2004, 448 s. ISBN 80-247-0630-X.

Obrázek 9:Prostorová sumace: SILBERNAGL, Stefan a Agamemnon DESPOPOULOS. *Atlas fyziologie člověka*. 6. vydání. Praha: Grada publishing, a.s., 2004, 448 s. ISBN 80-247-0630-X.

Obrázek 10:Časová sumace: SILBERNAGL, Stefan a Agamemnon DESPOPOULOS. *Atlas fyziologie člověka*. 6. vydání. Praha: Grada publishing, a.s., 2004, 448 s. ISBN 80-247-0630-X.

Obrázek 11:Rozdělení zrakové ostrosti na sítnici: HABEL, Jiří et al. *Světelná technika a osvětlování*. Praha: FCC Public, s.r.o., 1995, 448 s. ISBN 80-901985-0-3.

Obrázek 12:Snellenovy optotypy: POLÁŠEK, J., et al. *Technický sborník oční optiky*, první vydání, Praha: SNTL, 1975, 580 s.

Obrázek 13:Landoltův kruh: <http://homepage2.nifty.com/taki-forest/intelligence/intell-09.html>

Obrázek 14:Pflügerovy háky: http://www.detskaoptika.cz/deti-a-silhani_n6.html

Obrázek 15:Chromatická aberace :

http://www.techmania.cz/edutorium/art_exponaty.php?xkat=fyzika&xser=4f7074696b61h&key=731

Obrázek 16:Sférická aberace:

http://www.techmania.cz/edutorium/art_exponaty.php?xkat=fyzika&xser=4f7074696b61h&key=731

Obrázek 17:Úhel alfa: ANTON, Milan. *Refrakční vady a jejich vyšetřovací metody*, 3. přepracované vydání, Brno: Národní centrum ošetřovatelství a nelékařských zdravotnických oborů, 2004, 96 s. ISBN 80-7013-402-X.

Obrázek 18:Úhel gama: ANTON, Milan. *Refrakční vady a jejich vyšetřovací metody*, 3. přepracované vydání, Brno: Národní centrum ošetřovatelství a nelékařských zdravotnických oborů, 2004, 96 s. ISBN 80-7013-402-X.

Obrázek 19:Úhel kappa: ANTON, Milan. *Refrakční vady a jejich vyšetřovací metody*, 3. přepracované vydání, Brno: Národní centrum ošetřovatelství a nelékařských zdravotnických oborů, 2004, 96 s. ISBN 80-7013-402-X.

Obrázek 20:Výskyt ametropií v populaci: KVAPILÍKOVÁ, Květa. *Práce a vidění*. Brno: Institut pro další vzdělávání pracovníků ve zdravotnictví v Brně, 1999, 122 s. ISBN 80-7013-275-2.

Obrázek 21:Znázornění procesu šíření vlnění v daném prostředí:

http://www.gymhol.cz/projekt/fyzika/01_uvod/image017.jpg

Obrázek 22:K výkladu Huygensova principu: <https://sites.google.com/site/fyzika007/mechanicke-kmitani-a-vlneni/vlneni-v-izotropnim-prostredi-huygensuav-princip>

Obrázek 23:K výkladu Youngova pokusu:

http://www.astarmathsandphysics.com/ib_physics_notes/waves_and_oscillations/ib_physics_notes_youngs_double_slit_experiment.html

Obrázek 24:Spektrum elektromagnetického záření:

http://fld.czu.cz/vyzkum/nauka_o_lp/chemie/chemie.html

Obrázek 25:Křivky poměrné spektrální citlivosti zraku k záření různých vlnových délek pro různé adaptační jasy La: HABEL, Jiří et al. *Světelná technika a osvětlování*. Praha: FCC Public, s.r.o., 1995, 448 s. ISBN 80-901985-0-3.

Obrázek 26:Znázornění prostorového úhlu: <http://artemis.osu.cz/voptp/skriptum/kap06.pdf>

Obrázek 27:Znázornění principu mísení 3 základních barev:

<http://www.samotarka.cz/1987/01/Svet-barev.html>

Obrázek 28:Komplementární barvy: <https://sites.google.com/site/pogpocitacovagrafika/our-company>

Obrázek 29:Citlivost lidského oka na barvy: <http://www.fotografovani.cz/fotopraxe/zakladni-postupy1/barva-a-vyvazeni-bile-1-barva-a-jeji-obraz-v-pc-151818cz>

Obrázek 42: Průběh elektromagnetické vlny:

http://www.gymhol.cz/projekt/fyzika/11_elmag/11_elmag.htm

Obrázek 31:Schéma fotoefektu: http://cs.wikipedia.org/wiki/Fotoelektrick%C3%BD_jev

Obrázek 32:Elektrický obvod s fotonkou: SVOBODA, Emanuel et al. *Přehled středoškolské fyziky*, Praha: Prometheus, 2008, 532 s. ISBN 978-80-7196-307-3.

Obrázek 33: Základní rozdělení elektrických světelných zdrojů používaných pro všeobecné osvětlení: HABEL, Jiří et al. *Světelná technika a osvětlování*. Praha: FCC Public, s.r.o., 1995, 448 s. ISBN 80-901985-0-3.

Obrázek 34: Luxmetr PU 550: <http://www.metra.cz/merici-technika/merici-pristroje/revizni-pristroje/luxmetry/luxmetr-s-cislicovou-indikaci-pu-550/>

Obrázek 35: Graf závislosti zrakové ostrosti na osvětlení:

<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC2140971/pdf/255.pdf>

Obrázek 36: Graf závislosti vízu na osvětlení:

<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC2140971/pdf/255.pdf>

Obrázek 37: Graf závislosti aktivních tyčinek (rods) a čípků (cones) na hladině osvětlení:

<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC2140971/pdf/255.pdf>

Obrázek 38: Relativní počet aktivních počet tyčinek a čípků ve funkční oblasti sítnice v závislosti na osvětlení: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC2140971/pdf/255.pdf>

Obrázek 39: Graf vyjadřující závislost velikost pupily na jasu:

<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC2140971/pdf/255.pdf>

Obrázek 40: Škála teploty chromatičnosti:

http://cs.wikipedia.org/wiki/Soubor:Color_temperature.svg

Obrázek 41: Spektrální složení denního světla a záření světelných zdrojů: HABEL, Jiří et al. *Světelná technika a osvětlování*. Praha: FCC Public, s.r.o., 1995, 448 s. ISBN 80-901985-0-3.

Seznam tabulek

Tabulka 1: Vyjádření stupně vízu

Tabulka 2: Požadavky na osvětlení

Tabulka 3: Činitel odrazu světelných zdrojů pro tři vlnové délky

Tabulka 4: Osvětlení ve vyšetřovnách (obecně)

Tabulka 5: Osvětlení v očních vyšetřovnách

Tabulka 6: Intenzita osvětlení v obytných budovách

Tabulka 7: Vzorová tabulka pro zápis výsledků

Seznam grafů

Graf 1: Závislost zrakové ostrosti všech zúčastněných respondentů na změně intenzity osvětlení vyšetřovny

Graf 2: Závislost zrakové ostrosti všech zúčastněných respondentů na změně intenzity osvětlení vyšetřovny

Graf 3: Porovnání závislosti zrakové ostrosti všech zúčastněných respondentů na změně intenzity osvětlení vyšetřovny při rozsvíceném a zhasnutém optotypu

Graf 4: Závislost průměrné zrakové ostrosti emetropů na změně intenzity osvětlení vyšetřovny

Graf 5: Závislost průměrné zrakové ostrosti myopů na změně intenzity osvětlení vyšetřovny

Graf 6: Závislost zrakové ostrosti hypermetropů na změně intenzity osvětlení

Graf 7: Závislosti zrakové ostrosti astigmatických respondentů na změně intenzity osvětlení

Graf 8: Závislost celkového uděleného skóre všech respondentů pro všechny vybrané barvy na změně intenzity osvětlení vyšetřovny

Graf 9: Závislost celkového uděleného skóre všech respondentů pro modrou barvu na změně intenzity osvětlení vyšetřovny

Graf 10: Závislost celkového uděleného skóre všech respondentů pro zelenou barvu na změně intenzity osvětlení vyšetřovny

Graf 11: Závislost celkového uděleného skóre všech respondentů pro žlutou barvu na změně intenzity osvětlení vyšetřovny

Graf 12: Závislost celkového uděleného skóre všech respondentů pro oranžovou barvu na změně intenzity osvětlení vyšetřovny

Graf 13: Závislost celkového uděleného skóre všech respondentů pro červenou barvu na změně intenzity osvětlení vyšetřovny

Graf 14: Závislost celkového uděleného skóre všech respondentů pro modrou a červenou barvu v závislosti na intenzitě osvětlení vyšetřovny

Graf 15: Závislost četnosti na uděleném skóre pro modrou barvu

Graf 16: Závislost četnosti na uděleném skóre pro zelenou barvu

Graf 17: Závislost četnosti na uděleném skóre pro žlutou barvu

Graf 18: Závislost četnosti na uděleném skóre pro oranžovou barvu

Graf 19: Závislost četnosti na uděleném skóre pro červenou barvu

Příloha CD-ROM:

Tabulky s naměřenými daty všech respondentů

Grafy vyjadřující závislost:

- zrakové ostrosti na změně intenzity osvětlení vyšetřovny – všichni respondenti, emetropové, myopové, hypermetropové, vyšetřované osoby s astigmatismem
- celkového uděleného skóre pro všechny vybrané barvy na změně intenzity osvětlení vyšetřovny- všichni respondenti, samostatní grafy pro muže a ženy
- celkového uděleného skóre pro modrou, zelenou, žlutou, oranžovou a červenou barvu na změně intenzity osvětlení vyšetřovny- všichni respondenti samostatné grafy pro muže a ženy
- celkového uděleného skóre pro modrou a červenou barvu v závislosti na intenzitě osvětlení vyšetřovny- všichni respondenti, samostatné grafy pro muže a ženy
- četnosti na uděleném skóre pro modrou, zelenou, žlutou, oranžovou a červenou barvu – při všech zvolených intenzitách osvětlení vyšetřovny

Kalibrační protokol luxmetru PU 550