

**ČESKÉ VYSOKÉ  
UČENÍ TECHNICKÉ  
V PRAZE**

**FAKULTA  
BIOMEDICÍNSKÉHO  
INŽENÝRSTVÍ**



**BAKALÁŘSKA PRÁCE**

**2019**

**JEANNETTE  
ORSÁGHOVÁ**



**ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE**

---

**Fakulta biomedicínského inženýrství  
Katedra přírodovědných oborů**

**Vliv světelných podmínek na vyšetření zrakové ostrosti pro různé úrovně  
kontrastu optotypu**

**Influence of light conditions on visual acuity examinations for different  
levels of chart contrast**

Bakalářska práce

Studijní program: Biomedicínská a klinická technika

Studijní obor: Optika a optometrie

**Autor bakalářské práce: Jeannette Orsághová**

Vedoucí bakalářské práce: prof. Ing. Jiří Novák, Ph.D.

---

**Kladno 2019**



## **Název bakalárskej práce:** Vliv světelných podmínek na vyšetření zrakové ostrosti pro různé úrovně kontrastu optotypu

### **Abstrakt:**

Predchádzajúce štúdia poukazujú, že svetelné podmienky predstavujú jeden z faktorov, ktorým je možné ovplyvniť zrakovú ostrosť, kontrastnú citlivosť, hĺbkové videnie a farebné videnie. Zraková úloha zaťažená stupňom zrakovej únavy môže byť považovaná za výsledok nesprávne zvolených svetelých podmienok. Aj keď svetelné podmienky na úrovni mezopického videnia vykazujú zhoršenie zrakovej kvality, štúdia nepoukazujú na štatisticky významné zmeny subjektívnej refrakcie. Hlavným cieľom predkladaného projektu je komplexná analýza svetelných podmienok zahrňujúca definície fotometrických veličín, ISO normy a odporúčania svetelných podmienok pre vyšetrovacie miestnosti z hľadiska charakteristiky fotometrických veličín a následné zhrnutie štúdií zameriavajúcich sa na vplyv svetelných podmienok na zrakové funkcie. V experimentálnej časti práce je prevedená komplexná analýza popisovanej problematiky, ktorá poukazuje na zmeny v korekcii, zrakové ostrosti a rozpoznávaní znakov pri rôznych úrovniach kontrastu v závislosti na svetelných podmienkach.

### **Klíčová slova:**

Fotometrické veličiny, mezopické videnie, svetelné podmienky, zraková ostrosť, kontrast

**Bachelor's Thesis title:** Influence of light conditions on visual acuity examinations for different levels of chart contrast

**Abstract:**

Previous studies suggest that lighting conditions represent one of the factors that can affect visual acuity, contrast sensitivity, stereoscopic and colour vision. The visual task affected by with the degree of visual fatigue can be considered to be the result of improperly selected lighting conditions. Although lighting conditions at the level of mesopic vision show degradation of visual quality, the studies do not indicate statistically significant changes of subjective refraction. The main aim of the presented project is a complex analysis of lighting conditions, including the definitions of photometric quantities, ISO standards and recommendations of lighting conditions for examination rooms in terms of photometric quantities' characteristics, and a subsequent summary of the studies focusing on the influence of lighting conditions on visual functions. In the experimental part of the bachelor thesis there is performed a complex analysis of the studied problem which refers to changes in correction, visual acuity and an ability to recognize different levels of chart contrast for varying lighting conditions.

**Key words:**

Photometric quantities, mesopic vision, lighting conditions, visual acuity, contrast

## **POĎEKOVÁNÍ**

Rada by som touto cestou poďakovala vedúcemu bakalárskej práce prof. Ing. Jiřímu Novákovi, Ph.D., za užitočné rady, smerovania k prínosným záverom a ochotnú spoluprácu. Chcela by som tiež poďakovať svojim rodičom, sestre, partnerovi Petrovi a najbližším príbuzným za podporu, ktorú mi prejavovali počas celej doby štúdia.

## PROHLÁŠENÍ

Prehlasujem, že som bakalársku prácu s názvom „Vliv světelných podmínek na vyšetření zrakové ostrosti pro různé úrovně kontrastu optotypu“ vypracovala samostatne a použila som k tomu úplný zoznam citácií použitých prameňov, ktoré uvádzam v zozname priloženom k bakalárskej práci.

Nemám závažný dôvod proti užitiu tejto školskej práce v zmysle §60 Zákona č.121/2000 Sb., o autorskom práve, o právach súvisiacich s právom autorským a o zmene niektorých zákonov (autorský zákon) v znení neskorších predpisov.

V Kladne dňa .....

.....

podpis

# Obsah

1	Úvod.....	6
2	Základy zrakového vnímania .....	8
2.1	Prechod svetla okom na sietnicu .....	8
2.1.1	Stiles-Crawfordov jav .....	9
2.1.2	Spektrálna citlivosť oka .....	9
2.1.3	Fotopické videnie .....	10
2.1.4	Sktopické videnie .....	10
2.1.5	Mezopické videnie.....	10
2.1.6	Adaptácia na tmu .....	11
2.2	Vzťah medzi fotometrickými a rádiometrickými veličinami .....	12
2.3	Svetelný tok .....	12
2.4	Svietivosť .....	13
2.5	Jas.....	14
2.6	Osvetlenie .....	16
2.7	Svetelný tok na sietnici .....	16
2.8	Expozícia.....	17
2.9	Oslnenie .....	18
2.10	Vnímanie a kvantifikácia farieb .....	18
2.10.1	Teplota farebnosti .....	20
2.10.2	Index podania farieb .....	21
2.11	Metody merania jasú, osvetlenia.....	21
2.11.1	Luxmetry .....	21
2.11.2	Jasomery .....	22
2.11.3	Spektrofotometry, kolorimetrické kamery .....	23
3	Normy a odporúčenia pre vyšetrovacie podmienky z hľadiska charakteristiky fotometrických veličín.....	24
3.1	Normy dôležité pre charakteristiku svetelných podmienok pri optometristickom vyšetrení.....	24
3.2	Požiadavky na optotyp a osvetlenie vo vyšetrovacej miestnosti .....	24
3.3	Normy pre prácu s vizuálnymi displejmi.....	27
4	Vplyv svetelných podmienok na vyšetrenie zrakových funkcií.....	28



4.1	Úvodná analýza vplyvu svetelných podmienok na stanovenie korekcie a vyšetrenie.	28
4.2	Vplyv svetelných podmienok na zrakovú ostrosť	29
4.3	Vplyv svetelných podmienok na zorné pole	31
4.4	Vplyv svetelných podmienok na kontrastnú citlivosť	32
4.5	Vplyv svetelných podmienok na farebné videnie	35
4.6	Vplyv svetelných podmienok na binokulárne funkcie	36
4.7	Vplyv svetelných podmienok na zrakovú únavu	39
4.8	Vplyv svetelných podmienok na výsledné stanovenie korekcie	41
5	Experimentálna časť	43
5.1	Úvod	43
5.2	Metodika experimentálnej časti	43
5.3	Ciele práce a hypotézy	45
5.4	Výsledky	48
5.4.1	Analýza závislosti korekcie na svetelných podmienkach	48
5.4.2	Analýza závislosti zrakovej ostrosti na svetelných podmienkach	52
5.4.3	Analýza závislosti rozpoznávania znakov pri rôznych úrovniach kontrastu pri svetelných podmienkach	54
5.4.4	Experimentálne hodnotenie svetelných podmienok pri vyšetrení v praxi	56
6	Analýza hypotéz	57
7	Diskusia	58
8	Záver	60
	Zoznam použitej literatúry	61
	Zoznam obrázkov	68
	Zoznam tabuliek	69
	Zoznam symbolov a skratiek	70
	Príloha A	71
	Príloha B	74

# 1 Úvod

Dnešná doba so sebou prináša inovatívne pokroky v oblasti svetelnej techniky, ktoré spĺňajú kvalitatívne ale i kvantitatívne požiadavky na osvetlenie priestorov pri rôznych pracovných činnostiach.[1] Normy stanové medzinárodným inštitútom ISO charakterizujú požiadavky na jas priestorov, v ktorých je vykonávaná odborná činnosť prevádzania očných vyšetrení a korekcie zraku. Svetelné požiadavky boli normalizované i pre vyšetrovacie jednotky - optotypy.[2] Napriek tomu sa v praxi stretávame s prevádzkami očných optík, ktoré tieto normy nedodržia.

Svetelný vplyv na zrakový systém sa dá považovať za najvýznamnejší vplyv svetla na ľudské bytie. Rôznorodé pracovné činnosti vyžadujú odlišné svetelné podmienky. Nesprávnym nastavením jasu je možné vyvolať vizuálne nepohodlie.[3] Subjektívne pocity zhoršeného videnia pri zmene svetelných podmienok sa dajú považovať za následok zníženia zrakovéj ostrosti v dôsledku zníženého jasu. Tento jav je známy pod názvom nočná myopia. Osvetlením je možné ovplyvniť i kvalitu sietnicového obrazu, osvetlenie sietnice, rozlišovanie farieb a kontrastu.[3]

Vzhľadom na vplyv svetelných podmienok na zrakové funkcie, novodobé výskumy často poukazujú na potrebu prevádzania očného vyšetrenia za fotopických ale i za mezopických podmienok. Na základe požiadaviek boli vytvorené pomôcky, ako napríklad mezopické filtre a okuliare pre simuláciu videnia za šera vo vyšetrovacej miestnosti.

Avšak rôznorodosťou názorov na svetelné podmienky pri prevádzaní subjektívnej refrakcie zostávajú nezodpovedané otázky: „Je nevyhnutné prevádzať korekciu refrakčných problémov s rôznymi úrovňami jasu?“ „Má znížený pokles jasu vplyv na stanovenie výslednej korekcie klientovi?“ „Je dôležité v optometrickej praxi dodržiavať normalizované predpisy osvetlenia vyšetrovacích miestností a optotypov?“

Hlavným cieľom práce je poukázať na problematiku vplyvu svetelných podmienok na zrakové funkcie a korekciu refrakčných problémov a vytvorenie podrobnej analýzy faktorov ovplyvňujúcich zhoršenie kvality videnia za mezopických podmienok. V závere práce sa venujem vyhodnoteniu vlastnej experimentálnej časti. Poukazujem na vplyv svetelných podmienok na zrakovú ostrosť, korekciu a rozpoznávanie znakov pri rôznych úrovniach kontrastu. V diskusii sú výsledky porovnávané s obdobnými výskumnými

prácami, ktoré sú bližšie rozoberané v úvodnej teoretickej časti práce. Taktiež je poukázané na prípady, u ktorých bolo možné pozorovať významne odlišné výsledky v porovnaní so zvyškom štatistického súboru.

## 2 Základy zrakového vnímania

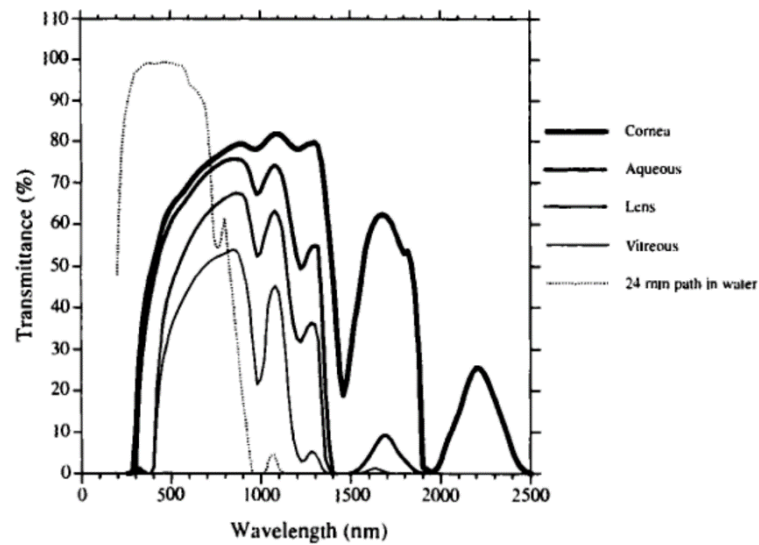
### 2.1 Prechod svetla okom na sietnicu

V publikácii [4] sú popisované dva systémy oka. Optický a nervový. Nervový systém predstavujú nervové bunky sietnice. V sietnici dochádza k prvému záhytu a triedeniu informácií. Na základe časových, priestorových a farebných rozdielov sú vytriedené užitočné informácie. Základnou funkčnou jednotkou sietnice je tzv. vnemové pole. Prostredníctvom vnemového poľa dochádza k prenosu frekvenčne modulovaných impulzov nervovými vláknami. Vnemové pole je približne kruhová časť sietnice, ktorá dokáže podráždiť jednu gangliovú bunku. [4]

Nervový systém zahŕňa i fotoreceptory. Tie sa delia na tyčinky a čapíky. Fotoreceptory dokážu odpovedať na dopadajúce žiarenie na základe vizuálneho pigmentu, ktorý je obsiahnutý v lipidovej membráne diskov. Citlivosť čapíkov je závislá na presnej štruktúre opsínovej molekuly. Fotoreceptory sa vyznačujú rozdielnou citlivosťou k dopadajúcemu žiareniu. Čapíky majú schopnosť reagovať na dlhovlnné žiarenie (L čapíky), žiarenie strednej vlnovej dĺžky (M čapíky) alebo krátkovlnné žiarenie (S čapíky). Následným spojením informácií z čapíkov s mozgom sa stáva základom pre ľudské farebné videnie. [5]

Prechodom svetla jednotlivými očnými tkanivami dochádza k vzniku procesov, ktoré majú za následok, že nie všetko svetlo vstupujúce do oka sa podieľa na tvorbe sietnicového obrazu. Časť svetla je zrkadlovo odrazená na štyroch základných odrazových plochách oka. Dochádza k vzniku tzv. Purkyňových obrázkov. Parametre Purkyňových obrázkov – pozícia, veľkosť a jas závisí na pozícií zdroja svetla a optickej štruktúre oka. Ďalej dochádza k elastickému rozptylu svetla. Pri rozptyle nedochádza k zmenám vlnovej dĺžky. Časť svetla je absorbovaná a prevedená na inú formu energie alebo emitovaná na dlhšej vlnovej dĺžke. Dochádza teda k neelastickému rozptylu alebo k fluorescencii svetla. [6]

Obrázok 2-1 poukazuje na priepustnosť žiarenia jednotlivých tkanív oka. Z grafu vyplýva, že pre vlnové dĺžky menšie ako 400 nm dochádza k silnej absorpcii. Rohovka absorbuje žiarenie pod 290 nm. Žiarenie medzi 300 nm a 400 nm je absorbované očnou šošovkou. Najkratšia vlnová dĺžka dosahujúca až na sietnicu je 380 nm.[6]



**Obrázok 2-1:** Súhrnný graf spektrálnej priepustnosti na zadných plochách očných komponentov.[6]

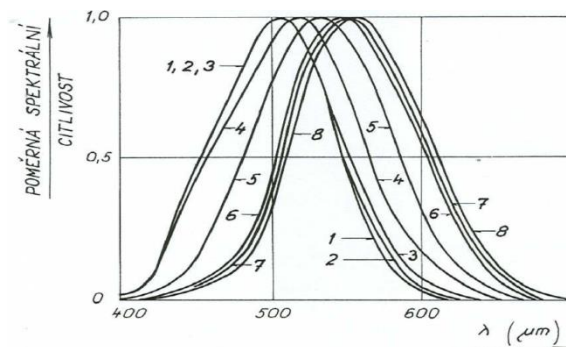
### 2.1.1 Stiles-Crawfordov jav

Stiles- Crawfordov jav sa špeciálne týka čapíkov a je definovaný pre fotopické podmienky pozorovania. Popisuje závislosť svetelnej účinnosti lúča vstupujúceho do oka smerujúceho do žltej škvrny na vstupnom bode v zornici. Lúče, ktoré vstupujú do oka centrom zornice, stimulujú čapíky silnejšie vďaka menej šikmému dopadu. Naopak lúče, ktoré vstupujú do oka periférnymi okrajmi zornice dopadajú na čapíky šikmejšie a ich stimulácia fotoreceptoru je nižšia. Následne dochádza k redukcii účinného osvetlenia sietnice, čo má vplyv na kvalitu sietnicového obrazu.[6,7]

### 2.1.2 Spektrálna citlivosť oka

Spektrálna citlivosť oka je individuálna u každého pozorovateľa. Udáva závislosť citlivosti ľudského oka k jednotlivým vlnovým dĺžkam viditeľnej oblasti svetla. Pre zjednodušenie svetelných technických výpočtov bol Medzinárodnou komisiou pre osvetľovanie zavedený tzv. normálny fotometrický pozorovateľ. Obrázok 2-2 ukazuje priemernú spektrálnu citlivosť v závislosti na adaptačnom jase  $L_a$ . Krivka 8 na obrázku 2-2 znázorňuje normálneho fotometrického pozorovateľa pre fotopické videnie  $L_a=100 \text{ cd/m}^2$  krivka 7 pre  $L_a=10 \text{ cd/m}^2$ . Krivky 5, 6 znázorňujú priemernú spektrálnu citlivosť pre mezopické videnie ( $L_a= 0,1; 1 \text{ cd/m}^2$ ). Krivky 1, 2, 3, 4 poukazujú priebeh skotopického videnia ( $L_a= 10^{-5}, 10^{-4}, 10^{-3}, 10^{-2} \text{ cd/m}^2$ ). Z obrázku je pozorovateľné, že maximum krivky

za skotopických podmienok je posunuté k nižším hladinám vlnových dĺžok, hlavnú detekčnú úlohu zohrávajú tyčinky.[8]



**Obrázok 2-2:** Krivky priemernej spektrálnej citlivosti zraku v závislosti na žiarení rôznych vlnových dĺžok pre rôzne adaptačné jasy. [8]

### 2.1.3 Fotopické videnie

Fotopické, tzv. denné videnie, je charakteristické pre svetelné podmienky, ktoré splňujú hladinu jasu  $5 \text{ cd/m}^2$  a viac. Počas denného videnia majú hlavnú úlohu v spracovaní zrakového signálu čapíky. Čapíky, ktoré sa v sietnici vyskytujú v počte približne 5 mil., sú prevažne najviac lokalizované v centre sietnice v mieste najostrejšieho videnia v tzv. žltej škvrne. Čapíky sú menej citlivé na svetlo ako tyčinky, avšak ich reakcie sú rýchlejšie.[9,3]

### 2.1.4 Sktopické videnie

Skotopické alebo tiež nočné videnie sa odohráva pri znížení svetelných podmienkach pod hranicou jasu  $0,005 \text{ cd/m}^2$ . Pri tejto úrovni osvetlenia zohrávajú hlavnú fotodetekčnú úlohu v spracovaní signálu tyčinky. Tyčinky, ktorých hustota sa zväčšuje od žltej škvrny smerom k periférii majú hlavnú úlohu v kódovaní svetlosti a pohybu. Za znížených svetelných podmienok je oko najviac citlivé na žiarenie kratších vlnových dĺžok (tzn. najmä na zelenú a modrú zložku svetla). Tento posun svetelnej účinnosti sa nazýva Purkyneho posun.[3,10]

### 2.1.5 Mezopické videnie

Mezopické videnie je kombináciou denného a nočného videnia. Na zrakovom vneme sa podieľajú čapíky aj tyčinky. Mezopické videnie je charakterizované rozmedzím jasov od  $5 \text{ cd/m}^2$  do  $0,005 \text{ cd/m}^2$ . Značné rozdiely zrakového vnemu, ktoré menia zrakové pole sú pozorovateľné ako funkcia zmeny podmienok osvetlenia. Celková spektrálna citlivosť oka

postupne klesá so znižovaním stupňa osvetlenia a rovnako postupným úbytkom signálov z čapíkov. Tieto aspekty ovplyvňujú adaptačnú schopnosť a reakčný čas pozorovateľa. [3,10]

Svetelná účinnosť skotopického a fotopického videnia je závislá na odpovedi fotoreceptoru na množstvo absorbovaných fotónov. Mezopické videnie je však komplexné, nakoľko závisí na oboch typoch fotoreceptorov. Komplexnosť mezopického videnia plynie tiež z pomoci post receptorových ciest signálom tyčíniek a čapíkov pred samotným zlúčením. I keď mezopické videnie závisí na dvoch typoch fotoreceptorov svetelná účinnosť mezopického videnie nie je aditívna. Čapíky v centre fovei predstavujú v priemere 20° vizuálneho poľa. Tyčinky sa v tejto oblasti nevyskytujú. Svetelná účinnosť mezopického videnia preto kriticky závisí na priestorovom usporiadaní a veľkosti zrakových stimulov. Pre časové rozdiely prijímania signálov tyčinkami a čapíkmi je možné pozorovať interferenciu signálov tyčíniek a čapíkov. Pri pozorovaní blikajúcich signálov na 7,5 Hz je možné pozorovať úplne vymiznutie signálu. Tento fakt je spôsobený deštruktívnou interferenciou a dochádza k takzvanému vzájomnému vyrušeniu signálov. [11]

### 2.1.6 Adaptácia na tmu

Zmena svetelných podmienok pozorovateľa je spojená s procesom, ktorý sa nazýva adaptácia ľudského oka. Adaptácia ľudského oka zahŕňa biochemické, fyzikálne ale i nervové aspekty. Biochemická zložka adaptácie je vytvorenie vizuálnych impulzov na sietnici a následný transport týchto signálov do mozgu. Bunky sietnice reagujúce na svetlo obsahujú fotopigmenty, ktoré po vystavení svetelnému signálu zahájajú chemickú reakciu, pri ktorej sa zmení svetelná energia na elektrickú aktivitu nervových vlákien. Počas adaptácie na tmu dochádza k regenerácii fotopigmentov. Pupilárny reflex, ktorý vzniká pri zmene svetelných podmienok považujeme za fyzikálny aspekt. Pri prudkom prechode k silne intenzívnemu osvetleniu dochádza k zúženiu zornice na cca 2 mm. Aberácie vyšších radov sú za fotopických podmienok veľmi malé, ale kvalitu obrazu často môže ovplyvniť výraznejším spôsobom difrakcia. Za znížených svetelných podmienok, t.j. za mezopických a najmä skotopických podmienok, sa zornica rozšíri na cca 8 mm. Zo zvyšujúcim sa priemerom zornice narastajú i aberácie vyšších radov, špeciálne sférická aberácia. Pokles intenzity svetla má za následok pokles intenzity signálov, prenášaných sietnicovými neurónmi. Časom intenzita signálov rýchlo narastá. Tento fakt má za následok zlepšenie nočného videnia. Zvýšenie intenzity nastáva behom niekoľkých sekúnd. Prvá fáza zvýšenia intenzity je čapíková a trvá 5-10 minút. Druhá fáza, tyčinková, trvá približne 30 minút. [8,10]

## 2.2 Vzťah medzi fotometrickými a rádiometrickými veličinami

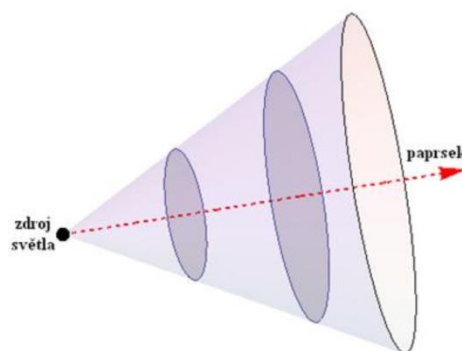
Rádiometrické veličiny matematicky popisujú šírenie elektromagnetického žiarenia (vo frekvenčnom pásme  $3 \times 10^{11}$  až  $3 \times 10^{16}$  Hz) s ohľadom na javy ako priepustnosť, absorpcia, odrazivosť, difrakcia a refrakcia látok všetkých skupenstiev. [12] K popisu zrakového vnemu však nie je dôležitá energia vyžiarená zdrojom za určitý čas. Rozhodujúci je výkon. Zrakové centrum nedokáže reagovať na súhrnné pôsobenie energie za určitý časový interval. Na rozdiel od svetelnej fyziky, svetelná technika nepracuje s veličinami energetickými ale pracuje s veličinami fotometrickými. Tieto veličiny rešpektujú citlivosť pozorovateľa pre rôzne vlnové dĺžky.[13]

## 2.3 Svetelný tok

Svetelný tok je fotometrická veličina, ktorá odpovedá žiarivému toku. Vyjadruje schopnosť žiarivého toku spôsobiť zrakový počiatok. Svetelný tok popisujúci svetelnú energiu, ktorá dopadá do určitého priestorového uhlu, je zobrazený na obrázku 2-3. Jednotkou svetelného toku je lúmen. 1 lúmen predstavuje 1,464 miliwatt žiarivej elektromagnetickej energie pri frekvencii 540 THz. Svetelný tok bodového zdroja je daný vzťahom

$$d\phi = I \cdot d\Omega, \quad (1)$$

kde  $I$  je svietivosť [cd] a  $\Omega$  je priestorový uhol. [12,13]



**Obrázok 2-3:** Bodový zdroj svetla vyžarujúci svetelný tok do priestorového uhlu.[14]



Svetelný tok, monochromatického žiarenia o vlnovej dĺžke  $\lambda$ , ktorého žiarivý tok je  $Q_e$  sa dá vypočítať zo vzťahu

$$\phi(\lambda) = K(\lambda) \cdot \phi_e(\lambda) = K_m(\lambda) \cdot V(\lambda) \cdot \phi_e(\lambda), \quad (2)$$

kde  $K(\lambda)$  je svetelná účinnosť žiarenia o jednej vlnovej dĺžke  $V(\lambda)$  je pomerná účinnosť žiarenia. [13]

Svetelná účinnosť  $K(\lambda)$  je rovná pomeru svetelného toku  $\phi$  a jemu odpovedajúcemu žiarivému toku  $\phi_e$  [13]

$$K(\lambda) = \frac{\phi}{\phi_e}. \quad (3)$$

## 2.4 Svietivosť

Pre definíciu svietivosti je potrebné definovať geometrickú veličinu priestorový uhol  $d\Omega$ . Priestorový uhol definuje veľkosť plochy vytvarenej všeobecnou kužeľovou plochou na povrchu jednotkovej gule. Ďalej platí, že vrchol priestorového uhlu je totožný so stredom uvažovanej kužeľovej plochy. Priestorový uhol  $d\Omega$ , pod ktorým je zo stredu gule vytatá plocha  $dA$  na povrchu gule s polomerom  $r$ , je daný vzťahom

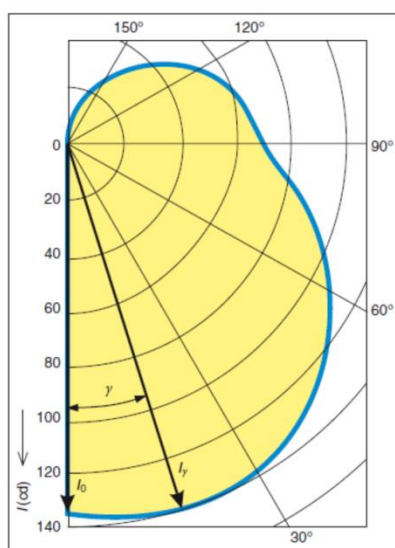
$$d\Omega = \frac{dA}{r^2}. \quad (4)$$

Jednotkou priestorového uhlu je steradián, ktorý je určený jednotkovou plochou ( $1 \text{ m}^2$ ) na povrchu jednotkovej gule (o polomere 1 m). [13]

Svietivosť určuje priestorovú hustotu svetelného zdroja s nerovnomerným rozložením svetelného toku. Svietivosť sa stanovuje iba pre bodový zdroj. Svietivosť  $I_{\zeta\gamma}$  bodového zdroja v smere určenom uhlami  $\zeta\gamma$  je rovná priestorovému uhlu obsiahnutom v jednotkovom priestorovom uhle. Svietivosť je daná vzťahom

$$I_{\zeta\gamma} = \frac{d\phi}{d\Omega_{\zeta\gamma}}, \quad (5)$$

kde  $d\phi$  je zdroj vyžarujúci svetelný tok a  $d\Omega_{\zeta\gamma}$  je priestorový uhol, ktorého os leží v smere určenom uhlami  $\zeta$   $\gamma$ . Priestorové uhly zároveň vymedzujú plochu vyžarovania zdroja. Základnou jednotkou svietivosti v sústave SI je kandela. Podľa vyššie uvedeného vzťahu sa určuje svietivosť zdroja umiestneného vo vrchole priestorového uhlu  $d\Omega_{\zeta\gamma}$ , t.j. v jednom bode. Tento bod je považovaný za svetelný stred bodového zdroja. Pri výpočtoch sa plocha vyžarovaná zdrojom nahrádza sústrednou plochou od stredu bodového zdroja. Fotometrická plocha svietivosti je určená zistením hodnôt svietivosti vo všetkých smeroch. Svietivosť môže byť znázornená tiež čiarami svietivosti, ktoré sú vynesené v polárnej sústave- táto možnosť je zobrazená na obrázku 2-4 [12,13]



**Obrázok 2-4:** Čiary svietivosti vynesené v polárnej sústave súradníc. Počiatok grafu je v strede svetelného zdroja [13]

## 2.5 Jas

Jas je veličina, na ktorú ľudské oko prirodzene reaguje. Je definovaný podielom svietivosti  $dI$  elementárnej plochy o obsahu  $dA$  zdroja v určitom smere  $\alpha$  a kolným priemetom plochy vo zvolenom smere

$$L = \frac{dI}{dA \cdot \cos\alpha} \quad (6)$$

Jednotkou jasu je  $[\text{cd} \cdot \text{m}^{-2}]$ .

Prostredie, v ktorom dochádza k rozptylu, absorpcii a vyžarovaniu svetla dochádza k zmene svetelného toku v jednotlivých bodoch prostredia. S meniacim sa svetelným tokom

dochádza i ku zmene jasú. Pokiaľ je lúč vymedzený otvormi umiestnenými v ľubovoľných miestach tienika a majú plošné rozmery  $dA_1$  a  $dA_2$ , potom pre jas zbiehajúcich sa lúčov z plochy  $dA_1$  v priestorovom uhle  $d\Omega$  do bodu  $P$  platí

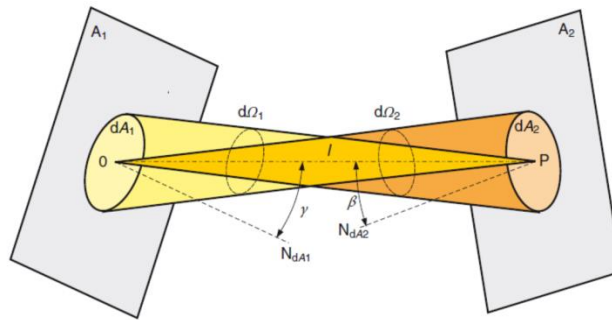
$$L_{OP} = \frac{d^2\phi}{d\Omega_1 \cdot dA_2 \cdot \cos\beta} = \frac{dE_N}{d\Omega_1}, \quad (7)$$

kde  $E_N$  reprezentuje osvetlenie kolmého priemetu plochy o priemere  $A_2$  k rovine lúču. Tento vzťah platí pri zanedbaní veľkosti otvorov  $dA_1$  a  $dA_2$ , nakoľko ich veľkosť je ďaleko menšia než vzdialenosť tienidiel  $l$ . [15]

Pre rozbiehavý zväzok lúčov v priestorovom uhle  $d\Omega$  z bodu  $O$  platí:

$$L_\gamma = \frac{d^2\phi}{d\Omega_2 \cdot dA_1 \cdot \cos\gamma} = \frac{dI_\gamma}{dA_1 \cdot \cos\gamma}. \quad (8)$$

Vo vzťahu (8) vzťah  $dI_\gamma = d\phi/d\Omega_2$  predstavuje svietivosť plochy  $dA_1$  v smere uhlu  $\gamma$ . Vymedzenie zväzku rozbiehavými a zbiehavými lúčmi je znázornené na obrázku č. 2-5.[15]



**Obrázok 2-5:** Vymedzenie zväzku zbiehavých a rozbiehavých lúčov. [15]

## 2.6 Osvetlenie

Osvetlenie rovinatej plochy  $E$  je dané pomerom dopadajúcej plošnej hustoty svetelného toku  $d\phi$  na rovinnú plochu  $dA$  a obsahom tejto rovinatej plochy  $dA$

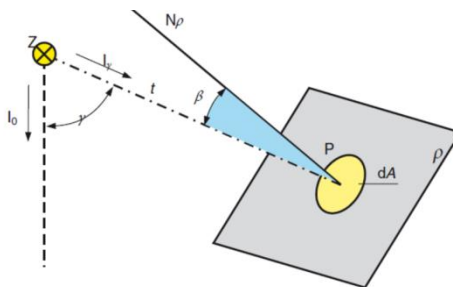
$$E = \frac{d\phi}{dA}, \quad (9)$$

Jednotkou osvetlenia je lux [ $\text{lm} \cdot \text{m}^2$ ].

Pri osvetlení plochy  $dA$  tvoriacu okolie bodu  $P$  v rovine  $\rho$  bodovým zdrojom  $Z$ , umiestneným vo vzdialenosti  $l$ , a je splnené, že normála  $N_\rho$  roviny  $\rho$  zvierá uhol  $\beta$  s lúčom  $l$ , potom pre osvetlenie  $E_{P\rho}$  v bode  $P$  roviny  $\rho$  bodovým zdrojom platí

$$E_{P\rho} = \frac{I_\gamma}{l^2} \cdot \cos \beta, \quad (10)$$

kde  $I_\gamma$  je svietivosť bodového zdroja  $Z$  v smere lúču  $l$  (smer určený pod uhlom  $\gamma$  od zvoleného smeru vzťažnej svietivosti  $I_0$ ). Osvetlenie bodovým zdrojom dopadajúce na plochu je zobrazené v obrázku č. 2-6.[13]



Obrázok 2-6: Osvetlenie plochy  $dA$  bodovým zdrojom  $Z$ . [13]

## 2.7 Svetelný tok na sietnici

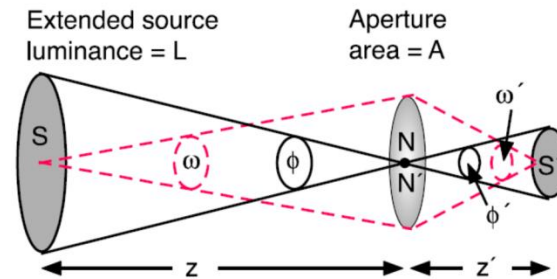
Množstvo svetla vstupujúceho do oka je možné určiť vzťahom

$$e_t = L \cdot \rho, \quad (12)$$

kde  $L$  je jas plošného zdroja svetla,  $\rho$  je plocha zornice. Množstvo svetla vstupujúceho do oka je vyjadrené pomocou jednotky *troland*. [3]

V práci [16] upresňujú definíciu trolandu, ktorá bola viackrát modifikovaná. V súčasnej technickej praxi je jednotka troland využívaná na popis osvetlenia sietnice. Práca poukazuje na hypotézu, že jednotka troland vyjadruje pre zdroj s plošným svetelným tokom

intenzitu v mikrokandelách ekvivalentného bodového zdroja lokalizovaného v zadnom uzlovom bode, ktorý vytvorí na sietnici rovnaké osvetlenie ako zdroj s rozšíreným svetelným tokom. Intenzita bodového zdroja v zadnom uzlovom bode je definovaná vzťahom 12. Obrázok 2-7 zobrazuje optický model pre systémy ako oko fotoaparátu. [16]



Obrázok 2-7: Model zobrazovacieho systému.[16]

Aproximácia pracuje s predstavou, že svetlo je perfektne zaostrené. Pri predstave boli vynechané vplyvy interferencie, rozptylu, difrakcie, rozostrenie obrazu v dôsledku aberácií a Stiles-Crowfordov javu. Pokiaľ je sietnica osvetľovaná plošným zdrojom svetla, ktorý má tvar malého kruhového disku s polomerom zakrivenia  $\rho$ , potom celkový tok dopadajúci na sietnicu je daný vzťahom

$$F' = L \cdot A \cdot \pi \cdot \rho^2, \quad (14)$$

kde  $\phi = \pi \cdot \rho^2$  je pevný vstupný uhol svetelného zdroja a  $I = L \cdot A$  je intenzita zdroja.[16]

## 2.8 Expozícia

Expozícia  $H$  je fotometrická veličina, ktorá je vyjadrená súčinom osvetlenia plochy  $E$  a doby  $t$ , počas ktorej toto osvetlenie pôsobilo na plochu.

$$H = E \cdot t. \quad (15)$$

Základnou jednotkou expozície je lux sekunda .[17]

## 2.9 Oslnenie

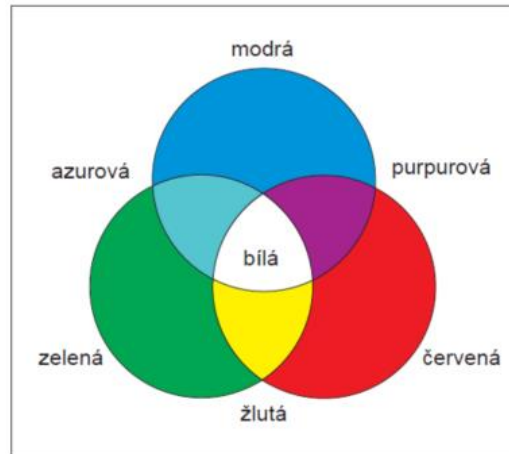
Oslnenie vzniká pri umiestnení zdroja s vysokým jasom do zorného poľa pozorovateľa. Taktiež pri vzniku priestorových alebo časových kontrastov jasu so znemožňujúcou schopnosťou adaptácie oka. Je to stav oku nepriaznivý a dochádza ku zníženiu zrakovej pohody a príjmu informácií. Oslnenie je členené z niekoľkých hľadísk. Podľa príčiny sa delí na priame, spôsobené odrazom, prechodové a závojové. Z psychologického hľadiska sa člení na pozorovateľné a rušivé, z fyziologického hľadiska na obmedzujúce a oslepujúce. K jednotnému hodnoteniu oslnenia bol zavedený činiteľ oslnenia (*angl.* glare index). Vychádza z predpokladu, že hodnota oslnenia je priamo úmerná vzrastajúcemu jasom osľňujúceho zdroja a priestorovému uhlu (uhol, pod ktorým je sledovaný zdroj osvetlenia). Zároveň je nepriamo úmerné rastúcemu jasom pozadia.

$$GI_S = UGR = 8 \cdot \log \left| \frac{1}{4} \cdot \sum_{i=1}^n \frac{L_{zi}^2 \cdot \Omega_i}{L_p \cdot P_i^2} \right|. \quad (16)$$

Vo vzťahu (16)  $L_z$  predstavuje jas osľňujúceho zdroja,  $\Omega_i$  je priestorový uhol,  $L_p$  je jas pozadia a  $P$  je činiteľ charakterizujúci vplyv polohy osľňujúceho zdroja. Tento činiteľ sa najčastejšie určuje pomocou Luckieshe a Gutha. [8]

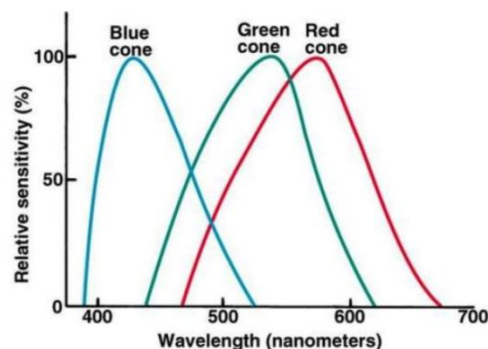
## 2.10 Vnímanie a kvantifikácia farieb

Vnímanie farieb je fyziologicko-psychologický proces. Farebným podnetom je charakterizované žiarenie s určitým spektrálnym zložením, ktoré vyvolá v ľudskom oku farebný počiatok videnia. Farba vyjadruje farebnosť svetla založenú na spektrálnom zložení žiarenia. Vyjadruje tiež koloritu predmetu, ktorá je určená spektrálnou odrazivosťou a priepustnosťou predmetu po osvetlení zdrojom so spektrálnym zložením. Farby sú delené podľa niekoľkých kritérií. Delia sa na pestré a nepestré podľa vnemu farebného tónu. Biela farba patrí do nepestrých farieb a je možné ju získať miešaním všetkých spektrálnych svetiel, ale i vhodnou kombináciou dvoch z nich. Podľa psychologického pôsobenia sa farby delia na teplé a studené. Kvalitatívna odlišnosť vnemu je vnímaná ako farebný tón. Slnečné žiarenie obsahuje spektrálne farby. Iné zdroje žiarenia môžu vyžarovať i tzv. nespektrálne (purpurové) farby, ktoré vznikajú miešaním krajných farieb spektra, ktoré je zobrazené na obrázku 2-8. [18]



**Obrázok 2-8:** Miešanie troch základných farieb. [18]

Farebné videnie začína absorpciou svetla čapíkmi, ktoré premenia elektromagnetickú energiu na elektrické napätie. Následne dochádza ku vzniku akčných potenciálov a odoslaniu informácie do zrakového centra v mozgu. Prenos je uskutočnený pomocou troch separovaných kanálov. V zrakovom mozgovom centre dochádza ku kombinácii signálov z kanálov, čo umožňuje vnímanie veľkého množstva odtieňov. Viditeľná časť spektra je charakterizovaná nekonečným počtom vlnových dĺžok v rozmedzí 400-800 nm. Výkon čapíkov zužuje škálu vlnových dĺžok, ktorú je ľudské oko schopné detegovať na oblasť troch vlnových dĺžok. Prítomnosť čapíkov typu S, M, L a redukcia absorbovaných vlnových dĺžok je hlavným princípom tri chromatického videnia. Absorpčné maxima vlnových dĺžok v jednotlivých druhoch čapíkov sú zobrazené v obrázku č. 2-9. [19,20].



**Obrázok 2-9:** Absorpčné maxima pre S čapíky, L čapíky a M čapíky.[20]

### 2.10.1 Teplota farebnosti

K popisu farieb sa využíva i teplota farebnosti, ktorá sa vzťahuje k teplote čierneho žiariča. Udáva sa v kelvinoch. Farba svetla žiariča s odpovedajúcim žiarením tepelnému žiariču a so spektrálnou krivkou bez prudkých zmien je popísaná ekvivalentnou teplotou farebnosti. Pre zdroje s prudkými zmenami spektrálnej krivky je pridelená náhradná teplota farebnosti. [8,21]

Štúdia porovnávajúce vplyv teploty farebnosti na zrakovú ostrosť poukazujú na hypotézu, že odchýlky zrakovej ostrosti sú ovplyvnené okolitým svetelným spektrom. Vo výskume [22] je prevádzané testovanie za mezopických podmienok (jasom v rovine očí  $7 \text{ cd/m}^2$ ) a za fotopických podmienok (s jasom v rovine očí  $120 \text{ cd/m}^2$ ) s dvomi svetelnými zdrojmi s teplotou farebnosti 3500 K a 7500 K. Test bol založený na rozpoznaní znakov Snellenového optotypu s 24 znakmi v piatich riadkoch so znižujúcou sa veľkosťou písmen. Ďalšia zraková úloha spočívala v rozpoznaní 81 nesúvisiacich slov opäť so znižujúcou sa veľkosťou písmen. Výsledky štúdia poukazujú, že zraková ostrosť dosahuje u testovaných subjektov lepšie výsledky pri použití svetelného zdroja s teplotou farebnosti 7500 K za mezopických i za fotopických podmienok. Štúdium pozostávalo z dvoch častí. V druhej časti boli testované subjekty vystavené ôsmim svetelným podmienkam (boli použité štyri úrovne jasov pri prevádzaní zrakovej úlohy – 22, 120, 500,  $1010 \text{ cd/m}^2$ ). Pri teste boli použité svetelné zdroje svetla s teplotou farebnosti 7500 K pri vyššie uvedených jasoch.[22]

Štúdium [23] pojednáva o vplyve rôznych osvetľovacích metód na efektivitu čítania a zrakový komfort pozorovaných subjektov. Bolo zistené, že rýchlosť čítania nie je závislá na použítom zdroji osvetlenia. Dotazy na subjektívne komfortnejšie osvetlenie preukázalo z 85 % u ženskej skupiny testovaných preferenciu čítania pri osvetlení kompaktným fluorescenčným svetlom (teplota farebnosti 3400 K). U mužskej skupiny testovaných bola preukázaná preferencia osvetlenia fluorescenčnou trubicou (teplota farebnosti 3000 K) z 65 %.[23]



## 2.10.2 Index podania farieb

Hodnotenie kvality farieb je ovplyvnené adaptáciou na osvetlenie v zornom poli pozorovateľa, citlivosťou zrakového orgánu k jednotlivým farbám a spektrálnym činiteľom odrazu a priepustnosti. Hodnotenie je rovnako ovplyvnené spektrálnym zložením zdroja svetla. Tento vplyv sa nazýva podanie farieb. Numerickým vyjadrením akosti podania farieb je index podania farieb. Index podania farieb vyjadruje stupeň zhodnosti vnímanej farby predmetu osvetlenej zdrojom svetla a farby rovnakého predmetu osvetleného zmluvným zdrojom svetla za definovaných podmienok. Numerická hodnota vyjadruje rozdiel vo vnímaní farieb u 8 vybraných farebných vzorov. Výpočtom je vyjadrený všeobecný index podania farieb

$$R_a = 100 - 4,6 \cdot \Delta \overline{E}_a, \quad (17)$$

kde  $\overline{E}_a$  vyjadruje vzdialenosť bodov popisujúcich farebné vnemy v kolorimetrickom priestore. Hodnoty všeobecného indexu podania farieb sa pohybujú v intervale 0 až 100.  $R_a=100$  je indexom teplotných zdrojov a denného prírodného svetla.  $R_a=0$  je indexom pre monochromatické zdroje, u ktorých sa farby nerozlišujú.[8,21]

## 2.11 Metody merania jasú, osvetlenia

### 2.11.1 Luxmetry

V praxi sa k meraniu osvetlenia používajú luxmetry. Základnými zložkami luxmetru je prijímač signálu s korigovaným fotočlánkom, ktorý je opatrený kosínusovým nastavcom a z digitálneho alebo analógového vyhodnocovacieho systému. Luxmetry musia byť vybavené korektorom, ktorý umožňuje nastaviť nulu. Delenie prístrojov je založené na základe tried presnosti - L, A, B, C. Triedy sú vyhradené podľa maximálnej dovolenej súhrnnej chyby ( 2, 5, 10, 20 %) v ktorej je zahrnuté celkovo 11 rôznych chýb. Najväčší podiel majú chyba spektrálna, chyba uhlová, smerová, chyba vplyvom odchýlky spektrálnej citlivosti čidla a chyba linearity. Presné merania sú opatrené kalibráciou každé 2 roky, prevádzkové merania každé 3 roky. Pri meraní luxmetrom je potrebné dbať na vylúčenie vplyvu nežiadúceho žiarenia s následným prekročením rozsahu prístroja.

V článku [24] Základy svetelnej techniky sú bližšie spracované zásady pre užívanie luxmetru, ku ktorým patrí zaznamenávanie teploty pri meraní svetelného zdroja, výpočet korekčného činiteľa  $k_U$ . Korekčný činiteľ udáva pomer skutočného napätia  $U$  a napätia udávaného výrobcom

$$k_U = \left( \frac{U}{U_N} \right)^c, \quad (18)$$

kde  $c$  je exponent závislý na druhu zdroja.

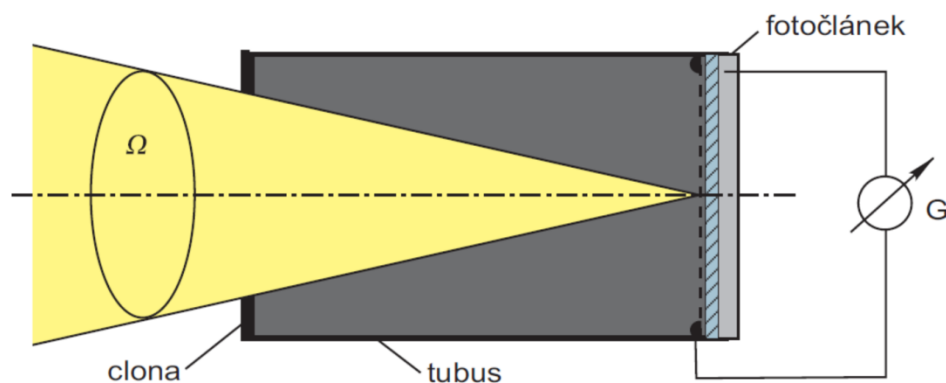
Pri meraní väčších priestorov je celkové osvetlenie dané aritmetickým priemerom meraní. Merania sa prevádzajú v každom mieste zrakového zaťaženia. Osvetlenie vonkajších plôch sa meria za suchého počasia bez snehu. Komunikácia je rozdelená na kontrolné body, v ktorých prebieha meranie vo vodorovnej rovine do 20 cm.[ 24]

### 2.11.2 Jasomery

Meranie jasu je sprostredkované pomocou jasomeru. Jasomer sa skladá z prijímaču, ktorý je nasadený na tubus. Tubus je vo vnútri čierny a v jeho prednej časti je uchytená clona s kruhovým priemerom. Clona vymedzuje priestorový uhol  $d\Omega$ , v ktorom dopadajú detegované lúče na prijímač. Schéma rozloženia prvkov jasomeru je zobrazená na obrázku 2-10. Fotočlánok určí normálnu hodnotu osvetlenia  $E_N$  pomocou ktorej je vypočítaná stredná hodnota jasu zo vzťahu

$$L = \frac{E_N}{\Omega}, \quad (19)$$

kde  $E_N$  je stredná hodnota osvetlenia a  $\Omega$  je priestorový uhol, ktorým vymedzený jas plochy. Podľa veľkosti detegovanej plochy rozlišujeme jasy bodové a integračné. Celková prípustná chyba presných meraní je  $\pm 7,5\%$  a prevádzkových meraní  $\pm 10\%$ . Kalibrácia sa musí obnovovať u presných meraní každé 2 roky a u prevádzkových meraní každé 3 roky. [24]



Obrázok 2-10: Schéma konštrukcie jasomeru. [24]

### 2.11.3 Spektrofotometry, kolorimetrické kamery

Spektrofotometry sú prístroje na meranie spektra optického žiarenia. Fungujú na princípe rozkladu svetla pomocou hranolu alebo mriežky. Výstupom merania sú hodnoty spektrálneho zloženia svetla, ktoré bolo detegované, tri chromatické súradnice (x,y,z), teplota chromatickosti, dominantná vlnová dĺžka, index podania farieb, kolorimerická čistota.[25]

Kolorimetrické kamery, fungujú na princípe rozkladu snímanej scény do základných farebných zložiek. Následne musí byť zabezpečený prenos dostatočného objemu informácií pre obnovenie obrazu farebnej scény v zobrazovacej jednotke. Kolorimetrické kamery pracujú v základnom súradnicovom systéme rozkladajúc lúč vstupujúci do objektívu na zložky R (červená), G (zelená) a B (modrá). Rozdelenie lúča je sprostredkované pomocou hranolovej sústavy (RGB hranolová sústava). Hlavným nedostatkom RGB hranolov je neschopnosť správnej realizácie optických filtrov a používanie farebného filtra na vytvorenie zelenej zložky. Dochádza ku absorpcii a stratám. Za nedostatok je chápaná nedostatočná absorpcia nadbytočných zložiek spektra, ktoré sa nepodieľajú na tvorbe troch základných farieb.[26]

### 3 Normy a odporúčenia pre vyšetrovacie podmienky z hľadiska charakteristiky fotometrických veličín

#### 3.1 Normy dôležité pre charakteristiku svetelných podmienok pri optometristickom vyšetrení

Medzinárodný inštitút ISO stanovuje normy, ktoré charakterizujú základné podmienky pre optometristické vyšetrenie. Normy upravujú pomocou fotometrických veličín osvetlenie na pracovisku. Určujú podmienky pre prezentáciu štandardného optotypu a podmienky pre prácu s vizuálnymi displejmi založených na plochých paneloch. Prehľad základných noriem je uvedený v **tabuľke. 1**[2]

**Tabuľka 1: Prehľad najdôležitejších noriem upravujúcich vyšetrovacie podmienky**

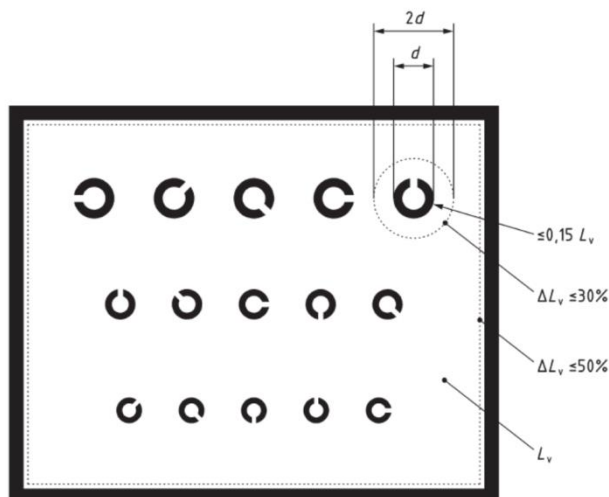
EN 12464	2002	Lighting of work place
EN 8596	2018	Standard clinical optotypes and their presentation
EN 13406	2002	Ergonomic requirements for work with visual displays based on flat panels

#### 3.2 Požiadavky na optotyp a osvetlenie vo vyšetrovacej miestnosti

Pre štandardné a vyšetrovacie optotypy a ich prezentáciu upravuje v najnovšej verzii z roku 2018 podmienky charakterizujúce štandardné podmienky vyšetrovania. Norma určuje test Landoltových kruhov za štandardný optotyp . Klinický optotyp je charakterizovaný ako optotyp odlišný od Landholtových kruhov, ktorý sa používa na určovanie zrakovej ostrosti. Norma 8596-2018 určuje i presné požiadavky na jas pri vyšetrení. Jas pozadia optotypu je určený rozmedzím hodnôt **80-320 cd/m<sup>2</sup>**. Jas prezentovaného štandardného optotypu by nemal presiahnuť **15 %** z jasu okolia opotypu pokiaľ sa refrakčný výkon odohráva v temnej miestnosti. Svetelné zdroje a odrazové plochy v zornom poli pacienta by mali byť tmavšie ako tabuľka optotypu prezentovaná vo vhodne zvolenom mieste. Taktiež by sa v zornom poli vyšetrovaného nemali nachádzať žiadne priame a nepriame zdroje oslnenia.[2]

Obrázok **3-1** zobrazuje požadovaný jas štandardného optotypu a jeho pozadia, kde  $d$  predstavuje priemer Landoltového kruhu,  $L_v$  jas okolia optotypu a  $\Delta L_v$  variabilitu jasu

v označenej oblasti. Jas v blízkom okolí znaku (do priemeru  $2d$ ) by sa nemal meniť o viac ako  $\pm 30\%$  priemerného jas pozadia. Jas v celom rozsahu pozadia by nemal kolísat' viac ako  $\pm 50\%$  priemerného jas pozadia. [2]



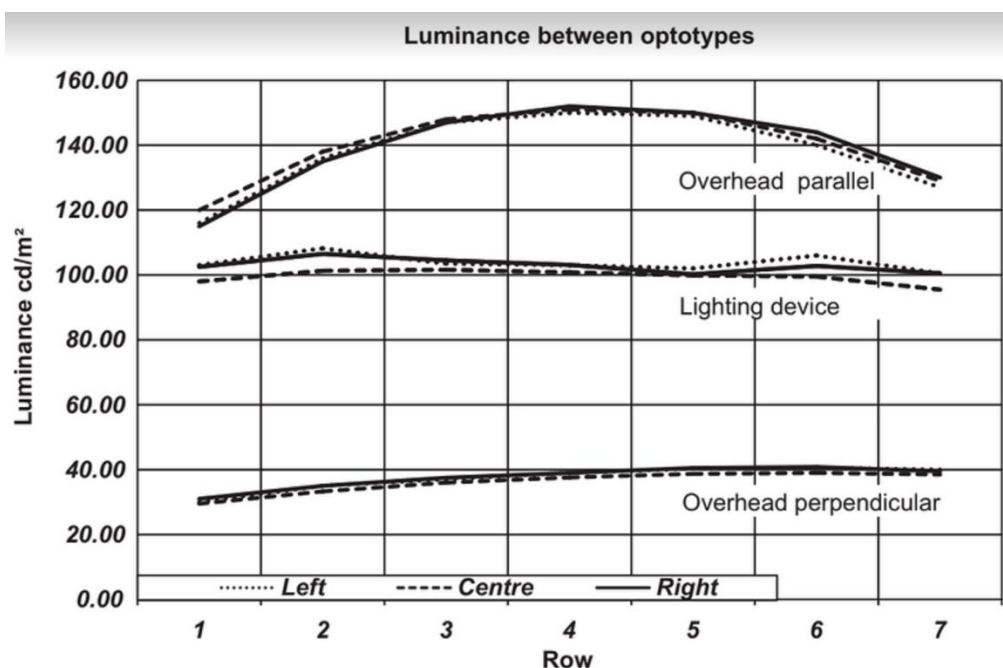
**Obrázok 3-1:** Jas opotypu stanovený ISO 8596-2018.[2]

ISO EN 1246 (2002) normalizuje podmienky vyšetrenia vo vnútorných priestoroch. Podmienky boli určené s ohľadom na zrakovú pohodu a bezpečnosť. Zreteľ bol tiež braný na prevádzanie zrakových výkonov v nie vždy ideálnych podmienkach po dobu dlhších časových intervalov. Pre prostredie na výkon očného vyšetrenia boli stanovené hodnoty osvetlenia, indexu oslnenia  $UGR_L$  a indexu farebného podania pre zdroje osvetlenia  $R_a$ . Hodnoty sú poukázané v **tabuľke 2**. [27]

**Tabuľka 2:** Hodnoty osvetlenia v vyšetrovniach prevádzajúcich zrakové vyšetrenie. [27]

Typ interiéru, prevádzané vyšetrenie	$E_m$ [lx]	$UGR_L$	$R_a$
Všeobecné osvetlenie priestorov	<b>300</b>	<b>19</b>	<b>80</b>
Vyšetrenie vonkajšej časti oka	<b>1000</b>	-	<b>90</b>
Čítacie testy a testy rozlišovania farieb s testovými tabuľkami	<b>500</b>	<b>16</b>	<b>90</b>

Kolísanie jasů v okolí znakov, bolo testované v štúdiu [28] na Pelli- Robson tabuľke. Medzi centrom tabuľky a najkrajnejšou časťou bol zistený rozdiel jasů 6,85% pri zvolenom predvolenom jase optotypu  $100 \text{ cd/m}^2$ . Na obrázku č. 3-2 je zobraňný súbor nameraných dát. Jas bol meraný v 21 bodoch Pelli-Robson tabuľky, v siedmych horizontálnych líniách a troch vertikálnych. Obrázok poukazuje na tri miesta, v ktorých bol jas optotypu merný. Ucelená priamka reprezentuje dáta namerané na pravom okraji, prerušovaná priamka dáta v centrálnej časti a bodkovaná čiara v ľavom okraji optotypu. Jas optotypu bol zisťovaný i pre zmenu osvetlenia na kolmé a paralelné. V tomto prípade bol maximálny rozdiel jasů 21%.



Obrázok 3-2: Zmena jasů Pelli-Robson tabuľky, testovaná na okrajoch a v centre.[28]

### **3.3 Normy pre prácu s vizuálnymi displejmi**

ISO norma 13406 z roku 2002 reprezentuje požiadavky na vizuálne ploché displeje. Norma zahrňuje materiálóvé požiadavky a požiadavky založené na zrakóvom pohodlí a akceptovateľnosti zo strany užívateľa pri používaní viacfarebných displejov. Norma je založená na ergonómickom zrakóvom výskume popísanom v ISO 9241-8, ktorý bol modifikovaný so záujmom sústredeným na ploché obrazovky. Požiadavky a odporúčania na dizajn displejov poukazujú na fyzické atribúty, ktoré by mali byť striktne dodržiavané alebo preferované. Norma tiež zahrňuje definície, ktoré bližšie špecifikujú požiadavky a meranie. Norma stanovuje zásady pre jas displejov, ktoré normalizujú, že jas displejov nesmie presiahnuť minimálnu hodnotu požadovanú pre zrakóvu ostrosť, ktorá je hodnotená na troch miestach obrazovky v pohľadovom smere. [29]

## 4 Vplyv svetelných podmienok na vyšetrenie zrakových funkcií

### 4.1 Úvodná analýza vplyvu svetelných podmienok na stanovanie korekcie a vyšetrenie

Zmeny korekcie za zníženej úrovne osvetlenia môžu byť príčinou rôznych faktorov. Na zhoršení zrakovej ostrosti za mezopických podmienok majú vplyv – nočná myopia, sférická aberácia, veľkosť zornice, nervové aspekty, chyba akomodácie, chromatická chyba, difrakcia.[30]

Nočná myopia je primárne zapríčinená tonickou zložkou akomodácie, ktorej pokles je možný sledovať ako závislosť na veku. Tonická zložka akomodácie nie je podmienená podnetom v zornom poli. Je to fyziologicky navodený stav, spôsobený tzv. pokojovým napätím ciliárneho svalu.[31]

V práci [32] sú zaznamenávané zmeny zornice za mezopických a fotopických podmienok u 70 subjektov. Za mezopických podmienok dochádzalo k rozšíreniu zornice na  $6,37 \pm 0,89$  mm (za fotopických podmienok  $4,06 \pm 0,7$  mm). Na základe analýzy vytvorenej v štúdiu nebola zistená pozitívna korelácia medzi veľkosťou zornice a refrakčnou chybou, vekom a pohlavím. Pri prechode z mezopických do fotopických podmienok štúdiom zaznamenáva posun stredu zornice nazálne ( $0,13 \pm 0,07$  mm).[32]

V štúdiu [30] boli vyhodnotené závislosti zmeny zrakovej ostrosti za mezopických podmienok na rôznych faktoroch. Testovanie prebehlo na 43 subjektoch. Test bol prevádzaný monokulárne na subjektoch s plnou korekciou. Zraková ostrosť bola meraná pri štyroch úrovniach jasu. Pre fotopické podmienky  $94 \text{ cd/m}^2$  a pre mezopické podmienky 3; 0,75;  $0,38 \text{ cd/m}^2$ . Adaptačná doba medzi testami odpovedala 5 minútam. Testovanie prebehlo na štandardizovanom teste s E-ETDRS algoritmom vo vzdialenosti 3 m. Akomodačný stav a veľkosť zornice bol meraný pomocou autorefraktometru. Aberometrické dáta a veľkosť zornice bola detegovaná prístrojom Marco OPD ScanIII.

**Tabuľka 3** poukazuje na výsledky štúdia [30]: zmena zrakovej ostrosti dosiahla najvyššej hodnoty pri úrovni jasu  $0,38 \text{ cd/m}^2$ , akomodačné oneskorenie pozorované u subjektov za fotopických podmienok je podľa štúdia možno považovať za následok malej



veľkosti pupily. Znižovaním úrovne jasu a zväčšovaním zornice je možno pozorovať zníženie absolútnej akomodačnej chyby.[30]

**Tabuľka 3: Výsledky merania rozdelené na jednotlivé faktory ovplyvňujúce zmeny v zrakovej ostrosti.[30]**

Mean values for the 43 subjects

	Photopic		Mesopic	
	94 cd/m <sup>2</sup>	3 cd/m <sup>2</sup>	0.75 cd/m <sup>2</sup>	0.38 cd/m <sup>2</sup>
VA, mean ± SD, logMAR	-0.08 ± 0.06	0.05 ± 0.07	0.16 ± 0.06	0.27 ± 0.09
Accommodative error, mean ± SD, D	+0.34 ± 0.27	+0.25 ± 0.31	+0.23 ± 0.26	+0.25 ± 0.32
Absolute accommodative error, mean ± SD, D	0.36 ± 0.25	0.32 ± 0.23	0.28 ± 0.20	0.32 ± 0.25
Pupil diameter, mean ± SD, mm	4.6 ± 0.8	6.3 ± 0.9	6.5 ± 0.9	6.9 ± 0.6
Pupil area, mean ± SD, mm <sup>2</sup>	17.5 ± 6.2	31.4 ± 8.3	33.9 ± 8.6	37.5 ± 7.1
Mesopic zone diameter, mean ± SD, mm			6.54 ± 0.85	
Higher-order RMS ± SD, μm			0.464 ± 0.248	

## 4.2 Vplyv svetelných podmienok na zrakovú ostrosť

Testovanie zrakovej ostrosti je možné považovať za najčastejšie používaný spôsob vyšetovania zrakových funkcií. Zraková ostrosť je dôležitým faktorom, ktorý ovplyvňuje zrakovú pohodu a komfortné videnie na všetky vzdialenosti. Pre vyšetrenie zrakovej ostrosti v klinickej praxi existujú normy, ktoré stanovujú požiadavky na osvetlenie priestorov v ktorých je testovanie uskutočňované (viď kapitola 3). Avšak zraková úloha prevádzaná v bežnom živote pozorovateľa nie je vykonávaná vždy za ideálnych svetelných podmienok. Z nižšie uvedených výsledkov jednotlivých výskumov je možné pozorovať, že zraková ostrosť závisí na jase prostredia, kontraste optotypu i druhu použitého optotypu.

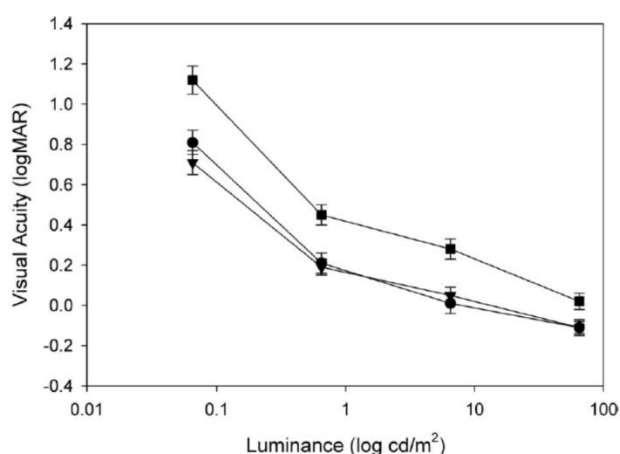
V štúdiu [33] pri testovaní zrakovej ostrosti na Bailey –Lovie tabuľke bol zistený rozdiel v zrakovkej ostrosti medzi dvomi úrovňami kontrastu tabuliek v priemernej hodnote 2,5 riadku. Testových subjektov bolo 86 so sférickými refrakčnými chybami v rozmedzí 4 dpt-7,25 dpt s cylindrami do -3 dpt.[33]

Výskum [34] preukazuje lineárny pokles zrakovkej ostrosti so zmenou jasu. Pri použitom jase v rozmedzí 75-0,075 cd/m<sup>2</sup> skúmaná osoba so zrakovou ostrosťou 20/20 za vysokých svetelných podmienok a vysokého kontrastu dosiala pri znížení hladiny jasu zrakovkej ostrosti 20/60.[34]

Pacienti s degeneratívnymi zmenami sietnice reagujú atypickým spôsobom na zrakové stimuly pri rôznych svetelných podmienkach. Postihnutí senilnou makulárnou degeneráciou dosahujú zhoršených výsledkov zrakovkej ostrosti so znižujúcim sa stupňom osvetlenia.[35]

Vekom podmienená makulárna degenerácia u pacientov narušuje i rozlišovanie kontrastu. Testovanie zrakovej ostrosti u pacientov s makulárnou degeneráciou pri použití Bailey –Lovie optotypu s vysokým a nízkym kontrastom bolo prevádzané v štúdiu [36]. Dosahované výsledky zrakovej ostrosti pri použití optotypu s vysokým kontrastom sa pohybovali v rozmedzí logMAR hodnôt 1,18- 0,0; pri použití optotypu s nízkym kontrastom 1,44-0,22. Na základe dosiahnutého výsledku bola vytvorená predikcia, že Bailey-Lovie s vysokým kontrastom sa dá považovať za užitočný pri testovaní subjektov s makulárnou degeneráciou.[36]

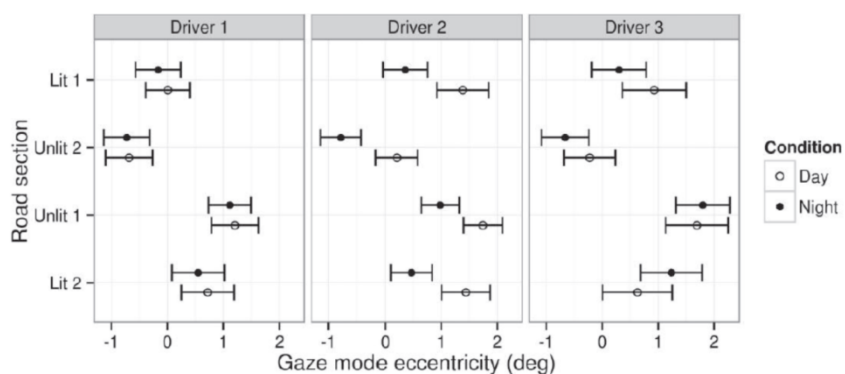
Podľa štúdia [37] je rozpoznávacía schopnosť ovplyvnená redukujúcou sa úrovňou jasu a zvyšujúcim sa vekom. Štúdium bolo zamerané na vodičov a bolo prevádzané na 24 subjektoch. Osem z nich vo vekovom priemere  $21.5 \pm 2,8$  roku, ďalších osem v strednom veku v priemere  $46,6 \pm 4,2$  roku a osem ľudí vo vekovom rozmedzí  $71,9 \pm 2,6$  roku. Test bol prevádzaný vo vyšetrovacej miestnosti za binokulárnych podmienok. Zníženie jasu bolo uskutočnené pomocou špeciálnych okuliarov s ND filtermi v definovaných hladinách jasu a v presnom poradí:  $0,065 \text{ cd/m}^2$ ;  $0,65 \text{ cd/m}^2$ ;  $6,5 \text{ cd/m}^2$  (NDF1, NDF2, NDF3) a v konečnej fáze test bez použitia filtru pri jase  $65 \text{ cd/m}^2$ . Zraková ostrosť bola vyšetovaná na 2 typoch testu LogMar stupnice. Výsledky štúdia poukazujú, že svetelné podmienky ovplyvňujú zrakovú ostrosť na štatisticky významnej hladine s vekom ( $p=0,008$ ). U vekovej kategórie  $71,9 \pm 2,6$  bol pozorovaný štatisticky významný pokles zrakovej ostrosti so znižujúcou sa úrovňou jasu. Výsledky sú zobrazené na obrázku 4-1. [37]



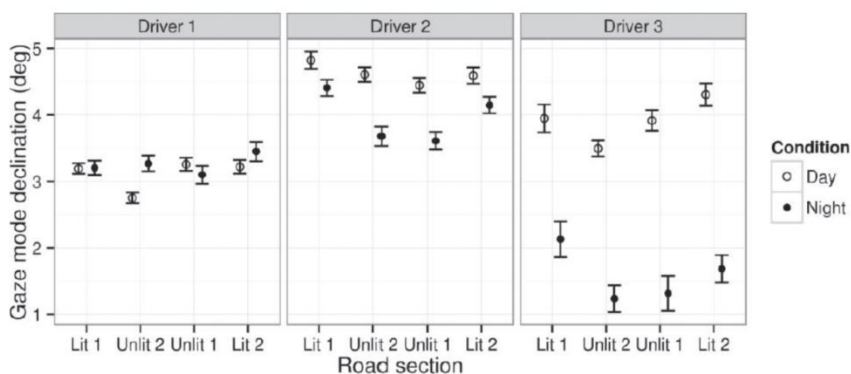
**Obrázok 4-1:** Funkcia závislosti zrakovej ostrosti na rôznych úrovniach jasu s ohľadom na vek skúmaných. Kruh predstavuje vekovú skupinu  $21.5 \pm 2,8$  roku, trojuholník  $46,6 \pm 4,2$  roku a štvorec  $71,9 \pm 2,6$  roku.[37]

### 4.3 Vplyv svetelných podmienok na zorné pole

Jednou z metód detekcie zrakových funkcií je tzv. detekcia sledovacích pohybov očí (*angl.* eye tracking). Táto metóda umožňuje detekciu očných pohybov a doby fixácie oka. V dizertačnej práci [38] je prevádzaný výskum zameraný na detekciu očných pohybov vodičov počas jazdy autom. Použitý detektor očných pohybov (*angl.* eyetracker) bol schopný zachytiť foveálnu oblasť fixácie, periférna časť sietnice nebola detegovaná. Test bol realizovaný na 3 vodičoch. Meranie prebiehalo za denných a nočných podmienok. Získané výsledky štúdia [38] poukazujú na zmeny vo vertikálnom a horizontálnom smere pohľadu v každom úseku dráhy a sú zobrazené na obr. 4-2, 4-3.[38]



Obrázok 4-2: Horizontálna zložka pohľadu vodičov pre denné a nočné videnie.[38]



Obrázok 4-3: Vertikálna zložka pohľadu vodičov pre denné a nočné podmienky[38]

U distribúcie pohľadu v horizontálnom smere za rôznych svetelných podmienok nebola preukázaná zmena v sledovacích pohyboch oka. Za nočných podmienok u vertikálneho smeru bola pozorovaná úchylka u vodiča č.2 a vodiča č.3. Štúdium uvádza, že posun vo vertikálnom smere pohľadu môže byť následkom nízkeho osvetlenia mimo oblasť osvetlenú autom. Ďalším poznatkom bola veľkosť 50% obrysu pohľadu. V tomto prípade bola odchýlka zaznamenaná vo vertikálnom smere za nočných podmienok.[38]

V práci bola rovnako spracovaná i problematika vplyvu svetelných podmienok na zorné pole. Metóda bola založená na detekcii reakčného času, v ktorom dokázal testovaný subjekt reagovať na podnet v zornom poli. Výsledky poukazujú, že reakčný čas v blízkej periférii (-75°, -45°, 45°, 75°) za mezopických podmienok je závislý na jase stimulov v zornom poli. Jas stimulov mal dopad i na počet stimulov, ktoré testovaný subjekt nebol schopný pri teste zachytiť. Zmeny v spektrálnej citlivosti boli pozorované za mezopických podmienok pri jase pozadia 0,1 cd/m<sup>2</sup>. Reakčný čas na stimuly v periférnej oblasti pri použití modrého svetla bol kratší ako pri použití červeného a žltého svetla.[38]

#### 4.4 Vplyv svetelných podmienok na kontrastnú citlivosť

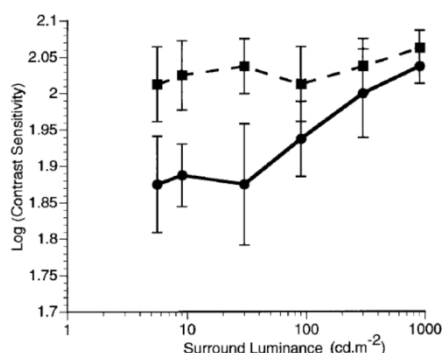
Kontrastná citlivosť je považovaná za užitočné meranie zrakovej funkcie pacienta, ktorý má pocit zhoršenej kvality videnia avšak jeho zraková ostrosť je nezmenená. Meranie kontrastnej citlivosti je užitočné tiež pre pokrok v liečbe šedého zákalu, pre etiologie tupozrakosti, pre choroby oka spojené s neurologickými patológiami gangliových buniek v sietnici ako je zelený zákal.[39]

Vplyv svetelných podmienok na kontrastnú citlivosť myopov bol pozorovaný v práci [35]. Kontrastná citlivosť bola pozorovaná pri úrovni jasov vyšetrovne 30; 0,3; 0,03 cd/m<sup>2</sup>, na piatich priestorových frekvenciách 2,4,8,12 a 16 čiar/stupeň. Pri teste bola použitá obrazovka s jasom 100 cd/m<sup>2</sup>. Testovaní boli rozdelení do dvoch skupín: vysokí myopovia (v rozmedzí -6, -9 D) a „emetropovia“ (s refrakčným stavom do 1 D). Výsledky závislosti kontrastnej citlivosti sa nepreukázali ako štatisticky významné. Výskum vyhodnocuje u myopov zvýšenú citlivosť pri jase 0,01 cd/m<sup>2</sup> (0,023 log jednotiek) u statického testu. Blikajúci test preukázal vyššiu citlivosť pri jase 100 cd/m<sup>2</sup> (0,096 log jednotiek). [35]

Kontrastná citlivosť detegovaná na Landoltových kruhoch je zlepšená pokiaľ je dosiahnuté zúženie zornice a podmienky okolia sú spektrálne vhodné na stimuláciu skotopického videnia. A teda okolie, ktoré sa javí v periférnej oblasti zorného poľa jasnejšie, má za následok zvýšenia kontrastnej citlivosti u pozorovateľov bez závislosti na veku. Musí však byť splnená podmienka možnosti zmeny veľkosti pupily kontrakciou.[40]

Testovaním kontrastnej citlivosti dosahujeme odlišných výsledkov v závislosti na vekovej skupine testovaných a rovnako v závislosti na použitý typ testu. V porovnaní s Frankfurt-Freiburg testom kontrastnej citlivosti a funkčným testom kontrastnej citlivosti (test prevádzaný na piatich priestorových frekvenciách) je dosahované najlepšieho opakovania použitím Pelli- Robson tabuľky za fotopických podmienok. Tento fakt bol pozorovaný pri testovaní subjektov vo vekovom rozmedzí 21-69 rokov. V štúdiu [41] pri porovnávaní výsledkov kontrastnej citlivosti použitím troch vyššie uvedených testov boli dosahované najlepšie výsledky kontrastnej citlivosti na Frankfurt-Freiburg teste. V štúdiu boli testovaní i jedinci so senilnou kataraktou. Pre jedincov s kataraktou je najlepšie opakovateľný test kontrastnej citlivosti test používajúci písmena.[41]

Test kontrastnej citlivosti v práci [42] bol prevádzaný na piatich ľuďoch (vo vekovej kategórii do 32 rokov). Kontrastnú citlivosť štúdium hodnotí podľa testu Pelli-Robson a počítačovo generovanou sínusovou krivkou kontrastnej citlivosti. Plná čiara zobrazuje výsledky Pelli-Robson testu prevádzaného zo 4 metrov a prerušovaná čiara zobrazuje výsledky testu prevádzaného z 1 metru. Obrázok 4-4 zobrazuje logaritmus kontrastnej citlivosti v závislosti na použitém jase prostredia.



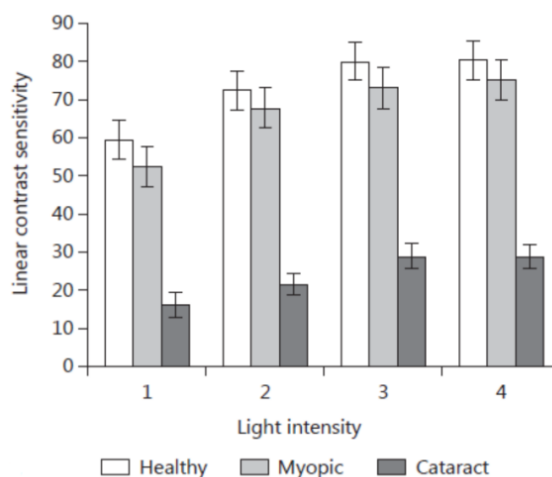
**Obrázok 4-4:** Logaritmus kontrastnej citlivosti štyroch meraných objektov pomocou Pelli –Robson testu. [42]

Kontrastná citlivosť rastie pri použití testov s písmenami pri vysokej hodnote jase okolia (900 cd/m<sup>2</sup>). Tento fakt platí iba pri vyšetrovacej vzdialenosti 4m pri základnej

frekvencii písmen 3,49 čiar/stupeň a za podmienok, že zornica nie je kontrolovaná. Pri testovaní kontrastnej citlivosti pomocou sínusovej krivky. Autor štúdie uvádza rozpor medzi výsledkami a v tomto prípade vysoká hodnota jasu okolia spôsobila zníženie kontrastnej citlivosti. Najvyššie hodnoty kontrastnej citlivosti boli dosahované pri jase  $9 \text{ cd/m}^2$ . [42]

Práca [43] naviazala na prácu [42] potvrdením závislosti kontrastnej citlivosti na jase okolitého prostredia. Test previedli na tridsiatich osobách. Testovaní nemali žiadne očné komplikácie, ani problémy so škúlením a tupozrakosťou. Jas okolitého priestoru bol  $0,5 \text{ cd/m}^2$  a  $150 \text{ cd/m}^2$ . Pole s testovými značkami malo jas  $200 \text{ cd/m}^2$ . Testovanie kontrastnej citlivosti prevádzali na modifikovanom teste Pelli-Robson. Štúdium poukazuje na dosahovanie vyšších hodnôt kontrastnej citlivosti pri jase okolitého priestoru  $150 \text{ cd/m}^2$ . V tejto práci bolo prevádzané i meranie priemeru zornice (*angl.* pupil size diameter). Zúženie zornice bolo navodené zvýšením jasu priestoru a bolo dosiahnuté lepšie osvetlenie sietnice a následná vyššia kontrastná citlivosť. Testované osoby boli v priemere schopné prečítať pri jase  $150 \text{ cd/m}^2$  o dve skupiny písmen modifikovaného Pelli-Robson testu viac ako pri zníženom jase. [43]

Štúdium [44] poukazuje, že zvyšujúca sa hodnota intenzity osvetlenia nemá pozitívny vplyv na kontrastnú citlivosť u ľudí so šedým zákalom. Práca bola zameraná na identifikáciu vplyvu zvyšujúcej sa intenzity svetla na kontrastnú citlivosť testovaných na emetropoch, myopoch a ľudí s kataraktou. Kontrastnú citlivosť testovali na 45 sínusových prahoch. Použitý jas odpovedal 34, 68, 154,  $240 \text{ cd/m}^2$ . Pri jase  $240 \text{ cd/m}^2$  bolo pozorované zhoršenie kontrastnej citlivosti u testovaných s kataraktou v priemere 3-5 priestorových frekvencií. Zvyšujúca sa hodnota jasu u myopov a emetropov bola vyhodnotená za pozitívne vplyvajúci faktor na kontrastnú citlivosť. Spracovanie výsledkov je ukázané na obrázku 4-5. Na základe výsledkov kontrastnej citlivosti bol vyhodnotený optimálny jas pre denné použitie na krátku vzdialenosť v škále 68 až  $240 \text{ cd/m}^2$ . [44]



**Obrázok 4-5:** Závislosť lineárnej kontrastnej citlivosti na intenzite svetla u emetropov (*angl. healthy*), myopov (*angl. myopic*) a u testovaných s kataraktov (*angl. cataract*).[44]

## 4.5 Vplyv svetelných podmienok na farebné videnie

Zornica ľudského oka má pružnejšie reakcie na farebné podnety než na svetelné. Zelený terč vnímaný za skotopických podmienok je achromatický avšak za mezopických podmienok dostáva čistý zelený nádych. Farba ovplyvňuje viditeľnosť predmetu v závislosti na jase.[45]

Úroveň jasu má vplyv na subjektívne vnímanie farebného podnetu. Tento jav je možné pozorovať u trichromaticky vidiacich jedincov avšak i u jedincov s poruchou farebného videnia. Vplyv svetelných podmienok na ľudí s poruchou detekcie červenej farby (protanopov) a na objektoch bez farebnej poruchy spracováva štúdium [46]. Protanopovia vykazovali zvýšenú citlivosť na zmeny jasu. Pri jase  $200 \text{ cd/m}^2$  protonopovia prednostne vnímali iba žltú a bielu farbu. Pri prechode k mezopickému videniu ( $0,2 \text{ cd/m}^2$ ) dokázali detegovať aj iné farby. Zlepšenie farebného videnia so zníženým osvetlením zaznamenali v štúdiu i pomocou 100 Hue testu, pri osvetlení  $200 \text{ cd/m}^2$  došlo k trinástim chybám, u zníženého jasu  $0,2 \text{ cd/m}^2$  k siedmim. [46]

Ľudia s poruchou detekcie zelenej a červenej farby (najmä deuteranopia) dosahujú lepších výsledkov pri testovaní farebného videnia pomocou Ishihara tabuliek pri použití volfrámových žiaroviek. Testovaním na Ishihara tabuľkách a pri použití volfrámového osvetlenia dochádzalo k zníženiu počtu deuteranopov, ktorým bola detegovaná porucha farebného videnia pri normálnom dennom osvetlení. [47]

V štúdiu [48] bol prevádzaný Farnsworth Munsell 100 Hue test na troch skupinách ľudí - normálni trichromati, ľudia s poruchami farebného videnia a skupina ľudí s diabetes mellitus II. typu. Test bol prevádzaný pri dvoch typoch osvetlenia – osvetlenie vyšetrovacej kabíny s indexom podania farieb 98 a jasom 0,8-0,9 cd/m<sup>2</sup>. V druhom prípade bolo v štúdiu používané izbové osvetlenie používané v klinikách s indexom podania farieb 79 a s osvetlením 350 luxov. Test preukázal u 26 % (počet testovaných: 20) diabetických subjektov potvrdenie defektu vyskytujúceho sa u diabetikov, porucha vnímania žlto-modrej, ktorý je typický pri zhoršovaní makulárneho edému. Štúdium poukazuje na zmeny vyhodnotenia 100 Hue testu v závislosti na zmene použitého osvetlenia. Štatisticky významný výsledok sa preukázal u skupiny diabetikov ( $p=0,0001$ ). U skupiny trichromatov a ľudí ( $p=0,137$ ) s poruchou farebného videnia ( $p=0,405$ ) nebola zistená štatisticky významná závislosť výsledku 100 Hue testu na osvetlení.[48]

Desaťnásobnej zmene svetelných podmienok pri testovaní zrakovej ostrosti odpovedá zmena 0,06 LogMAR. Tento fakt bol pozorovaný testovaním 28 subjektov vo vekovom rozmedzí 21až 60rokov.[49]

## 4.6 Vplyv svetelných podmienok na binokulárne funkcie

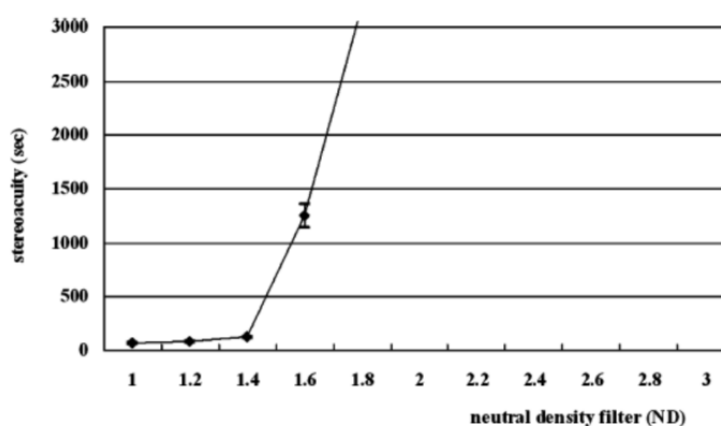
Ovplyvnenie hĺbkového videnia je pozorovateľné najmä u zníženia jasú stimulov jedného oka.[50] Miera konvergencie pozitívne vzrastá pri znížení svetelných podmienok. Podobne ako v štúdiu [51] je možné zmenu konvergencie pri zmene svetelných podmienok určiť použitím prizmatickej lišty. Signifikantná korelácia medzi konvergenciou a svetelnými podmienkami je považovaná za následok zmeny veľkosti zornice. Zväčšenie veľkosti zornice pri znižovaní svetelných podmienok má za následok zníženie hĺbky ostrosti pozorovaného objektu (pri prevádzaní štúdia [51] bola použitá zobrazovacia jednotka v pozorovacej vzdialenosti 33cm). Znížením hĺbky ostrosti ľudské oko viac akomoduje a konverguje aby dokázalo vytvoriť ostrý obraz na sietnici. Pozitívne zvýšenie konvergencie pri znížených svetelných podmienkach môže mať za následok astenopické problémy a pocit zrakovéj únavy. [51]

V štúdiu [52] bola testovaná zmena akomodácie a konvergencie pri osvetlení miestnosti 177 x a 0,2 lx. V oboch svetelných podmienkach bolo pozorované synchronické kolísanie akomodácie a konvergencie s cyklom 10s.[52]



Používanie počítačov, mobilov, tabletov sa v dnešnej dobe stáva neoddeliteľnou súčasťou každodenného života. Pri používaní vymenovaných zariadení sa uplatňuje akomodácia a konvergencia. Schopnosť zaostrenia na blízke predmety môže byť ovplyvnená použitím rôznych svetelných podmienok. Schopnosť stabilizácie zrakového systému pri práci na blízku vzdialenosť môže byť ovplyvnená i vzdialenosťou a uhlom pod ktorým pozorovateľ sleduje blízky predmet. Pri pozorovaní akomodácie a konvergencie pri troch svetelných podmienkach vyšetrovacej miestnosti (7, 19, 33 luxov) na 33 subjektoch bola pozorovaná vyššia pozitívna fúzna vergencia za nižších svetelných podmienok. Túto problematiku spracováva štúdium [53], v ktorom neboli zaznamenané štatisticky významné rozdiely fúznej vergencie s ohľadom na pohlavie testovaných. Štatisticky významné hodnoty boli namerané určením blízkeho bodu rozostrenia (angl. blur point – BP), bodu rozdvojenia (angl. break- BR), a bodu opätovného spojenia (angl. recovery point – RP). V štúdiu bola zistená priemerná zmena pri použití osvetlenia 7 luxov a 33 luxov pre BP -0,07; BR 0,68; RP 0,83. [53]

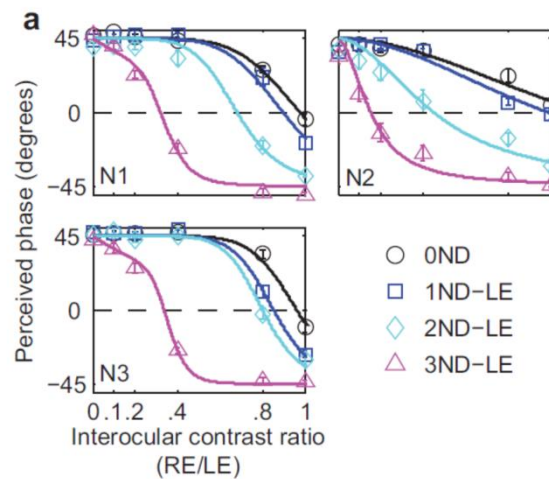
Na základe monokulárneho znižovania osvetlenia sietnice pravého oka bola pozorovaná v štúdiu [54] závislosť stereopsie na znižujúcej sa transmisii. Pri teste bol používaných pätnásť špeciálnych filtrov, ktoré navodili transmisiiu od 63 % až do 0,1 %. Test bol prevádzaný na 50 subjektoch pomocou dvoch typov stereo testov – Titmus, Lang test. Výsledky poukazujú na skorší pokles času rozpoznania hĺbkového vnemu ( $p < 0,01$ ) testovaním na Titmus testu u 4% transmisie - zobrazené na obrázku 4-6. U Lang testu štúdium poukazuje na pokles stereopsie navodením 2,5% transmisie.[54]



**Obrázok 4-6:** Vplyv zníženia osvetlenia sietnice na použitie hĺbkového videnia.[54]

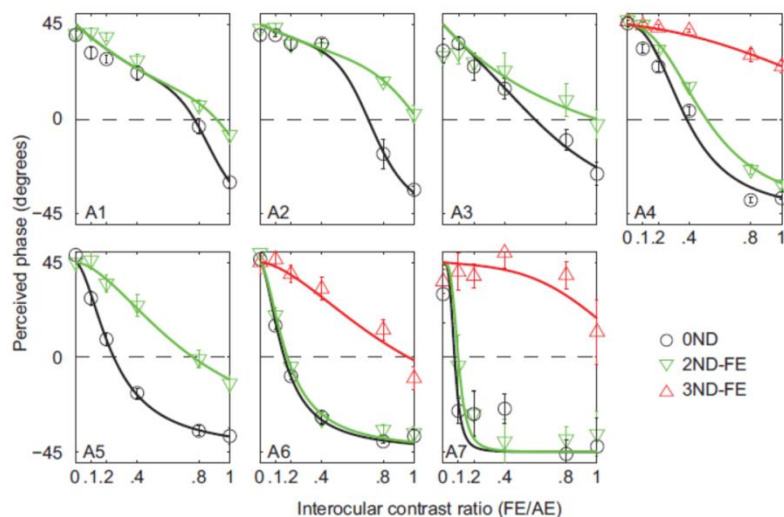
Redukciou jasů stimulu jedného oka je možno ovplyvniť intraokulárnu rovnováhu binokulárnej kombinácie. Štúdium [55] potvrdilo, že tento jav je prítomný u ľudí

bez binokulárnych problémov, ale i u ľudí s amblyopiou. Hlavným cieľom štúdia [55] bolo stanovenie efektívneho kontrastného pomeru v rovnovážnom bode (tzn. kedy nastane bod vyrovnania zobrazení oboch očí v binokulárnej kombinácii). U emetropov bolo pomocou špeciálnych filtrov na ľavom oku navodené amblyopické videnie. Test bol prevádzaný na troch subjektoch. Obrázok 4-7 zobrazuje výsledky pri útlme jasu stimulov ľavého oka a vplyv na binokulárnu kombináciu u troch pozorovaných ľudí. [55]



**Obrázok 4-7:** Vnímaná fáza v závislosti interokulárnej kontrastnej škále, kruh predstavuje 100% transmiu, štvorec 10% transmia, kosoštvorec 1% transmia, trojuholník 0,1% transmia.[55]

Výskum poukazuje na posunutie balančného bodu z dôsledku znižovania jasu v ľavom oku. Bola tiež pozorovaná redukcia dominantnosti ľavého oka v porovnaní s pravým okom. Na základe utlmovania jasu stimulov vedúceho oka amblyopov bolo v štúdiu dosiahnuté zvýšenie príspevku amblyopického oka v binokulárnej kombinácii. Tento výsledok je možné pozorovať na obrázku 4-8.[55]



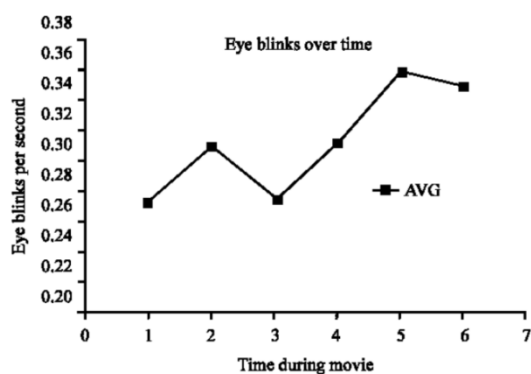
**Obrázok 4-8:** Útlm vedúceho oka pomocou filtrov u siedmich ambyopických subjektov, kruh reprezentuje 100% transmisia, zelený trojuholník 1% transmisia a červený trojuholník 0,1% transmisia vedúceho oka.[55]

V práci [56] bola detegovaná kontrastná citlivosť za binokulárnych podmienok, subjekty boli testované na 4 základných priestorových frekvenciách (3, 10, 20, 30 čiar/ stupeň). Testovanie bolo prevádzané v rozmedzí okolitého jas 1-100  $\text{cd/m}^2$  a jas testového poľa bol nemenný 200  $\text{cd/m}^2$ . Výsledky poukazujú, že kontrastná citlivosť za binokulárnych podmienok rastie pri jase prostredia do 100  $\text{cd/m}^2$ . Následným zvyšovaním jas nad 100  $\text{cd/m}^2$  dochádzalo k poklesu kontrastnej citlivosti na vyšších priestorových frekvenciách. [56]

## 4.7 Vplyv svetelných podmienok na zrakovú únavu

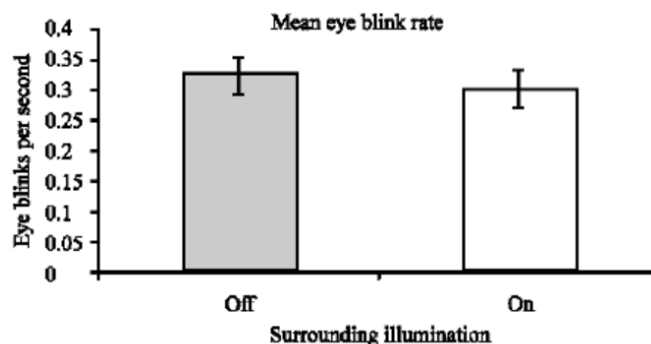
Vplyv svetelných podmienok na zrakovú únavu môže byť posudzovaný z hľadiska niekoľkých faktorov. Faktory vykazujúce štatisticky významné zmeny pri posudzovaní zrakovéj únavy prevádzaním namáhavej zrakovéj úlohy sú: rozsah očných pohybov, subjektívne pocity zhoršenia spôsobujúce citlivosť zraku, frekvencia mrkania, čas rozpoznania. Koordinácia očných svalov a mechanická účinnosť vzrastá iba do určitého bodu. Adaptačná doba sa líši v závislosti na práci, ktorá je vykonávaná. V štúdiu [57] bola vyhodnotená addukčná sila očných svalov počas celej periódy (2 a 4 hodiny) prevádzania testu na zrakovú únavu u testovaných subjektov. Testované subjekty dosahovali zlepšenie zrakových funkcií počas namáhavej zrakovéj úlohy. Alternujúce striedanie osvetlenia nad optimálnou hladinou spôsobilo pokles výkonnosti testovaných subjektov a zvýšilo ich zrakovú únavu.[57]

Pri štúdiu vplyvu svetelných podmienok na zrakovú únavu boli v štúdiu [58] 4 testovaní vystavení sledovaniu 30 minútového aktívneho a 30 minút neaktívneho filmu. Test bol posudzovaný z hľadiska dvoch svetelných podmienok (s osvetlením miestnosti, bez osvetlenia miestnosti). Výsledky testu boli spracované s ohľadom na subjektívne ohodnotenie únavy, mrkanie, reakčnej doby latencie. Výsledky boli vyhodnotené i na základe elektro-fyziologického merania. Z hľadiska subjektívneho ohodnotenia boli podmienky bez osvetlenia miestnosti vyhodnotené ako menej priaznivé kvôli zvýšeniu zrakovej únavy a nepohodlia testovaných. Obrázok 4-9 zobrazuje priemerný počet mrknutí za sekundu. Časové údaje na osi x reprezentujú dobu sledovania filmu. Čas sledovania filmu reprezentuje kombináciu oboch svetelných podmienok. Obrázok poukazuje na pokles mrknutí približne v strede. V práci je tento pokles hodnotený ako zmena druhu filmu.[58]



**Obrázok 4-9:** Výsledky priemerného počtu mrknutí za sekundu v závislosti na čase sledovania filmu.[58]

Obrázok 4-10 poukazuje na pokles počtu mrknutí pri sledovaní filmu s osvetlením. Nakoľko výskum nepreukázal štatisticky významné výsledky, stupeň zrakovej únavy pri sledovaní filmu je posudzovaný ako prah, ktorý nebol dosiahnutý dostatočne pre následnú správnu detekciu jednotlivými metódami.[58]



**Obrázok 4-10:** Počet mrknutí pre dve rôzne svetelné podmienky.[58]

Používaním moderných technológií môžeme tiež pozorovať zrakovú nepohodu, ktorá je často spôsobená predĺženou zrakovou činnosťou. Špecifické symptómy ako bolesť v okolí očí, rozmazané videnie a bolesť hlavy majú za následok vnímanie zrakovéj únavy.[59] Zrakovú únavu je možno pozorovať pri osvetlení očí obrazovkou počítača. Osvetlenie, pri ktorom je zrakový systém citlivý, bol experimentálne určený hodnotou 85 luxov. Pri jedn hodinovom prevádzaní testu pri hladine osvetlenia v úrovni očí 5 luxov sa rozmedzie očných mrknutí pohybuje v priemernom rozsahu 150-300. Pri zvýšenej hodnote osvetlenia (85 luxov) dochádza k poklesu počtu mrknutí. Maximálna hodnota mrknutí bola učená na 100 mrknutí za hodinu. Znížený počet mrknutí pri zrakovéj úlohe zaťaženej osvetlením 85luxov výskum [60] vyhodnocuje za následok pozorovanej zrakovéj únavy.[60]

#### 4.8 Vplyv svetelných podmienok na výsledné stanovenie korekcie

Vyšetrovne optometristov sa vyznačujú vysokou variabilitou použitých svetelných zdrojov. Niektoré vyšetrovne sú osvetlené denným svetlom iné interiérovým osvetlením. Štúdium [61] poukazuje priemernú zmenu -0,25 D v subjektívnej refrakcii na dvojfarebnom teste pri dvoch rôznych úrovniach jasov vo vyšetrovacej miestnosti.[61]Vysoké hodnoty jasov môžu spôsobiť zúženie zornice, čo spôsobuje nepriaznivý účinok v dôsledku difrakcie. Dochádza k rozšíreniu Airyho disku na sietnici, ktorý zníži viditeľnosť prezentovaného testu počas prevádzania subjektívnej refrakcie. Môže tak dôjsť k prekorigovaniu klienta.[62]

V štúdiu [62] bol testovaný efekt dvoch svetelných podmienok na výsledky subjektívnej refrakcie na 30 subjektoch. U prevádzaného testu nebola zistená štatisticky významná závislosť zrakovéj ostrosti na úrovni jasov miestnosti( pri zapnutom osvetlení miestnosti  $p=0,89$ ; bez osvetlenia miestnosti  $p=0,98$ ). Nebola preukázaná ani štatistická závislosť subjektívnej refrakcie na použitom optotype (Snellen  $p=0,88$ ; projekčný optotyp  $p=0,85$ ; závesný optotyp  $p=0,94$ ) [62]

V nadväzujúcom štúdiu [63] bol opakovane prevedený test na 30 študentoch, v rozsahu refrakčných chýb plan až  $-7,75$  D, s astigmatizmom do veľkosti cylindru  $-1,75$  a s anizometriou do 1 D. Pri rôznych úrovniach jasú vyšetrovacej miestnosti opakovane nebola preukázaná závislosť subjektívnej refrakcie na osvetlení vyšetrovne ( $p=0,61$ ). V rozpore s výskumom [62] bolo zaznamenané, že na zrakovú ostrosť a následné stanovenie korekcie má vplyv výber používaného optotypu. Pri vyšetrení na Snellenovom optotype (písmenové tabuľky) boli dosahované lepšie hodnoty zrakovej ostrosti ako pri použití optotypu vo forme vytlačenej tabuľky povesej na stene a projekčného optotypu. Level kontrastu projekčného optotypu závisí na osvetlení vyšetrovacej miestnosti. Projekčné optotypy znižujú kontrastnú citlivosť vyšších priestorových frekvencií. Tento fakt bol vyhodnotený ako následok prezentácie a zaostrenia oslňujúceho zdroja projekčného prístroju. Nástenné a Snellenove testové tabuľky vykazovali rozdielnosť vo veľkosti medzier. Zraková ostrosť sa prejavila lepším výsledkom u optotypu so širšími medzerami ako dôsledok zníženia interakcie kontúr.[63]

## 5 Experimentálna časť

### 5.1 Úvod

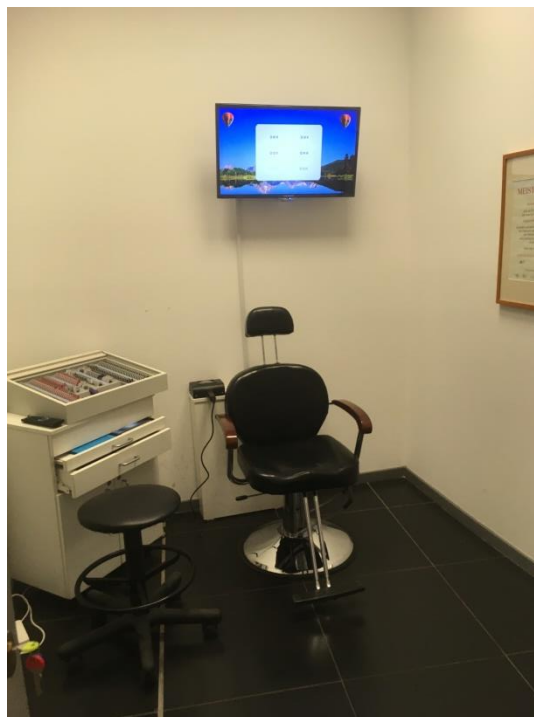
Na vybranej vzorke ľudí sme prevádzali testovanie zrakovej ostrosti a rozpoznania znakov pri rôznych úrovniach kontrastu. Testy boli prevádzané pri dvoch úrovniach jasnosti refrakčnej miestnosti a optotypu. Výsledky poukazujú na zmenu výsledkov s ohľadom na použité svetelné podmienky.

### 5.2 Metodika experimentálnej časti

Experimentálna časť bola prevádzaná pomocou refrakčnej jednotky- Pascal 3D.[64] Vyšetrenie zahŕňovalo poradie výkonov: anamnéza, objektívna refrakcia, subjektívna refrakcia za fotopických podmienok (stanovenie najlepšej sférocylindrickej korekcie), vyšetrenie binokulárnych funkcií, Pelli–Robson test za fotopických podmienok, úprava podmienok na mezopické, adaptácia po dobu 5 minút, stanovenie zrakovej ostrosti pri mezopických podmienkach, stanovenie zmeny refrakcie za mezopických podmienok, Pelli–Robson test za mezopických podmienok. Subjektívnu refrakciu zahŕňovali testy: pre určenie sférocylindrickej korekcie- stupnica LogMAR, bodkový test; monokulárne vyváženie- červeno-zelený test; určenie dominancie; binokulárne vyváženie- dvojriadkový test, Cowenov test; určenie prizmatickej korekcie- Schoberov test; K-test; test na pravé nekonečno. Pre následné spracovanie výsledkov bol zápis výslednej korekcie prepočítaný na sférický ekvivalent. [65] Ukážka použitej refrakčnej jednotky je zobrazená na obrázku 5-1.

Na určovanie zrakovej ostrosti bola použitá LogMar stupnica. Pre ďalšie spracovanie výsledkov, boli hodnoty dosiahnutého vízu interpolované na Vyšetrenie zrakovej ostrosti pri rôznych úrovniach kontrastu bolo prevádzané pomocou Pelli–Robson testu. Stanovenie výsledku Pelli-Robson testu prebiehalo so subjektívne stanovenou korekciou za fotopických podmienok. Po stanovení korekcie, zrakovej ostrosti a Pelli–Robson testu za fotopických podmienok boli upravené podmienky osvetlenia v refrakčnej miestnosti a optotypu na mezopické. Adaptačná doba po zmene svetelných podmienok bola 5 minút. Následne bola prevádzaná kontrola zrakovej ostrosti, rozpoznávania znakov pri rôznych úrovniach kontrastu a výslednej korekcie za mezopických podmienok. Použitá vyšetrovacia miestnosť bola bez vonkajšieho osvetlenia. Využitie fotopické a mezopické podmienky vo vyšetrovacej miestnosti odpovedali hodnotám osvetlenia 360 lx; 1,2 lx.

Vyšetrované subjekty pozorovali optotyp na televíznej obrazovke, ktorá bola zobrazovaná pomocou techniky zobrazenia v zrkadle. Jas obrazovky odpovedá za fotopických podmienok  $240 \text{ cd/m}^2$  a za mezopických podmienok  $75 \text{ cd/m}^2$ . Svetelné podmienky boli určené pomocou luxmetru (VELLEMAN DVM1300) [66] a hodnoty jasu boli získané nepriamym meraním pomocou luxmetru [24]. Optotyp bol umiestnený vo vzdialenosti 5,6 m od pozorovateľa.

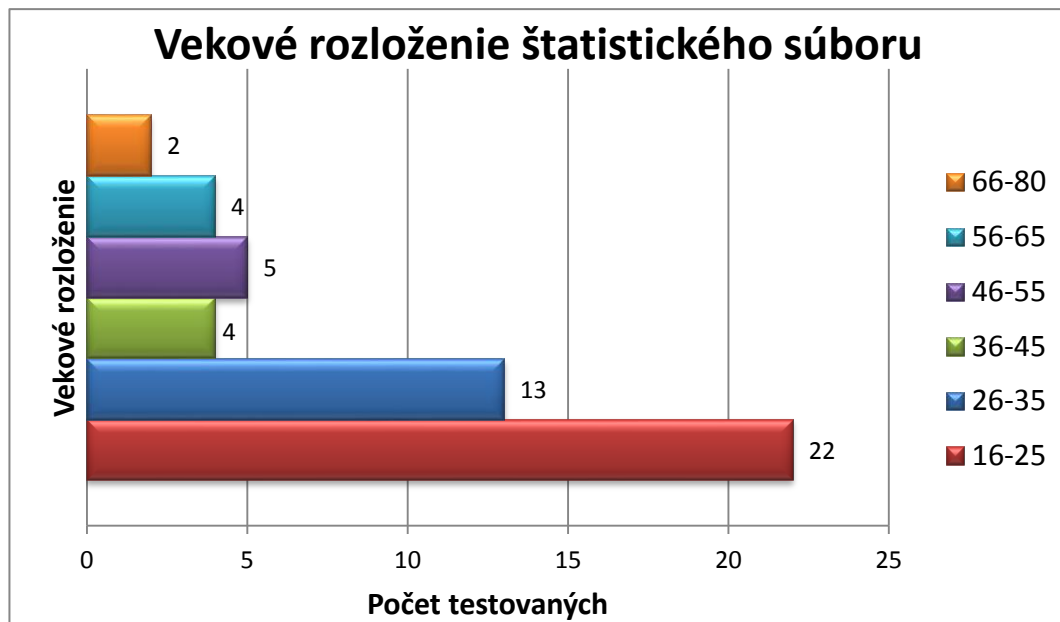


**Obrázok 5-1:** Refrakčná jednotka

K testovaniu bolo použitých 50 náhodne vybraných klientov, 27 žien a 23 mužov. Vekové rozloženie klientov bolo od 16-76 rokov. Výber štatistického súboru nebol obmedzený žiadnymi ďalšími podmienkami, nakoľko som vo svojej práci chcela obsiahnuť čo najväčšie vekové spektrum s rozmanitou anamnézou. Priemerný vek vzorku ľudí testovaných v experimentálnej časti bol 33,36 rokov. Klientov som rozložila do vekových kategórií: 16-25, 26-35, 36-45, 46- 55, 56-65, 66-80. Rozloženie počtu testovaných pre jednotlivé vekové kategórie je zobrazené v obrázku č.5-2. Namerané dáta sú uvedené v prílohe A práce v tabuľke. V práci uvádzame iba vybrané dáta, ktoré sme primárne využili pri zostavovaní štatistickej analýzy. Anamnéza a výsledky jednotlivých prevádzaných testov v tabuľke nie sú zaznamenané. Dáta namerané za fotopických podmienok



sú v tabuľke (Príloha A) uvedené v zelených stĺpcoch, dáta namerané za mezopických podmienok sú uvedené v žltých stĺpcoch. V prílohe B uvádzame dotazník, ktorý bol zostavený a používaný pri prevádzaní subjektívnej refrakcie.



Obrázok 5-2: Vekové rozloženie štatistického súboru

### 5.3 Ciele práce a hypotézy

Hlavným cieľom práce je poukázať na vplyv svetelných podmienok pri stanovení výslednej korekcie, zrakovej ostrosti a rozpoznania znakov pri rôznych úrovniach kontrastu.

Pre túto prácu boli stanovené 3 hypotézy. Všetky hypotézy boli testované pre hladinu významnosti 5%.

Nulová hypotéza  $H_{01}$  a alternatívna hypotéza  $H_1$  skúma vzťah svetelných podmienok pri stanovení výslednú korekciu.

*$H_{01}$ : Svetelné podmienky majú vplyv na výsledné stanovenie korekcie.*

*$H_1$ : Svetelné podmienky nemajú vplyv na výsledné stanovenie korekcie.*

Nulová hypotéza  $H_{02}$  a alternatívna hypotéza  $H_2$  skúma vzťah svetelných podmienok a zrakovú ostrosť.

*$H_{02}$ : Svetelné podmienky majú vplyv na zrakovú ostrosť.*

*$H_2$ : Svetelné podmienky nemajú vplyv na zrakovú ostrosť.*

Nulová hypotéza  $H_{03}$  a alternatívna hypotéza  $H_3$  skúma vzťah svetelných podmienok a rozpoznávanie znakov pri rôznych úrovniach kontrastu.

*$H_{03}$ : Svetelné podmienky majú vplyv na rozpoznávanie znakov pri rôznych úrovniach kontrastu*

*$H_3$ : Svetelné podmienky nemajú vplyv na rozpoznávanie znakov pri rôznych úrovniach kontrastu.*

V práci bude tiež poukázané či vek a pohlavie majú vplyv na výsledky testovania jednotlivých hypotéz. V diskusii budú zhrnuté individuálne parametre, ktoré ovplyvnili výsledky, ako napríklad očná a osobná anamnéza testovaných. Výsledky experimentálnej časti budú vyhodnotené pomocou štatistickej analýzy ANCOVA [67] závislej premennej – ktorú predstavujú mezopické podmienky, s kovariátom, ktorý predstavujú fotopické podmienky. Táto metóda je vhodná pre analýzu pre-test, post-test, kedy sú merané východiskové hodnoty veličiny a následne opakujeme meranie rovnakej veličiny na zmenených podmienkach. Metóda slúži na vyšetrenie intervencie vzhľadom na ďalšie kovariáty ( v našom prípade vek a pohlavie). Aby sme mohli použiť nasledovnú štatistickú metódu potrebujeme nezávislú vzorku. Keďže naša vzorka ľudí je získaná nezávisle, splnili sme podmienku zabezpečujúcu konzistentnosť odhadov zovšeobecnenia pre danú časť populácie. V štatistickej analýze boli testované štyri závislé premenné: korekcia pravého oka, korekcia ľavého oka, zraková ostrosť a výsledky Pelli–Robson testu. Výsledky budú porovnávané bez/s intervenciou. V prípade našej práce **intervenciu predstavujú dáta namerané pri mezopických svetelných podmienkach** v porovnaní s fotopickými. V práci sme si určili ako kategoriálnu premennú vek a centrovanú premennú pohlavie pre hlbšiu analýzu výsledkov.

Výsledky boli spracované pomocou software SPSS- Statistical Package for the Social Sciences. Použitý nástroj bol „analýza kovariancie pre dáta pre-post test“. Dáta boli testované pre hladinu významnosti 5%. Vyhodnotenie prebiehalo porovnaním hladiny významnosti s p-hodnotou. Pokiaľ p hodnota splňovala podmienku  $p < 0,05$ , premennú sme považovali za štatisticky významnú. [67]

## 5.4 Výsledky

V tejto kapitole sú popísané výsledky experimentálneho merania určené pri fotopických a mezopických svetelných podmienkach vyšetrovacej miestnosti. Pre ľahšiu orientáciu vo výsledkoch bude dodržiavané- označenie zelenou farbou- pokiaľ bola zistená štatisticky významná závislosť. Označenie červenou farbou, pokiaľ nebola zistená štatisticky významná závislosť.

### 5.4.1 Analýza závislosti korekcie na svetelných podmienkach

Pre korekciu pravého oka bola prevedená analýza ANCOVA, ktorej výsledky môžeme sledovať v **tabuľke č. 4**.

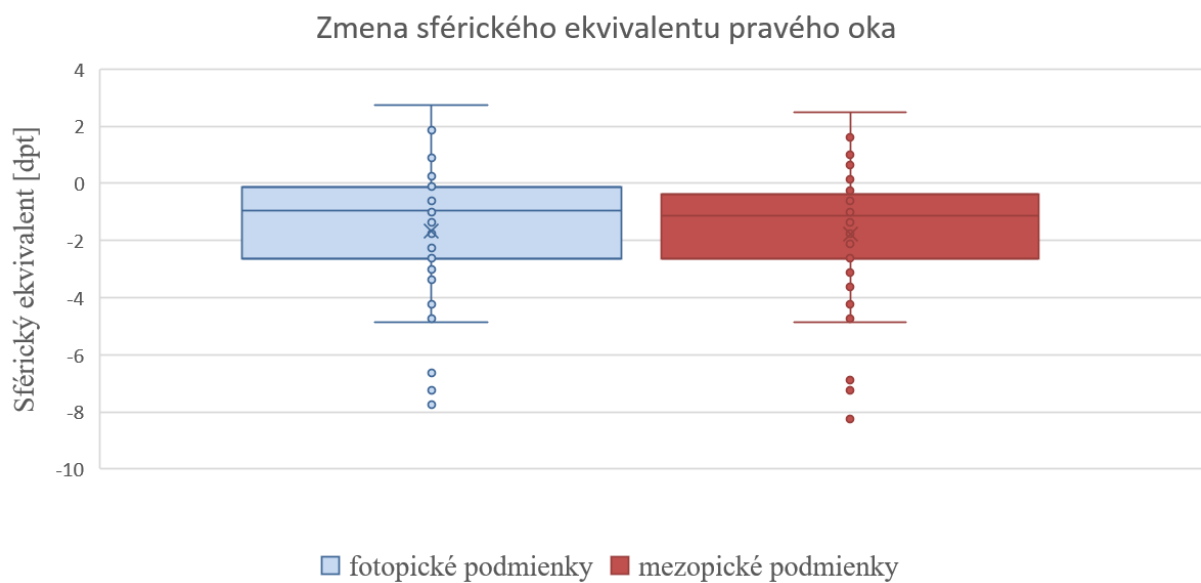
**Tabuľka 4: Výsledky ANCOVA analýzy pre korekciu ľavého oka**

ZDROJ	p-hodnota
INTERVENCIA	0,000
KorekciaOPFP	0,000
VEK	0,291
POHLAVIE	0,091

Farebne vyznačené riadky poukazujú na výsledky štatistickej analýzy. Efekt intervencie (korekcie pravého oka za fotopických a za mezopických podmienok) je významný  $p=0,00$ . Vplyv veku a pohlavia nebol preukázaný ( $p>0,05$ ). Pri prevádzaní vyhodnotenia výsledkov sme si určili priemernú hodnotu sférického ekvivalentu pravého oka za fotopických a za mezopických podmienok. Priemerné hodnoty pre fotopické podmienky (FP), mezopické podmienky (MP), rozdiel priemernej korekcie (FP-MP) a smerodajná odchýlka je zaznamenané v **tabuľke č. 5**. Rozdiel medzi priemernou hodnotou sférického ekvivalentu za fotopických a mezopických podmienok je  $-0,11\pm 0,13$  dpt. Interval spoľahlivosti odhadovaného rozdielu je 95%. Zmena korekcie pravého oka sme nakoniec zaznamenali v obrázku č. **5-3**. Na obrázku môžeme pozorovať malý pokles sférického ekvivalentu pri mezopických podmienkach.

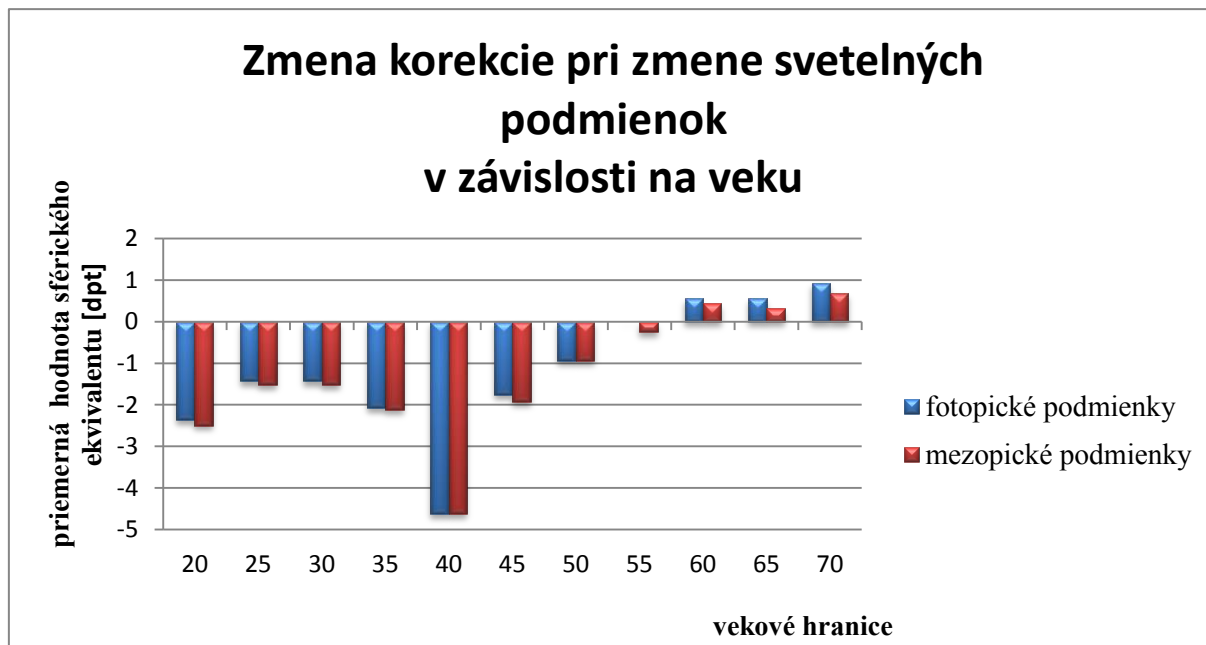
Tabuľka 5: Priemerné hodnoty SE pravého oka

Svetelné podmienky	Priemerná hodnota sférického ekvivalentu [dpt]
Fotopické podmienky (FP)	-1,670
Mezopické podmienky (MP)	-1,785
Rozdiel FP-MP	-0,11
Smerodajná odchýlka	0,13



Obrázok 5-3: Zmena korekcie pravého oka pri zmene svetelných podmienok

Obrázok č.5-4 poukazuje na zmenu korekcie pre jednotlivé svetelné podmienky v závislosti na veku. Štatistický súbor sme si rozdelili vekovými hranicami ktoré sú prezentované na ose x.



**Obrázok 5-4:** Priemerné hodnoty sférického ekvivalentu pri fotopických a mezopických podmienkach s ohľadom na vekové rozloženie štatistického súboru

Pre analýzu korekcie ľavého oka sme obdobne použili štatistický test ANCOVA.

**Tabuľka 6:** Výsledky ANCOVA analýzy pre korekciu pravého oka

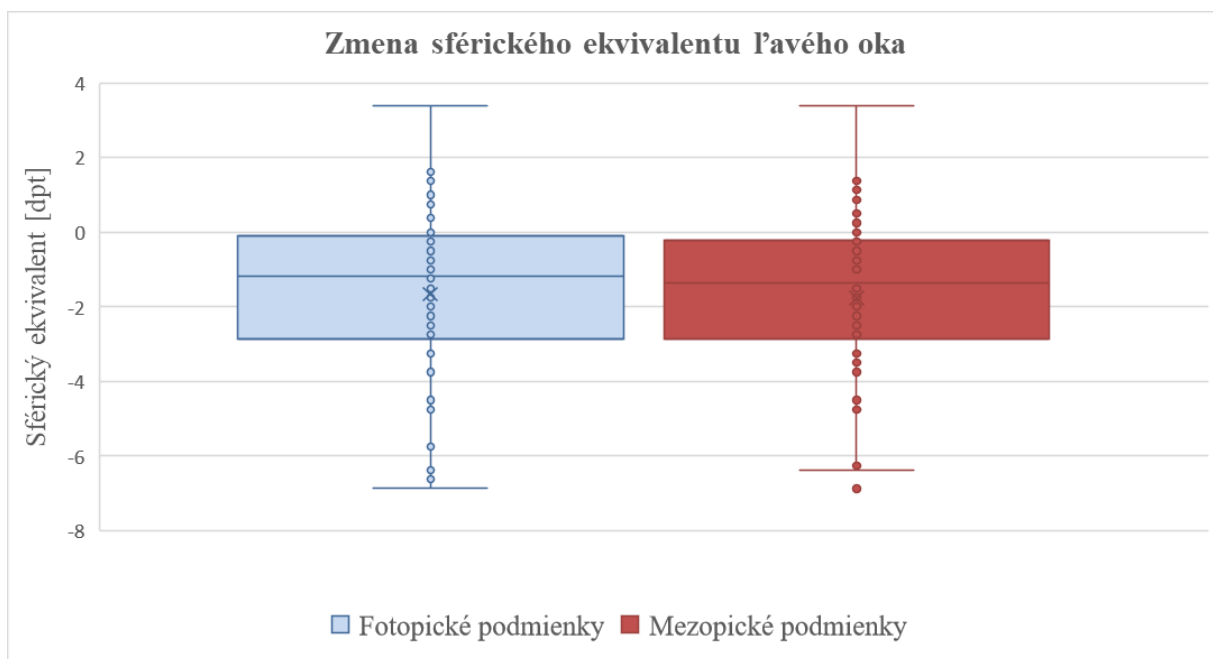
ZDROJ	p-hodnota
INTERVENCIA	<b>0,000</b>
KorekciaOLFP	0,000
VEK	<b>0,376</b>
POHLAVIE	<b>0,091</b>

Efekt intervencie je opäť významný  $p=0,00$  v **tabuľke č.6** je vyznačený zelenou farbou. Ani v tomto prípade nebola preukázaná závislosť na veku a pohlaví ( $p>0,05$ ). Pre grafické znázornenie rozdielu korekcie bola opäť použitá priemerná hodnota sférického ekvivalentu. Rozdiel medzi priemernými hodnotami sférického ekvivalentu za fotopických a mezopických podmienok je poukázaný na obrázku č.5-5. Opäť môžeme pozorovať nízky pokles pri mezopických podmienkach. Priemerné hodnoty sférického pri fotopických

a mezopických podmienkach, rozdiel medzi fotopickými a mezopickými podmienkami a smerodajná odchýlka sú uvedené v **tabuľke č. 7**. Rozdiel priemernej hodnoty sférického ekvivalentu medzi fotopickými a mezopickými podmienkami bol stanovený hodnotou  $-0,11 \pm 0,13$  dpt.

**Tabuľka 7: Priemerné hodnoty sférického ekvivalentu pre ľavé oko**

Svetelné podmienky	Priemerná hodnota sférického ekvivalentu [dpt]
Fotopické podmienky (FP)	-1,660
Mezopické podmienky (MP)	-1,775
Rozdiel FP-MP	-0,11
Smerodajná odchýlka	0,13



**Obrázok 5-5: Zmena korekcie ľavého oka pri zmene svetelných podmienok**

### 5.4.2 Analýza závislosti zrakové ostrosti na svetelných podmienkach

Pri prevádzaní analýzy zrakové ostrosti, boli použité hodnoty vízu dosahované na stupnici LogMAR interpolované na desatinné číslo. Prevedenie štatistickej analýzy ANCOVA je zobrazené v **tabuľke č.8**.

**Tabuľka 8: Výsledky ANCOVA analýzy pre zrakovú ostrosť**

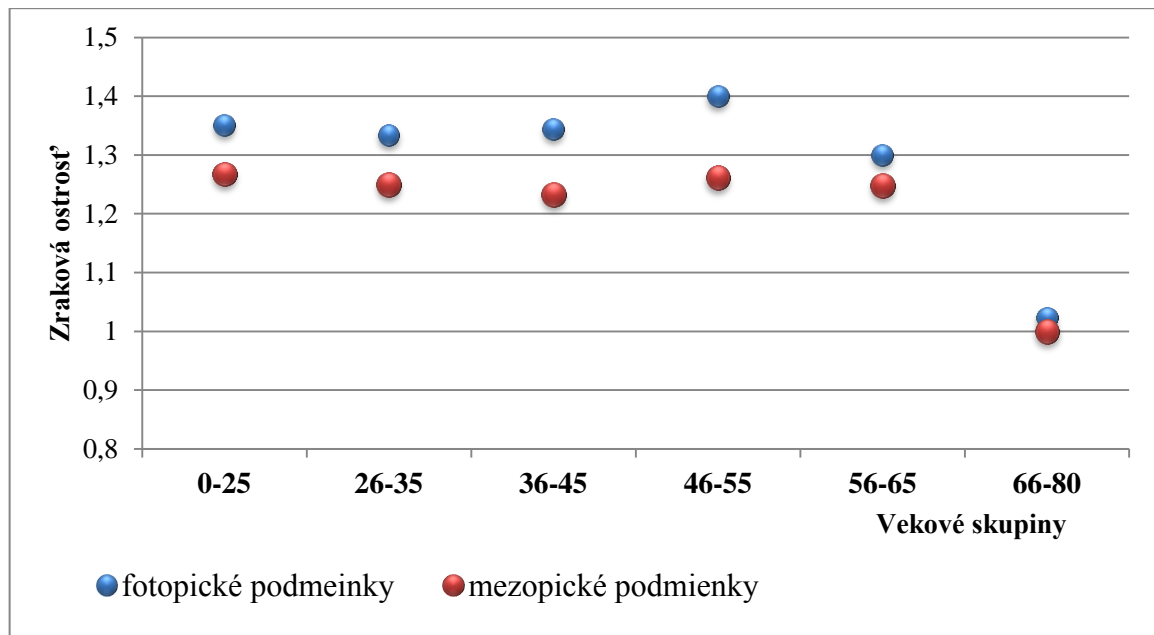
ZDROJ	p-hodnota
INTERVENCIA	<b>0,109</b>
ZrakováostrosťFP	0,000
VEK	<b>0,247</b>
POHLAVIE	<b>0,443</b>

Rozdiel medzi zrakovou ostrosťou za fotopických a mezopických podmienok nebol vyhodnotený ako štatisticky významný **p>0,05**. Vplyv veku a pohlavia nebol potvrdený (**p>0,05**). Zmena zrakové ostrosti s ohľadom na zmenu svetelných podmienok je zobrazená na obrázku č. .Obrázok č.5-6 zobrazuje zmeny zrakové ostrosti u experimentálne overeného štatistického súboru. Modré body predstavujú priemernú zrakovú ostrosť nameranú za fotopických podmienok s najlepšou sférocylindrickou korekciou. Červené body predstavujú priemernú zrakovú ostrosť nameranú u rovnakého subjektu po zmene svetelných podmienok po adaptačnej dobe 5 minút. Zraková ostrosť za mezopických podmienok je v tomto prípade zraková ostrosť určená s najlepšou sférocylindrickou korekciou, ktorá bola určená za fotopických podmienok. Pre vizuálne zobrazenie závislosti zrakové ostrosti na svetelných podmienkach sme si určili priemerné hodnoty zrakové ostrosti pre jednotlivé vekové skupiny. Pri porovnávaní priemernej zrakové ostrosti za fotopických a mezopických podmienok môžeme sledovať veľkosť rozdielu medzi fotopickými a mezopickými podmienkami -0,083. Záporný smer udáva pokles, ktorý sme predpokladali. Priemerné hodnoty a rozdiel zrakové ostrosti dosiahnutej za fotopických a mezopických podmienok je zobrazený v **tabuľke č 9**. Rozdiel medzi zrakovou ostrosťou dosiahnutý pri fotopických a mezopických podmienkach bol určený  $-0,08\pm 0,11$ .



Tabuľka 9: Priemerné hodnoty zrakovej ostrosti

Svetelné podmienky	Priemerná hodnota zrakovej ostrosti
Fotopické podmienky (FP)	1,337
Mezopické podmienky (MP)	1,254
Rozdiel FP-MP	-0,08
Smerodajná odchýlka	0,11



Obrázok 5-6: Priemerná zraková ostrosť dosiahnutá pri fotopických a mezopických podmienkach zobrazená s ohľadom na vekové skupiny

### 5.4.3 Analýza závislosti rozpoznávania znakov pri rôznych úrovniach kontrastu pri svetelných podmienkach

Vyhodnotenie analýzy výsledkov Pelli-Robson testu, na ktorom bolo testované rozpoznávanie znakov pri rôznych úrovniach kontrastu, môžeme sledovať v **tabuľke č.10**.

Tabuľka 10: Výsledky analýzy ANCOVA pre namerané hodnoty Pelli-Robson testu

ZDROJ	p-hodnota
NTERVENCIA	<b>0,000</b>
PelirobsonFP	0,000
VEK	<b>0,000</b>
POHLAVIE	<b>0,689</b>

V tomto prípade môžeme sledovať štatisticky významnú závislosť u intervencie a veku  $p=0,000$ . U pohlavia opäť nebol preukázaný štatisticky významný výsledok. Keďže sme v tomto prípade sledovali štatistickú významnosť veku, navyše sme previedli testovanie veľkosti efektov, ktoré interpretujeme **tabuľkou č.11**. Priemerné hodnoty dosahované za fotopických a mezopických podmienkach Pelli-Robson testu sú uvedené v **tabuľke č.12**.

Tabuľka 11: Výsledok testovania veľkosti efektov

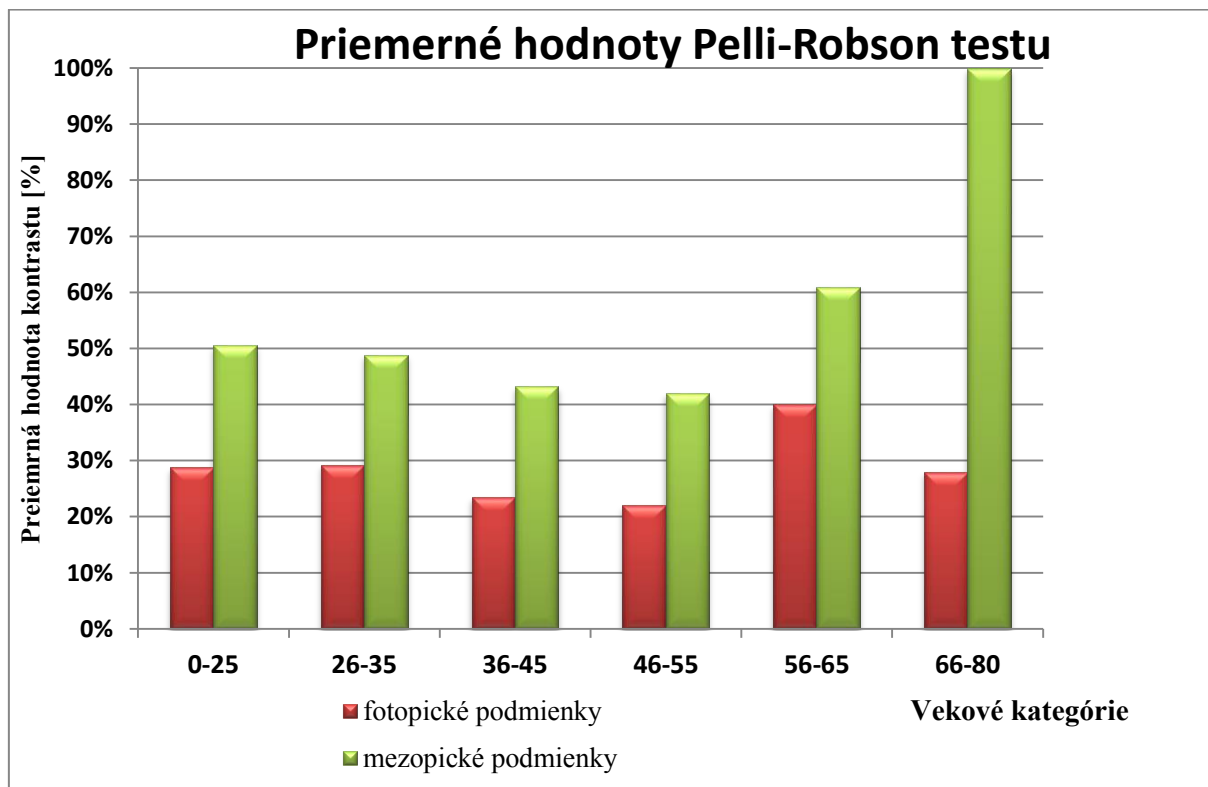
Parameter	B	Std. Error	t	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
VEK	0,007	0,002	4,319	0,000	0,004	0,011

Tabuľka 12: Priemerné hodnoty Pelli- Robson testu

Svetelné podmienky	Priemerná hodnota Pelli- Robson testu
Fotopické podmienky (FP)	0,298
Mezopické podmienky (MP)	0,51
<b>Rozdiel FP-MP</b>	<b>0,21</b>
<b>Smerodajná odchylka</b>	<b>0,20</b>

Pre interpretáciu výsledku nás zaujíma koeficient  $B=0,007$ . Keďže je tento koeficient kladný môžeme konštatovať, že výsledok Pelli-Robson testu s vekom narastá. Koeficient B nám ďalej uvádza percentuálnu hodnotu nárastu, v tomto prípade je nárast 0,7% na 1 rok

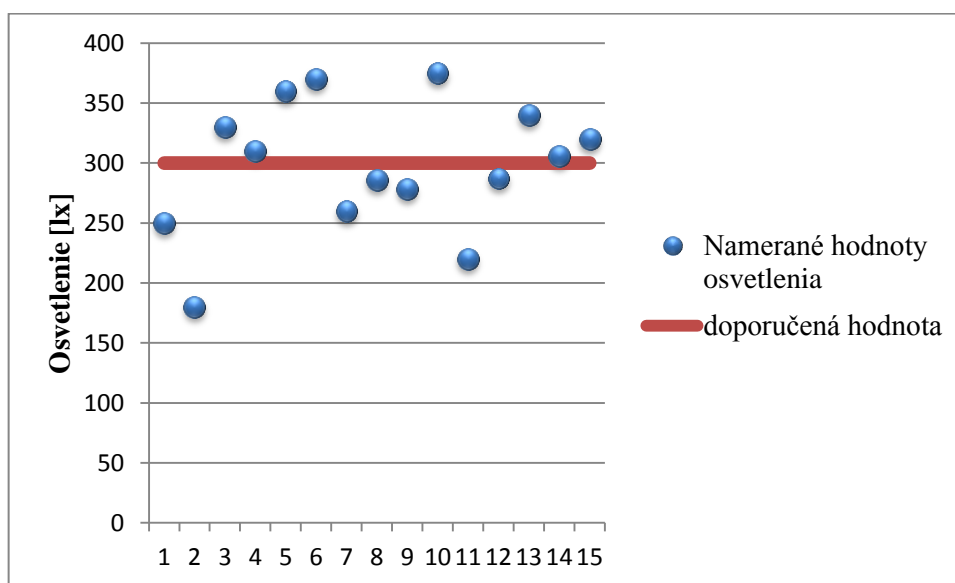
alebo tiež 7% na 10 rokov. Na obrázku č.5-7 je zobrazená priemerná hodnota Pelli-Robson testu s ohľadom na vekové skupiny testovaných. Obrázok 5-7 poukazuje zhoršenie výsledkov Pelli –Robson testu dosahovaných pri mezopických podmienkach. Môžeme sledovať výrazné zhoršenie výsledku pre vekovú skupinu 66-80 rokov. V tejto vekovej skupine sme zaznamenali najvyšší pokles pri rozpoznávaní znakov pri zníženom kontraste.



**Obrázok 5-7:** Priemerná hodnota Pelli- Robson testu pri fotopických a mezopických podmienkach zobrazená s ohľadom na vekové skupiny testovaných

#### 5.4.4 Experimentálne hodnotenie svetelných podmienok pri vyšetrení v praxi

Aby sme prepojili problematiku bakalárskej práce s aktuálnym trhom očných optík v Českej republike, previedli sme kontrolu svetelných podmienok v 15 prevádzkach očných optík v Prahe a blízkom okolí. Testovanie prebehlo anonymne, zistené hodnoty osvetlenia v refrakčných miestnostiach sú poukázané na obrázku č. 5-8. Na obrázku sú prezentované namerané hodnoty osvetlenia i odporúčaná hodnota osvetlenia na základe ISO EN 1246 (2002).[27] Každý bod grafu reprezentuje 1 refrakčnú miestnosť.



**Obrázok 5-8:** Osvetlenie v refrakčných miestnosti pätnástich očných optík

Pri overovaní podmienok v reálnych podmienkach prevádzok optík sme sa obmedzili iba na overenie svetelných podmienok v refrakčnej miestnosti. Overenie osvetlenia optotypu nebolo prevedené, nakoľko sme nemali k dispozícii prevádzky s rovnakým typom optotypu. Môžeme konštatovať, že prevádzky v ktorých svetelné podmienky presahovali odporúčanú hranicu boli väčšinou osvetlené denným svetlom. Naopak, prevádzky, u ktorých bolo zistené osvetlenie refrakčnej miestnosti výrazne pod doporučenou hodnotou boli prevádzky iba s umelým osvetlením, v ktorých nebolo osvetlenie situované na vhodnom mieste.

## 6 Analýza hypotéz

Na základe výsledkov interpretovaných v predchádzajúcej kapitole vychádzajúcich zo štatistickej analýzy prevedenej na teste ANCOVA bude v tejto kapitole prevedená analýza hypotéz.

Hypotéza  $H_{01}$  („Svetelné podmienky majú vplyv na výslednú korekciu“) prijímame pre dosiahnutú hodnotu štatistickej významnosti  $p=0,000$  na hladine významnosti 5 %. Priemerný zistený rozdiel medzi korekciou určenou pri fotopických podmienkach a korekciou určenou pri mezopických podmienkach bol určený  $-0,11 \pm 0,13$  dpt. Zmena nastala v očakávanom smere. Hypotézu  $H_1$  („Svetelné podmienky nemajú vplyv na výslednú korekciu“) zamietame.

Hypotézu  $H_{02}$  („Svetelné podmienky majú vplyv na zrakovú ostrosť.“) nezamietame pre dosiahnutú hodnotu štatistickej významnosti  $p=0,109$  na hladine významnosti 5%, avšak nemôžeme zamietnuť ani hypotézu  $H_2$  („Svetelné podmienky nemajú vplyv na zrakovú ostrosť.“). Pri prevedení štatistického testu ANCOVA nebol zistený žiadny signifikantný rozdiel.

Hypotézu  $H_{03}$  („Svetelné podmienky majú vplyv na rozpoznávanie znakov pri rôznych úrovniach kontrastu“) prijímame pre dosiahnutú štatistickú hodnotu  $p=0,000$  na hladine významnosti 5 %. Hypotézu  $H_3$  („Svetelné podmienky nemajú vplyv na rozpoznávanie znakov pri rôznych úrovniach kontrastu“) zamietame.

Pre prehľadnosť uvádzame v **tabuľke č. 13** analýzu hypotéz.

**Tabuľka 13: Analýza hypotéz**

Hypotézy	Analýza hypotéz
Nulová hypotéza $H_{01}$ s alternatívnou hypotézou $H_1$	$H_{01}$ prijímame a $H_1$ zamietame
Nulová hypotéza $H_{02}$ s alternatívnou hypotézou $H_2$	$H_{02}$ nezamietame a nezamietame ani $H_2$
Nulová hypotéza $H_{03}$ s alternatívnou hypotézou $H_3$	$H_{03}$ prijímame a $H_3$ zamietame

## 7 Diskusia

Prevedením štatistickej analýzy experimentálne nameraných dát sme poukázali na štatisticky signifikantný vplyv svetelných podmienok na výslednú korekciu a výsledky Pelli-Robson testu. Priemerná zmena korekcie pri zmene svetelných podmienok bola očakávaná v zápornom smere, na základe štúdia problematiky vplyvu svetelných podmienok na zrakové funkcie. Priemerná zmena korekcie štatistického súboru v našej práci bola určená binokulárne na  $-0,11 \pm 0,13$  dpt. Usudzujeme, že hodnota rozdielu korekcie medzi fotopickými a mezopickými podmienkami je ovplyvnená skladbou testov, na ktorých je najlepšia sférocylická korekcia určovaná, rovnako závisí od dĺžky adaptačnej doby. V našom štúdiu bola korekcia za fotopických podmienok prevádzaná veľmi citlivo na širokej škále testov (viď. kapitola Metodika experimentálnej časti). Naš výsledok je porovnateľný s výsledkom štúdia [62]., v ktorom bola zmena korekcie testovaná na červeno- zelenom teste.

Pri porovnávaní jednotlivých výsledkov, ktoré dosahovali maximálne hodnoty v rozmedzí  $-0,12; -0,25$  dpt, bol zaznamenaný významnejší výkyv v zmene korekcie u pacienta, ktorý bol po operácii keratokonu a bol aktívnym nosičom RGP šošoviek. Meranie absolvoval po 10 minútach od vybratia RGP šošoviek. Zmena korekcie medzi fotopickými a mezopickými podmienkami predstavovala  $-0,5$  dpt. Výsledok môže byť skreslený neúplnou stabilizáciou slzného filmu.

V našej práci nebol zistený štatisticky signifikantný vplyv svetelných podmienok na zrakovú ostrosť, čím sa práca približuje k výsledkom štúdie [33]. Naš výsledok je v rozpore so štúdiom [34,37]. Možné dôvody vidíme v nedostatočnej adaptácii klienta na mezopické podmienky, menší počet testovaných vo vyšších vekových kategóriách, u ktorých by mohla byť preukázaná vyššia závislosť zrakovej ostrosti na svetelných podmienkach.

Ako sme preukázali, svetelné podmienky môžu ovplyvniť so štatistickou významnosťou rozpoznávanie znakov pri rôznych úrovniach kontrastu. V našom prípade bol zistený nárast výsledku Pelli–Robson testu i s ohľadom na vek, a to o 7% na 1 rok. Pri porovnaní výsledku našej experimentálnej časti so štúdiami, v ktorých prevádzali Pelli–Robson test pri rôznych svetelných podmienkach sa najviac zhodujeme s výsledkom

štúdia [43], v ktorom bolo rovnako poukázané na lepšiu rozoznávaciu schopnosť pri vyšších –fotopických svetelných podmienkach.

Výsledky v našej práci neboli vyhodnotené s ohľadom na očné anamnézu. U niektorých pacientov sme sa mohli stretnúť s výrazne odlišnými výsledkami testov. Ako sme spomínali vyššie, jednalo sa o pacienta po operácii keratokonu. V našom štatistickom súbore sa vyskytli i pacienti s počínajúcou kataraktou, u ktorých sme zaznamenali významný pokles na Pelli–Robson teste – bola zaznamenaná zmena o 3 skupiny písmen. Niektoré subjekty, ktoré sme pri prevádzaní experimentálnej časti namerali sme v práci neuviedli. Kvôli štatistickej analýze nebolo možné zahrnúť subjekty, ktoré dosahovali po zmene svetelných podmienok nekorešpondujúci vízus na Pelli–Robson teste (napr. muž, 43 rokov pri fotopických podmienkach dosiahol výsledok Pelli–Robson testu 100 % pri víze 1,25; pri mezopických podmienkach sme museli prepnúť na vízus 1,0 a subjekt dosiahol výsledok Pelli–Robson testu 28%).

## 8 Záver

V optometrickej praxi je potrebné poznať možnosti ovplyvnenia zrakových funkcií svetelnými podmienkami a fyziologické zmeny zrakového systému pri zmene adaptačného jasú pozorovateľa. Zmena svetelných podmienok pre ľudské oko znamená zmenu v spektrálnej citlivosti, zmeny v detekčnej schopnosti fotoreceptorov a zmeny v intenzite signálov prenášaných nervovými bunkami sietnice. Pri prevádzaní refrakčných výkonov pri svetelných podmienkach odpovedajúcim mezopickému rozmedziu je možné ovplyvniť kvalitu zrakových funkcií.

V kapitole „Vplyv svetelných podmienok na vyšetrenie zrakových funkcií“ je poukázané na existujúce výskumné práce, ktoré sa zaoberajú problematikou svetelných podmienok a ich následný dopad na zrakový systém. Štúdiá sú zameriavané na odlišné skupiny subjektov, z rôznych vekových kategórií a s odlišnou očnou anamnézou. I keď zhoršená kvalita zrakových funkcií v dôsledku zmeny svetelných podmienok nemusí nutne znamenať dioptrickú zmenu subjektívneho vyšetrenia, je možné konštatovať, že správne zvolené svetelné podmienky sú dôležitou súčasťou korektného refrakčného výkonu optometristu.

V experimentálnej časti sme poukázali, že nesprávne zvolené svetelné podmienky v refrakčnej miestnosti môžu mať dopad na výslednú korekciu. V našom prípade táto zmena predstavovala  $-0,11 \pm 0,13$  dpt. Pri samotnom prieskume trhu očných optík v Prahe sme zistili, že svetelné podmienky neodpovedajú doporučeným normám. Nakoľko neexistujú žiadne rozsiahle kontroly, ktoré by kontrolovali stav refrakčných miestností očných optík, je dôležité, aby optometrista pracujúci v refrakčnej miestnosti, ktorá svojimi svetelnými podmienkami nevyhovuje štandardným podmienkam, počítal s možnými skresleniami subjektívnej refrakcie a dbal tak pri doporučení korekcie na pohodlie klienta.



## Zoznam použitej literatúry

- [1] HABEL, J. (2008): Základy světelné techniky: Základy světelné techniky (1. část). *Světlo*. **2008**(4), 40-41.
- [2] EN ISO 8596: 2018. Ophthalmic optics – Visual acuity testing- Standard and clinical optotypes and their presentation. 1. Ireland: CEN, 2018
- [3] BOYCE, P. R. (2014): *Human factors in lighting*. Third edition. Boca Raton: CRC Press, Taylor & Francis Group. ISBN 9781439874882.
- [4] HABEL, J. (2008): Základy světelné techniky (2): Zrak a vidění (1. část). *Světlo*. **2008**(5), 53-55.
- [5] KOLB, H. (2013): Photoreceptors in *Webvision: The Organization of the Retina and Visual System* [online]. [cit. 2019-01-01]. Dostupné z: <https://webvision.med.utah.edu/book/part-ii-anatomy-and-physiology-of-the-retina/photoreceptors/>.
- [6] ATCHISON, D. A., SMITH, G. (2000): *Optics of the human eye*. Oxford: Butterworth-Heinemann. ISBN 0-7506-3775-7.
- [7] RABBETTS, R. B. (2007): *Bennett & Rabbetts' clinical visual optics*. 4th ed. Edinburgh: Elsevier Butterworth-Heinemann. ISBN 978-0-7506-8874-1.
- [8] HABEL, J., ŽÁK, P. (2011): *Elektrické světlo 1*. Praha. 207 s. Skripta. ČVUT V Praze.
- [9] HABEL, J., ŽÁK, P. (2007): Význam mezopického vidění pro praxi. *Světlo* [online]. **2007**(6), 52-54 [cit. 2019-01-01]. Dostupné z: <http://www.odbornecasopisy.cz/res/pdf/36187.pdf>
- [10] MITKOVÁ, L., BEŇOVÁ, F. (2001): *Purkyněho fenomén: Percepce* [online]. [cit. 2019-01-01]. Dostupné z: <http://www.percepce.szm.com/Purkyne.htm>
- [11] STOCKMAN, A., SHARPE, L. T. (2006): Into the twilight zone: the complexities of mesopic vision and luminous efficiency. *Ophthalmic and Physiological Optics*. vol. 26, no. 3, s. 225-239. ISSN 0275-5408.
- [12] JELÍNEK, M. et al. (2015): *Biofotonika*. 1. vydání. V Praze: České vysoké učení technické. ISBN 9788001057094;8001057097;.
- [13] HABEL, J. (2009): Základy světelné techniky (3): Světelnotechnické veličiny (1. část). *Světlo*. **2009**(1), 40-43.

- [14] Fotometrické veličiny. Encyklopedie fyziky [online]. [cit. 2019-01-01]. Dostupné z: <http://fyzika.jreichl.com/main.article/view/535-fotometricke-veliciny?fbclid=IwAR1nIIWbWkpKIz-DSurG4jnUKzVOpK79iYxNou1Oe4OOXcQFV2jdWHsMCw>.
- [15] HABEL, J. (2009): Základy světelné techniky (3): Světelnětechnické veličiny (2. část – pokračování z č. 1/2009). *Světlo*. **2009**(2), 52-57.
- [16] THIBOS, L. N., LOPEZ-GIL, N. a BRADLEY, A. (2018): What is a troland?. *Journal of the Optical Society of America. A, Optics, Image Science, and Vision*. vol. 35, no. 5, s. 813. ISSN 1084-7529.
- [17] SEMERÁK, P. (2009): *Aplikovaná fyzika*. Praha: Česká technika - nakladatelství ČVUT. ISBN 978-80-01-04235-9.
- [18] HABEL, J. (2009): Základy světelné techniky (5): Základy nauky o barvě (1. část). *Světlo*. **2009**(5), 64-66.
- [19] GEGENFURTNER, K. R., KIPER, D. C. (2003): Color vision. *Annual Review of Neuroscience* [online]. vol. 26, s. 181-206. ISSN 0147006X.
- [20] RIGGS, L. A. (2018): *Color vision* [online]. McGraw-Hill Education. ISBN 9780071422895;0071422897;.
- [21] HABEL, J. (2009): Základy světelné techniky (5): Základy nauky o barvě (2. část). *Světlo*. **2009**(6), 53-57.
- [22] NAVVAB, M. (2002): Visual Acuity Depends on the Color Temperature of the Surround Lighting. *Journal of the Illuminating Engineering Society*. vol. 31, no. 1, s. 70-84. ISSN 0099-4480.
- [23] RAM, M. S., BHARDWAJ, R. (2018): Effect of Different Illumination Sources on Reading and Visual Performance. *Journal of Ophthalmic & Vision Research*. 2018, vol. 13, no. 1, s. 44-49. ISSN 2008-2010;2008-322X;.
- [24] HABEL, J. (2009): Základy světelné techniky (4): Základy fotometrie (1. část). *Světlo*. **2009**(3), 44-48.
- [25] KYMPLOVÁ, J.: *Katalog metod v biofyzice* [online]. [cit. 2019-01-1]. <https://portal.lf1.cuni.cz/clanek-793-katalog-metod-v-biofyzice>

- [26] KAISER, J. (2002): Kolorimetrie nových TV snímacích soustav. *Světlo* [online]. 2002(02) [cit. 2019-01-01].  
Dostupné z: <http://www.odbornecasopisy.cz/svetlo/casopis/tema/kolorimetrie-novych-tv-snimacich-soustav--16830>
- [27] EN 12464-1. Light and lighting - Lighting of work places - Part 1: Indoor work places. 1. Brussels: CEN, 2002.
- [28] DURST, W., WILHELM B., PETERS, T. (2011): Testing acuity and contrast vision standardised lighting conditions. *British Journal of Ophthalmology*. vol. 95, no. 11, s. 1506. ISSN 0007-1161.
- [29] EN ISO 13406-2:2002. Ergonomic requirements for work with visual display based on flat panels. Ergonomic requirements for flat panel displays. 2. United Kingdom: CEN, 2002.
- [30] LIN, R. J., NG, J. S., NGUYEN, A. L. (2015): Determinants and Standardization of Mesopic Visual Acuity. *Optometry and Vision Science* [online]. **92**(5), 559-565 [cit. 2019-01-02]. DOI: 10.1097/OPX.0000000000000584. ISSN 1040-5488. Dostupné z:  
<http://content.wkhealth.com/linkback/openurl?sid=WKPTLP:landingpage&an=00006324-201505000-00008>
- [31] BENJAMIN, W. J., BORISH, I. M. (2006): Borish's clinical refraction. 2nd ed. St. Louis Mo.: Butterworth Heinemann/Elsevier, c2006. ISBN isbn9780750675246.
- [32] YANG, Y., THOMPSON, K. J., Burns, S. A. (2002): Pupil location under mesopic, photopic, and pharmacologically dilated conditions. *Investigative ophthalmology & visual science*, vol. 43, no. 7, 2508-12.
- [33] BROWN, B., LOVIE-KITCHIN, J. E. (1989): High and Low Contrast Acuity and Clinical Contrast Sensitivity Tested in a Normal Population. *Optometry and Vision Science* [online]. **66**(7), 467-473 [cit. 2019-01-01]. DOI: 10.1097/00006324-198907000-00010. ISSN 1040-5488.
- [34] JOHNSON, CH. A., CASSON, E. J. (1995): Effects of Luminance, Contrast, and Blur on Visual Acuity. *Optometry and Vision Science*[online]. vol. 72, no.12, s.864-869 [cit. 2019-01-01]. ISSN 1040-5488

- [35] COMERFORD, J. P., THORN, F., CORWIN, T. R. (1987): Effect of luminance level on contrast sensitivity in myopia. *American journal of optometry and physiological optics*. vol. 64, no. 11, s. 810-814.
- [36] LOVIE-KITCHIN, J. E. (1989): High contrast and low contrast visual acuity in age related macular degeneration. *Clinical and Experimental Optometry* [online]. vol. 72, no.3, s. 79-83. ISSN 08164622.
- [37] WOOD, J. M., a OWENS, D. A. (2005): Standard Measures of Visual Acuity Do Not Predict Drivers??? Recognition Performance Under Day or Night Conditions. *Optometry and Vision Science* [online]. **82**(8), 698-705 [cit. 2019-01-02]. DOI: 10.1097/01.opx.0000175562.27101.51. ISSN 1040-5488. Dostupné z: <https://insights.ovid.com/crossref?an=00006324-200508000-00012>
- [38] CENGIZ, C. (2015): *Visual performance under mesopic condiction: towards determination of adaptation luminance*. Finland, Doctoral dissertation. Aalto University. Vedoucí práce Prof. Liisa Halonen.
- [39] REGAN, D., NEIMA, D. (1983): Low-Contrast Letter Charts as a Test of Visual Function. *Ophthalmology* [online]. **90**(10), 1192-1200 [cit. 2019-01-03]. DOI: 10.1016/S0161-6420(83)34407-9. ISSN 01616420. Dostupné z: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0161642083344079>
- [40] BERMAN, S.M., FEIN, G., JEWETT, D. L., ASHFORD, F. (1993): Luminance-Controlled Pupil Size Affects Landolt C Task Performance. *Journal of the Illuminating Engineering Society* [online]. 1993, **22**(2), 150-165 [cit. 2019-01-03]. DOI: 10.1080/00994480.1993.10748048. ISSN 0099-4480. Dostupné z: <http://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/00994480.1993.10748048>
- [41] Bühren J., Terzi E., Bach M., Wesemann W., Kohnen T. (2006): Measuring contrast sensitivity under different lighting conditions: comparison of three tests. *Optom Vis Sci* **83**(5):290–298
- [42] COX, M. J., NORMAN, J. H., NORMAN, P. (1999): The effect of surround luminance on measurements of contrast sensitivity. *Ophthalmic and Physiological Optics*. 1999, vol. 19, no. 5, s. 401-414. ISSN 0275-5408.
- [43] VIZMANOS, J. G. et al. (2004): Influence of surround illumination on pupil size and contrast sensitivity. *Ophthalmic and Physiological Optics*. vol. 24, no. 5, s. 464-468. ISSN 0275-5408.

- [44] SMEDOWSKI, A. et al. (2015): Different Impacts of Luminosity on Contrast Vision in Eyes with Transparent Optic Media and with Cataract Simulation. *Medical Principles and Practice*. vol. 24, no. 6, s. 501-508. ISSN 1011-7571.
- [45] BARBUR, J.L., STOCKMAN, A. (2010): Photopic, Mesopic and Scotopic Vision and Changes in Visual Performance. *Encyclopedia of the Eye* [online]. Elsevier, s. 323-331 [cit. 2019-01-03]. DOI: 10.1016/B978-0-12-374203-2.00233-5. ISBN 9780123742032.  
Dostupné z: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/B9780123742032002335>
- [46] PARAMEI, G. V., BIMLER, D. L., CAVONIUS, C. R. (1998): Effect of luminance on color perception of protanopes. *Vision Research*. vol. 38, no. 21, s. 3397-3401. ISSN 0042-6989
- [47] HARDY, L. H., RAND, G., RITTLER, M. C. (1946): The effect of quality of illumination on the results of the Ishihara test. *Journal of the Optical Society of America*. vol. 36, no. 2, s. 86. ISSN 0030-3941.
- [48] ZAHIRUDDIN, K., BANU, S., DHARMARAJAN, R., KULOTHUNGAN, V., VIJAYAN, D., RAMAN, R., SHARMA, T. (2010): Effect of Illumination on Colour Vision Testing with Farnsworth-Munsell 100 Hue Test: Customized Colour Vision Booth versus Room Illumination. *Korean Journal of Ophthalmology* [online]. vol. 24, no.3, ISSN 1011-8942.
- [49] TIDBURY, L. P., CZANNER, G., NEWSHAM, D. (2016): Fiat Lux: the effect of illuminance on acuity testing. *Graefe's Archive for Clinical and Experimental Ophthalmology*. vol. 254, no. 6, s. 1091-1097. ISSN 0721-832X.
- [50] REYNAUD, A., ZHOU, J., HESS, R. F. (2013): Stereopsis and mean luminance. *Journal of Vision*. vol. 13, no. 11, s. 1-1. ISSN 1534-7362.
- [51] MAJUMDER, Ch., SINATHAMBY, L. (2017): Effect of Illumination over Positive Fusional Vergence when Using VDU as Target. *Journal of Clinical & Experimental Ophthalmology* [online]. 08(03) [cit. 2019-04-26]. DOI: 10.4172/2155-9570.1000656. ISSN 21559570. Dostupné z: <https://www.omicsonline.org/open-access/effect-of-illumination-over-positive-fusional-vergence-when-using-vdu-astarget-2155-9570-1000656.php?aid=91499>

- [52] OKADA, Y. et al. P.25 (2013): The Effect of Environmental Illumination and Screen Brightness on Accommodation and Convergence. *SID Symposium Digest of Technical Papers*. vol. 44, no. 1, s. 1078-1081. ISSN 0097-966X.
- [53] JIANG, B. CH., GISH, K. W., LEIBOWITZ, H. W. (1991): Effect of luminance on the relation between accommodation and convergence. *Optometry and vision science*, 1991, 68.3: 220-225.
- [54] CHANG, Y. H., LEE, J. B., KIM, N. S., LEE, D. W., CHANG, J. H., HAN, S. H. (2006): The effects of interocular differences in retinal illuminance on vision and binocularity. *Graefe's Archive for Clinical and Experimental Ophthalmology* [online]. **244**(9), 1083-1088 [cit. 2019-01-03]. DOI: 10.1007/s00417-005-0196-z. ISSN 0721-832X. Dostupné z: <http://link.springer.com/10.1007/s00417-005-0196-z>
- [55] ZHOU, J. et al. (2013): The effect of unilateral mean luminance on binocular combination in normal and amblyopic vision. *Scientific Reports*. vol. 3, no. 1, s. 2012. ISSN 2045-2322.
- [56] APARICIO, J. A., ARRANZ, I., MATESANZ, B. M. et al. (2010): Quantitative and functional influence of surround luminance on the letter contrast sensitivity function. *Ophthalmic and Physiological Optics* [online]. **30**(2), 188-199 [cit. 2019-01-03]. DOI: 10.1111/j.1475-1313.2009.00707.x. ISSN 02755408. Dostupné z: <http://doi.wiley.com/10.1111/j.1475-1313.2009.00707.x>
- [57] SIMONSON, E., BROZEK, J. (1948): Effects of illumination level on visual performance and fatigue. *Journal of the Optical Society of America*. vol. 38, no. 4, s. 384. ISSN 0030-3941.
- [58] BULLOUGH, J. D., AKASHI, Y., FAY, CH. R., FIGUEIRO, M. G.(2006): Impact of Surrounding Illumination on Visual Fatigue and Eyestrain While Viewing Television. *Journal of Applied Sciences*[online]. vol.6, no.8, s.1664-1670. ISSN 18125654.
- [59] GANGAMMA, M.P., POONAM, RAJAGOPALA, M. (2010): A clinical study on "Computer vision syndrome" and its management with Triphala eye drops and Saptamrita Lauha. *AYU (An International Quarterly Journal of Research in Ayurveda)* [online]. **31**(2) [cit. 2019-01-03]. DOI: 10.4103/0974-8520.72407. ISSN 0974-8520. Dostupné z: <http://www.ayujournal.org/text.asp?2010/31/2/236/72407>

- [60] BENEDETTO, S. et al. (2014): Effects of luminance and illuminance on visual fatigue and arousal during digital reading. *Computers in Human Behavior*. vol. 41, s. 112-119. ISSN 0747-5632.
- [61] WISEMAN, K. (1956): THE LEVEL OF ILLUMINATION DURING SUBJECTIVE REFRACTION. *Clinical and Experimental Optometry* [online]. **39**(12), 558-559 [cit. 2019-01-03]. DOI: 10.1111/j.1444-0938.1956.tb03991.x. ISSN 08164622. Dostupné z: <http://doi.wiley.com/10.1111/j.1444-0938.1956.tb03991.x>
- [62] CHEN, A. H., BUARI H. NH., WAN OMAR, W. E. (2010): Comparison of Subjective Refraction Findings in Two Different Levels of Room Illumination Using Three different Types of Letter Charts. *Journal of Koren Ophthalmic Optics Society*. 15(1), 67-71.
- [63] CHEN, A. H., NORAZMAN, FN. N., BUARI, NH. (2012): Comparison of visual acuity estimates using three different letter charts under two ambient room illuminations. *Indian Journal of Ophthalmology* [online]. **60**(2) [cit. 2019-01-03]. DOI: 10.4103/0301-4738.90489. ISSN 0301-4738. Dostupné z: <http://www.ijo.in/text.asp?2012/60/2/101/90489>
- [64] *Paskal 3D* [online]. [cit. 2019-01-08]. Dostupné z: <http://paskal3d.com/en/home/>
- [65] PETROVÁ, S. (2004): *Základy aplikace kontaktních čoček*. Brno: Národní centrum ošetrovatelství a nelékařských zdravotnických oborů, ISBN 80-7013-399-6.
- [66] Digital light meter DVM 1300. *Velleman* [online]. [cit. 2019-05-01]. Dostupné z: <https://www.velleman.eu/products/view?id=348312&country=be&lang=en>
- [67] HENDL, J. (2009): *Analyza a metaanalýza dat*, Portál, 2009, 3. vydanie, ISBN 978-80-7367-482-3

## Zoznam obrázkov

Obrázok 2-1: Súhrnný graf spektrálnej priepustnosti na zadných plochách očných komponentov.[6] ..	9
Obrázok 2-2: Krivky priemernej spektrálnej citlivosti zraku v závislosti na žiarení rôznych vlnových dĺžok pre rôzne adaptačné jasy. [8] .....	10
Obrázok 2-3: Bodový zdroj svetla vyžarujúci svetelný tok do priestorového uhlu.[14].....	12
Obrázok 2-4: Čiary svietivosti vynesené v polárnej sústave súradníc. Počiatok grafu je v strede svetelného zdroja [13] .....	14
Obrázok 2-5: Vymedzenie zväzku zbiehavých a rozbiehavých lúčov. [14] .....	15
Obrázok 2-6: Osvetlenie plochy $dA$ bodovým zdrojom $Z$ . [12] .....	16
Obrázok 2-7: Model zobrazovacieho systému. [15].....	17
Obrázok 2-8: Miešanie troch základných farieb. [18].....	19
Obrázok 2-9: Absorpčné maxima pre S čapíky, L čapíky a M čapíky.[20] .....	19
Obrázok 2-10: Schéma konštrukcie jasomeru. [24] .....	23
Obrázok 3-1: Jas opototypu stanovený ISO 8596-2018.[2] .....	25
Obrázok 3-2: Zmena jasů Pelli-Robson tabuľky, testovaná na okrajoch a v centre.[28] .....	26
Obrázok 4-1: Funkcia závislosti zrakovej ostrosti na rôznych úrovniach jasů s ohľadom na vek skúmaných. Kruh predstavuje vekovú skupinu $21.5 \pm 2,8$ roku, trojuholník $46,6 \pm 4,2$ roku a štvorec $71,9 \pm 2,6$ roku.[37].....	30
Obrázok 4-2: Horizontálna zložka pohľadu vodičov pre denné a nočné videnie.[38].....	31
Obrázok 4-3: Vertikálna zložka pohľadu vodičov pre denné a nočné podmienky[38].....	31
Obrázok 4-4: Logaritmus kontrastnej citlivosti štyroch meraných objektov pomocou Pelli –Robson testu. [42].....	33
Obrázok 4-5: Závislosť lineárnej kontrastnej citlivosti na intenzite svetla u emetropov ( <i>angl. healthy</i> ), myopov ( <i>angl. myopic</i> ) a u testovaných s kataraktov ( <i>angl. cataract</i> ).[44] .....	35
Obrázok 4-6: Vplyv zníženia osvetlenia sietnice na použitie hĺbkového videnia.[54] .....	37
Obrázok 4-7: Vnímaná fáza v závislosti interokulárnej kontrastnej škále, kruh predstavuje 100% transmisiiu, štvorec 10% transmisia, kosoštvorec 1% transmisia, trojuholník 0,1% transmisia.[55] ....	38
Obrázok 4-8: Útlm vedúceho oka pomocou filtrov u siedmich ambyopických subjektov, kruh reprezentuje 100% transmisia, zelený trojuholník 1% transmisia a červený trojuholník 0,1% transmisia vedúceho oka.[55].....	39
Obrázok 4-9: Výsledky priemerného počtu mrknutí za sekundu v závislosti na čase sledovania filmu.[58] .....	40
Obrázok 4-10: Počet mrknutí pre dve rôzne svetelné podmienky.[58] .....	41
Obrázok 5-1: Refrakčná jednotka .....	44
Obrázok 5-2: Vekové rozloženie štatistického súboru.....	45
Obrázok 5-3: Zmena korekcie pravého oka pri zmene svetelných podmienok .....	49
Obrázok 5-4: Priemerné hodnoty sférického ekvivalentu pri fotopických a mezopických podmienkach s ohľadom na vekové rozloženie štatistického súboru .....	50
Obrázok 5-5: Zmena korekcie ľavého oka pri zmene svetelných podmienok .....	51
Obrázok 5-6: Priemerná zraková ostrosť dosiahnutá pri fotopických a mezopických podmienkach zobrazená s ohľadom na vekové skupiny.....	53
Obrázok 5-7: Priemerná hodnota Pelli- Robson testu pri fotopických a mezopických podmienkach zobrazená s ohľadom na vekové skupiny testovaných.....	55
Obrázok 5-8: Osvetlenie v refrakčných miestnosti pätnástich očných optík .....	56



## Zoznam tabuliek

Tabuľka 1: Prehľad najdôležitejších noriem upravujúcich vyšetrovacie podmienky .....	24
Tabuľka 2: Hodnoty osvetlenia v vyšetrovniach prevádzajúcich zrkové vyšetrenie.[27] .....	25
Tabuľka 3: Výsledky merania rozdelené na jednotlivé faktory ovplyvňujúce zmeny v zrakovej ostrosti.[30] .....	29
Tabuľka 4: Výsledky ANCOVA analýzy pre korekciu ľavého oka .....	48
Tabuľka 5: Priemerné hodnoty SE pravého oka .....	49
Tabuľka 6: Výsledky ANCOVA analýzy pre korekciu pravého oka.....	50
Tabuľka 7: Priemerné hodnoty sférického ekvivalentu pre ľavé oko .....	51
Tabuľka 8: Výsledky ANCOVA analýzy pre zrkovú ostrosť .....	52
Tabuľka 9: Priemerné hodnoty zrakovej ostrosti .....	53
Tabuľka 10: Výsledky analýzy ANCOVA pre namerané hodnoty Pelli-Robson testu .....	54
Tabuľka 11: Výsledok testovania veľkosti efektov.....	54
Tabuľka 12: Priemerné hodnoty Pelli- Robson testu .....	54
Tabuľka 13: Analýza hypotéz .....	57

## Zoznam symbolov a skratiek

### Zoznam symbolov

Symbol	Jednotka	Význam
$\Phi$	lm	Svetelný tok
$\lambda$	nm	Vlnová dĺžka
$K(\lambda)$	$\text{lm}\cdot\text{W}^{-1}$	Svetelná účinnosť monochromatického žiarenia
$I$	cd	Svietivosť
$L$	$\text{cd}\cdot\text{m}^{-2}$	Jas
$E$	lx	Osvetlenie
$e_t$	troland	Množstvo svetla vstupujúce do oka
$p$	-	p- hodnota

### Seznam skratiek

Skratka	Význam
tzv.	takzvaný
ISO	International Organization for Standardization
UGR	Index oslnenia
SE	Sférický ekvivalent
FP	Fotopické podmienky
MP	Mezopické podmienky

## Príloha A

POHLAVIE	VEK	Korekcia OP FP	Korekcia OL FP	Sfér. Ekvivalent FP	Pelli- Robson FP	Korekcia OP MP	Korekcia OL MP	Sfér. ekvivalent MP	Pelli- Robson MP
Ž	29	0,125	3,375	1,25	0,1	0,125	3,375	1,25	0,28
M	31	-1,75	-1,875	1,46	0,28	-1,75	-1,875	1,25	0,46
M	33	1	0,875	0,63	1	1	0,875	0,627	1
M	21	-0,375	-0,375	1,6	0,28	-0,375	-0,375	1,459	0,46
Ž	31	-7,25	-6,875	1,25	0,46	-7,25	-6,875	1,25	1
Ž	31	-0,375	-0,375	1,6	0,82	-0,495	-0,495	1,6	1
M	24	-1,125	-1,375	1,6	0,1	-1,125	-1,375	1,6	0,28
Ž	23	-0,625	-0,375	1,37	0,28	-0,875	-0,625	1,25	0,28
Ž	22	-2,375	-2,625	1,6	0,1	-2,375	-2,625	1,25	0,1
Ž	22	-3,375	-3,25	1,25	0,46	-3,625	-3,5	1,25	0,46
M	22	-0,75	-1	1,6	0,64	-0,75	-1	1,6	0,82
M	23	-4,75	-4,5	1	0,1	-4,75	-4,5	1	0,1
M	24	-0,75	-0,75	1,25	0,28	-1	-1	1,25	0,46
Ž	24	-6,625	-6,375	1,25	0,1	-6,625	-6,375	1,25	0,28
M	23	-0,125	0	1,6	0,64	-0,375	-0,25	1,6	0,64
Ž	28	-1,375	-1,125	1,25	0,28	-1,625	-1,375	1,25	0,46
Ž	41	-0,125	-0,5	1,25	0,28	-0,375	-0,75	1,25	0,64
M	22	0,375	0,375	1,6	0,46	0,125	0,125	1,6	0,46
M	23	-7,75	-5,75	0,63	0,1	-8,25	-6,25	0,5	0,46
M	26	-1,625	-1,875	1,25	0,1	-1,875	-2,125	1,14	0,46
Ž	31	-0,5	-0,25	1,047	0,1	-0,62	-0,37	1	0,28
Ž	54	0	0,5	1,25	0,1	-0,25	0,25	1,25	0,28
M	22	-6,625	-6,625	1,37	0,64	-6,875	-6,875	1,25	0,64

POHLAVIE	VEK	Korekcia OP FP	Korekcia OL FP	Sfér. ekvivalent FP	Pelli- Robson FP	Korekcia OP MP	Korekcia OL MP	Sfér. ekvivalent MP	Pelli- Robson MP
M	33	-2,625	-2,75	1,6	0,1	-2,625	-2,75	1,393	0,1
Ž	26	-1,375	-2	1,528	0,28	-1,375	-2	1,25	0,28
M	46	-0,625	-0,375	1,6	0,1	-0,625	-0,375	1,528	0,28
Ž	28	-2,125	-1,75	1,25	0,1	-2,125	-1,75	1,14	0,28
Ž	23	-0,875	-0,75	1,37	0,28	-0,875	-0,75	1,25	0,46
Ž	24	0	-0,125	1,308	0,1	0	-0,125	1,25	0,82
Ž	34	-3	-3,75	1,25	0,1	-3	-3,75	1,25	0,28
M	43	-2,5	-2,25	1,528	0,46	-2,5	-2,25	1,25	0,64
M	21	-1,375	-1,5	1,6	0,28	-1,625	-1,75	1,528	0,28
M	25	-3	-4,625	1,308	0,28	-3,12	-4,745	1,25	0,46
Ž	22	-4,875	-4,75	1,308	0,46	-4,875	-4,75	1,25	0,46
M	41	-2,625	-2,5	1,25	0,28	-2,875	-2,75	1,089	0,82
Ž	38	-4,625	-3,25	1,6	0,1	-4,625	-3,25	1,25	0,28
Ž	48	-2,625	-2,625	1,25	0,1	-2,625	-2,625	1,14	0,64

POHLAVIE	VEK	Korekcia OP FP	Korekcia OL FP	Sfér. ekvivalent FP	Pelli- Robson FP	Korekcia OP MP	Korekcia OL MP	Sfér. ekvivalent MP	Pelli- Robson MP
Ž	46	0	0	1,25	0,10	0	0	1,25	0,28
M	46	-0,5	-3,75	1,6	0,10	-0,5	-3,75	1,14	0,28
Ž	73	-0,875	-0,75	1,047	0,28	-1,125	-1	1	1,00
M	76	2,75	1,375	1	0,28	2,5	1,125	1	1,00
M	56	1,875	1,625	1,25	0,46	1,625	1,375	1,25	0,64
Ž	24	-4,25	-6,25	1,25	0,82	-4,25	-6,25	1,25	0,64
Ž	26	-0,625	-0,5	1,6	0,10	-0,625	-0,5	1,6	0,28
Ž	56	-0,75	1	1,25	0,64	-0,75	1	1,25	1,00
Ž	61	0,25	0,75	1,308	0,10	0	0,5	1,14	0,46
M	63	0,875	0,75	1,14	0,28	0,625	0,5	1	0,64
Ž	16	0	0	1,25	0,10	0	0	1,25	0,28
Ž	20	-1	-1,25	1,6	0,46	-1,25	-1,5	1,528	0,82
M	23	-2,25	-2,25	1,6	0,46	-2,5	-2,5	1,528	0,82

## Príloha B

POHLAVIE :

ROK NARODENIA:

CELKOVÁ ANAMNÉZA :

OČNÁ ANAMNÉZA:

LIEKY:

VISUS NATURALIS

OP:	OL:	BINO:
-----	-----	-------

OBJEKTÍVNA REFRAKCIA

OP:.....

OL:.....

OČNÁ DOMINANCIA: .....

Subjektívna refrakcia (najlepšia sférocylická korekcia)

	sph	cyl	osa	VISUS	VISUS BINO
OP					
OL					

Binokulárne vyváženie – Dvojriadkový test

	sph	cyl	osa	VISUS	VISUS BINO
OP					
OL					

## Binokulárne vyváženie- Cowenov test

	sph	cyl	osa	VISUS	VISUS BINO
OP					
OL					

## Vyšetrenie prizmatickej korekcie ( K-test, Schoberov test)

	sph	cyl	osa	$\Delta$	báze	VISUS	VISUS BINO
OP							
OL							

## Test na pravé nekonečno

	sph	cyl	osa	$\Delta$	báze	VISUS	VISUS BINO
OP							
OL							

## Výsledok Pelli- Robson testu za fotopických podmienok :

VISUS	%

## Korekcia po zmene svetelných podmienok

	sph	cyl	osa	$\Delta$	báze	VISUS	VISUS BINO
OP							
OL							

## Výsledok Pelli-Robson testu za mezopických podmienok

VISUS	%