

**ČESKÉ VYSOKÉ  
UČENÍ TECHNICKÉ  
V PRAZE**

**FAKULTA  
BIOMEDICÍNSKÉHO  
INŽENÝRSTVÍ**



**BAKALÁŘSKÁ  
PRÁCE**

**2022**

**JANA  
HOVĚZOVÁ**



**ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE**

---

**Fakulta biomedicínského inženýrství  
Katedra přírodovědných oborů**

**Světelné podmínky a jejich vliv na zrakové funkce**

**Light conditions and their influence on visual functions**

Bakalářská práce

Studijní program: Biomedicínská a klinická technika

Studijní obor: Optika a optometrie

**Autor bakalářské práce: Jana Hovězová**

Vedoucí bakalářské práce: Mgr. Jana Urzová, Ph.D.

---

**Kladno 2022**

## I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Hovězová** Jméno: **Jana** Osobní číslo: **491684**  
Fakulta: **Fakulta biomedicínského inženýrství**  
Garantující katedra: **Katedra přírodovědných oborů**  
Studijní program: **Biomedicínská a klinická technika**  
Studijní obor: **Optika a optometrie**

## II. ÚDAJE K BAKALÁŘSKÉ PRÁCI

Název bakalářské práce:

**Světelné podmínky a jejich vliv na zrakové funkce**

Název bakalářské práce anglicky:

**Light conditions and their influence on visual functions**

Pokyny pro vypracování:

Studentka zpracuje formou rešerše témata související se zaměřením práce: anatomii a fyziologií oka, zrakové funkce a jejich vyšetřování, fotometrické veličiny a jejich měření. Provede průzkum platné legislativy týkající se hygienických podmínek požadovaného osvětlení pro různé činnosti a prostory. V rámci praktické části bakalářské práce bude studentka porovnávat výsledky subjektivní refrakce při plném a zhoršeném osvětlení pro skupinu vybraných osob. Provede měření několika osob za různých světelných podmínek a formuluje hypotézy, jejichž potvrzení či vyvrácení bude náplní praktické části bakalářské práce.

Seznam doporučené literatury:

[1] KUCHYŇKA, P. a kol., Oční lékařství, ed. 1, Praha: Grada Publishing, 2007, 812 s., ISBN 978-80-247-1163-8

[2] ROZSÍVAL, P. a kol., Oční lékařství, ed. 1, Galén, Karolínium, 2006, ISBN 80-7262-404-0

[3] AUTRATA, Rudolf a Jana VANČUROVÁ, Nauka o zraku, Institut pro další vzdělávání pracovníků ve zdravotnictví, 2002, ISBN 80-7013-362-7

Jméno a příjmení vedoucí(ho) bakalářské práce:

**Mgr. Jana Urzová, Ph.D.**

Jméno a příjmení konzultanta(ky) bakalářské práce:

Datum zadání bakalářské práce: **14.02.2022**

Platnost zadání bakalářské práce: **22.09.2023**

prof. RNDr. MUDr. Petr Maršálek, Ph.D.  
vedoucí katedry

prof. MUDr. Jozef Rosina, Ph.D., MBA  
děkan

## **Název bakalářské práce: Světelné podmínky a jejich vliv na zrakové funkce**

### **Abstrakt:**

Předmětem této práce je přiblížení důležitosti osvětlení prostoru vyšetřovny při práci optometristy, a to zejména při vyšetřování zrakových funkcí. Osvětlení má vliv nejen na psychický stav člověka, ale také na jeho zdraví a zrakovou pohodu. Z hlediska vidění má osvětlení největší vliv na zrakovou ostrost a barvocit, což se může projevit právě při jejich vyšetřování. Úvodní kapitola teoretické části práce je věnována anatomii oka a přídatných očních orgánů a samostatná kapitola je poté věnována anatomii sítnice. Další kapitola se zabývá světlem, fotometrickými veličinami, světelnými zdroji a druhy osvětlení. Jednou z kapitol je také souhrn legislativních předpisů a požadavků na osvětlení pracovišť. Následující kapitoly jsou zaměřeny na refrakční vady oka – hypermetropie a myopie (sférické vady), astigmatismus (asférická vada) a presbyopie, a jejich příslušné vyšetřovací metody, které dělíme na refrakci objektivní a subjektivní. Poslední kapitola je zaměřena na vliv osvětlení na zrakovou ostrost a vnímání barev. Experimentální část práce je věnována měření subjektivní refrakce do blízka za předepsaných světelných podmínek a poté za zhoršených. Pro vyšetření byly vyrobeny čtecí tabulky s texty v různých barevných odstínech, se kterými se člověk setkává v běžném životě. Na závěr budou ověřeny dvě hypotézy: Hypotéza H1: Zhoršené osvětlení ovlivňuje vidění do blízka především u presbyopických pacientů a hypotéza H2: Čtecí tabulky vyrobené na bílém podkladu s černým textem, jsou lépe čitelné i za zhoršeného osvětlení.

### **Klíčová slova:**

Osvětlení, zrakové funkce, světlo, zraková ostrost, refrakční vady, refrakce

## **Bachelor's Thesis title:** Light conditions and their influence on visual functions

### **Abstract:**

The subject of this thesis is to present the importance of examination room lighting in the work of optometrists, especially in the examination of visual functions. Lighting has an effect not only on the psychological state of a person, but also on his health and visual well-being. In terms of vision, lighting has the greatest effect on visual acuity and colour vision, which may be most evident during their examination. The introductory chapter of the theoretical part of the thesis is devoted to the anatomy of the eye and the accessory organs of the eye, and a separate chapter is then devoted to the anatomy of the retina. The next chapter deals with light, photometric quantities, light sources and types of illumination. One of the chapters is also a summary of legislative regulations and requirements for workplace lighting. The following chapters focus on refractive errors of the eye - hypermetropia and myopia (spherical defects), astigmatism (aspheric defect) and presbyopia, and their respective examination methods, which are divided into objective and subjective refraction. The last chapter focuses on the effect of lighting on visual acuity and colour perception. The experimental part of the thesis is devoted to the measurement of subjective near refraction under prescribed lighting conditions and then under degraded conditions. For the examination, reading charts were made with texts in different colours encountered in everyday life. At the end two hypotheses will be tested: hypothesis H1: Impaired lighting affects near vision especially in presbyopic patients and hypothesis H2: Reading charts made on a white background with black text are better readable even in impaired lighting conditions.

### **Key words:**

Illumination, visual function, light, visual acuity, refractive errors, refraction

## PODĚKOVÁNÍ

Nejdříve bych ráda poděkovala vedoucí mé bakalářské práce Mgr. Janě Urzové, Ph.D. za lidský přístup, podnětné rady a odbornou pomoc při zpracování mé práce a za čas, který mi věnovala.

Současně bych chtěla poděkovat všem respondentům za jejich čas a ochotu účastnit se měření experimentální části mé práce.

## PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci s názvem „*Světelné podmínky a jejich vliv na zrakové funkce*“ vypracovala samostatně a použila k tomu úplný výčet citací použitých pramenů, které uvádím v seznamu přiloženém k bakalářské práci.

Nemám závažný důvod proti užití tohoto školního díla ve smyslu §60 Zákona č.121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon), ve znění pozdějších předpisů.

V Kladně dne .....

.....

podpis

# Obsah

1	Úvod .....	7
2	Anatomie oka.....	8
2.1	Přídavné oční orgány .....	9
2.2	Oční koule ( <i>bulbus oculi</i> ) .....	11
2.2.1	Stěna oční koule .....	11
2.2.2	Obsah oční koule .....	12
3	Sítnice ( <i>retina</i> ).....	14
3.1	Stavba sítnice .....	14
3.2	Buňky sítnice .....	15
3.3	Další úseky sítnice .....	16
4	Adaptace oka .....	17
4.1	Změna velikosti zornice.....	17
4.2	Změna citlivosti fotoreceptorů sítnice .....	17
4.3	Změna velikosti vjemových polí.....	18
4.4	Adaptace na barvy .....	18
5	Světlo .....	19
5.1	Fotometrické veličiny .....	20
5.2	Světelné zdroje.....	21
5.3	Druhy osvětlení.....	22
5.4	Měření osvětlení .....	22
6	Legislativa a hygienické normy.....	24
7	Refrakční vady oka.....	25
7.1	Myopie .....	25
7.2	Hypermetropie .....	25
7.3	Astigmatismus .....	26
7.4	Presbyopie.....	27
8	Objektivní refrakce a subjektivní refrakce .....	28
8.1	Objektivní refrakce .....	28
8.2	Subjektivní refrakce.....	29
8.2.1	Vyšetření do dálky.....	30



---

8.2.2	Vyšetření do blízka.....	35
9	Vliv osvětlení při vyšetření zraku.....	37
9.1	Vliv osvětlení na zrakovou ostrost.....	37
9.2	Vliv osvětlení na vnímání barev .....	38
10	Experimentální část .....	40
10.1	Metodika.....	41
10.2	Analýza získaných dat.....	45
11	Diskuse .....	54
12	Závěr.....	57
	Seznam použité literatury .....	59
	Seznam symbolů a zkratek .....	62
	Seznam obrázků.....	63
	Seznam tabulek.....	64
	Seznam grafů .....	65
	Příloha č. 1: Naměřené hodnoty refrakce (skupina 1).....	66
	Příloha č. 2: Naměřené hodnoty refrakce (skupina 2).....	68
	Příloha č. 3: Ukázka zrakové ostrosti do blízka (skupina 1).....	70
	Příloha č. 4: Ukázka zrakové ostrosti do blízka (skupina 2).....	72

# 1 Úvod

Vliv osvětlení na zrakové funkce byl zkoumán již od roku 1754 astronomem Tobiasem Mayerem. Nejvhodnějším osvětlením pro vyšetřování zrakových funkcí je denní osvětlení, které ovšem nemůže být trvale využíváno, a to vlivem změn ročního období a denní doby. V dnešní době je možnost využívat umělé osvětlení, které je z důvodu dodržování stejných světelných podmínek jako při denním osvětlení stále více zkoumáno a zdokonalováno tak, aby vyšetření zraku nebylo osvětlením negativně ovlivněno.

Motivací pro tuto práci je osobní zájem o danou problematiku, zejména o možné negativní vlivy osvětlení na zrakovou ostrost či barevné vnímání. Pochopení a dodržování předepsaných hladin osvětlení je důležité pro správné určení refrakce a tím i zajištění předepsání správné korekce zraku vyšetřovanému v praxi.

Cílem práce je seznámení s problematikou osvětlení vyšetřovny při vyšetření zraku a možné negativní vlivy osvětlení na vyšetřovací metody a jejich výsledky. Teoretická část je věnována anatomii oka, která popisuje přídatné oční orgány, oční kouli a samostatná kapitola je věnována sítnici. Další kapitola se zabývá fotometrickými veličinami, světlem, jeho zdroji, měřeními a druhy osvětlení. V následujících kapitolách jsou popsány refrakční vady a jejich vyšetřovací metody. Experimentální část bakalářské práce je zaměřena na světelné podmínky a jejich vliv na zrakové funkce, převážně na vliv sníženého osvětlení na vidění do blízka. Skupině vybraných osob bude změřena subjektivní refrakce do dálky i do blízka za předepsaných světelných podmínek, a poté refrakce do blízka za zhoršeného osvětlení. Pro vyšetření budou vyrobeny čtecí tabulky s texty v různých barevných odstínech, se kterými se člověk setkává v běžném životě.

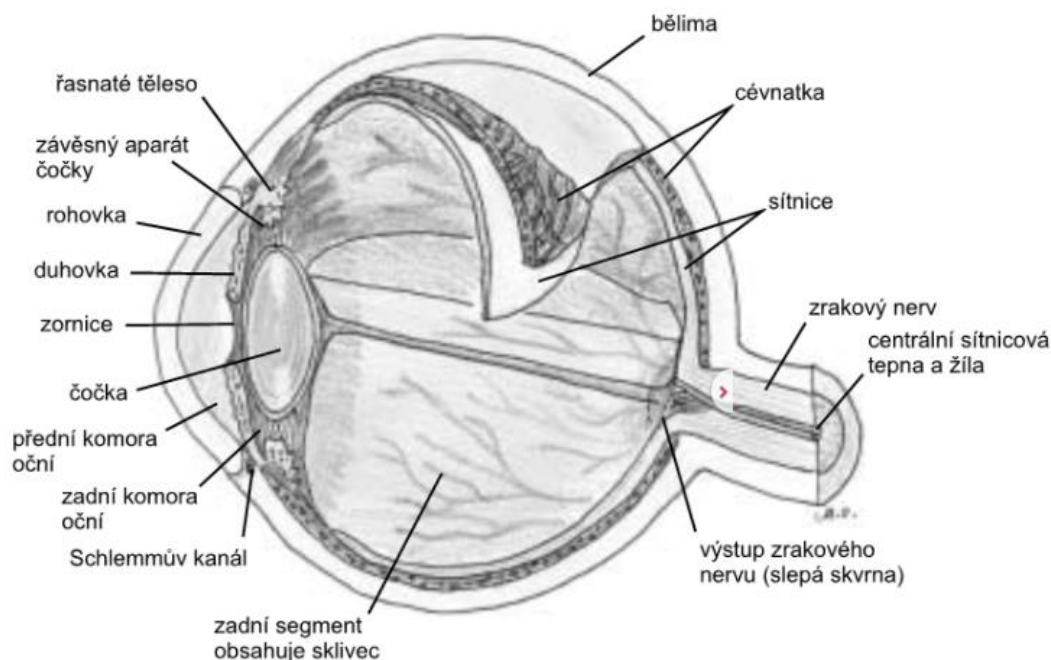
Na základě analýzy získaných dat a statistickém zpracování budou ověřeny dvě hypotézy:

**Hypotéza H1:** Zhoršené osvětlení ovlivňuje vidění do blízka především u presbyopických pacientů.

**Hypotéza H2:** Čtecí tabulky vyrobené na bílém podkladu s černým textem, jsou lépe čitelné i za zhoršeného osvětlení.

## 2 Anatomie oka

Oko je smyslovým, zrakovým orgánem, který je uložen v kostěné očníci. Očnice má tvar čtyřboké pyramidy a je tvořena sedmi srostlými kostmi: kostí klínovou, patrovou, lícní, čelní, slzní, čichovou a horní čelistí. Zde je pomocí šesti svalů uchycena oční koule, která se skládá ze stěny a obsahu oční koule. Stěna oční koule se skládá ze tří vrstev. Zevní vazivová vrstva je tvořena bělimou a sklérou, která přechází do střední cévnaté vrstvy neboli živnatky, jež je tvořena cévnatkou, řasnatým tělesem a duhovkou, a vnitřní nervovou vrstvou neboli sítnicí. Obsahem oční koule jsou potom čočka, sklivec a komorová voda. Zrakový vjem vzniká na rozhraní optické soustavy oka. Paprsky přecházejí přes optickou soustavu oka, která je tvořena rohovkou, přední komorou, čočkou a sklivcem, poté dopadají na sítnici. Zrakové informace jsou vedeny ze sítnice pomocí zrakové dráhy. Ta se skládá ze čtyř neuronů. První neuron tvoří fotoreceptory – tyčinky a čípky, které zachytí světelné paprsky a předají je druhému neuronu. Druhým neuronem jsou bipolární neurony, které sbírají informace z tyčinek a čípků. Třetí neuron tvoří multipolární neurony, které jsou na vnitřním povrchu sítnice. Čtvrtý neuron spojuje podkoří se zrakovým centrem v mozkové kůře. [1, 2, 3, 4]



**Obrázek 2.1** - Schéma lidského oka [1]

## 2.1 Přídavné oční orgány

Oční koule je chráněná proti vnějším vlivům přídavnými očními orgány, mezi něž patří spojivka (*tunica conjunctiva*), slzné ústrojí (*apparatus lacrimalis*), víčka (*palpabrae*) a okoohybné svaly (*musculi bulbi*), a které zároveň podporují její činnost. [2]

**Spojivka**, tenká růžová blána, přechází z vnitřní strany plochy víček na přední část bělimy, ke které je připojena řídkým vazivem, díky čemuž je umožněn volný pohyb oka i víček. Ve vnitřním koutku je malé slzné jezírko, ve kterém se hromadí slzy a poté odtud odtékají drobnými otvory do vývodu slzných cest. [1]

**Slzné ústrojí** je tvořeno částí slzotvornou a slzovodnou. Slzná žláza produkuje slzy a odvodné slzné cesty zajišťují odtok slz ze spojivkového vaku. [2, 4]

V zevním, horním okraji očnice je spojivkou překrytá slzná žláza. Tato žláza má krátké vývodné žlázy, které ústí drobnými otvory ve spojivkové klenbě horního víčka. Vyprodukované slzy jsou pak pohybem víček roztírány po přední ploše rohovky a stékají do vnitřního očního koutku. [1, 4]

Vývodné slzné cesty zajišťují odtok slz ze spojivkového vaku do dutiny nosní. Patří sem slzný bod, kanálky, vak a nosní slzovod. Slzné body jsou umístěny ve vnitřním koutku horního i dolního víčka a přecházejí v slzné kanálky. Tyto kanálky se poté spojí v jeden, který ústí do slzného vaku. Poté jsou slzy odváděny do dutiny nosní, kde se stávají součástí nosního sekretu. [1, 4]

Rozlišujeme horní a dolní **víčka**. Horní víčko je poněkud větší než spodní a je také více pohyblivé. Při otevření je mezi víčky štěrbina, která je ohraničena volnými okraji víček. Při vnitřním a zevním očním koutku se okraje víček setkávají. Zevní oční koutek je zaoblený, vnitřní koutek ostrý. Na okraji víček jsou ve třech až čtyřech řadách vsazeny řasy, které chrání oko před vnikem nečistot a jeho poškození. [2, 4, 6]

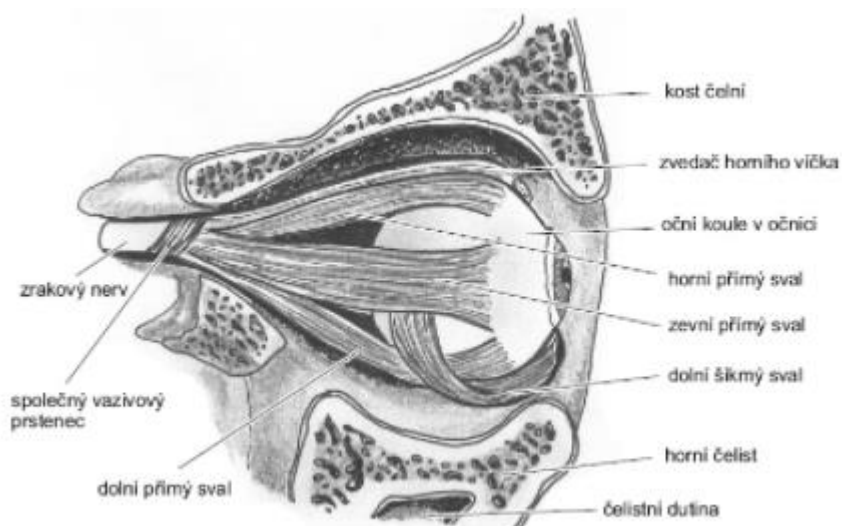
**Okohybné svaly** zajišťují pohyb a postavení oční koule. Ke stěně očnice je připevněna kruhovitá šlacha, na které začínají všechny okohybné svaly. Ty můžeme rozdělit do dvou skupin:

1. Přímé okohybné svaly, mezi které patří:
  - a. Horní (*m. rectus superior*)
  - b. Vnitřní (*m. rectus medialis*)
  - c. Dolní (*m. rectus inferior*)
  - d. Zevní (*m. rectus lateralis*)

Hlavní funkcí zevního a vnitřního svalu je otáčení oční koule v horizontální rovině. Horní a dolní přímý sval stáčí oko nahoru, dolů a lehce mediálně. [2, 4]

2. Šikmé okohybné svaly
  - a. Horní (*m. obliquus superior*)
  - b. Dolní (*m. obliquus inferior*)

Při pohledu dopředu provádí horní šikmý sval rotaci oka dovnitř a také oko stáčí dolů a zevně. Dolní šikmý sval při pohledu vpřed provádí rotaci oka zevně a také oko zvedá a stáčí zevně. [2]



**Obrázek 2.2** - Okohybné svaly [7]

## 2.2 Oční koule (*bulbus oculi*)

Oční koule je uložena v dutině očníce, zde je uchycena šesti svaly, zajišťující její pohyb. Má přibližně kulovitý tvar a je tvořena stěnou a obsahem oční koule. [2]

### 2.2.1 Stěna oční koule

Stěna oční koule se skládá ze tří vrstev: zevní vazivové vrstvy, střední cévnaté vrstvy a vnitřní nervové vrstvy. [2, 4]

#### Zevní vazivová vrstva (*tunica fibrosa bulbi*)

Tvoří pevný a tuhý obal, který zajišťuje tvar a stabilitu oční koule a je místem, kde se upínají šlachy okohybných svalů. Tvoří ji bělima (*sclera*) a rohovka (*cornea*). [2]

**Bělima** utváří pevný vazivový obal a jeho tloušťka se pohybuje od 0,3 do 1 mm. Nejsilnější část je na zadní straně oční koule. Pevná kolagenní vlákna přecházejí do řídkého vaziva očníce, kde je rozsáhlý systém štěrbin, díky kterému je dovolen volný pohyb očního bulbu. Proti vnějším vlivům, je prostor bělimy a očníce chráněn tenkou blánou – spojivkou. Ta pokrývá část předního segmentu oka a přechází na vnitřní stranu víček. Bělima nemá cévní zásobení, je vyživována pouze difúzí z okolního vaziva, přesto je zde velké množství cév, které jdou do cévnatky. [1]

**Rohovka** plní dvě důležité funkce: spolu s bělimou tvoří tuhý vláknitý vnější plášť, který uzavírá oční tkáň a chrání vnitřní složky oka před poraněním. Významné je, že rohovka také poskytuje dvě třetiny refrakční síly oka. Rohovka je zakřivená a průhledná a rozhraní vzduch-slza poskytuje lomový povrch dobré optické kvality. Při pohledu na rohovku v příčném řezu lze rozlišit pět odlišných vrstev: epitel, Bowmanova vrstva, stroma, Descemetova membrána a endotel. [4,8]

#### Střední cévnatá vrstva (*tunica vasculosa - uvea*)

Pod zevní vazivovou vrstvou leží poměrně tenká vrstva Žívnatka (*Uvea*), která je tvořena řídkým vazivem a pigmentovými buňkami. Obsahuje krevní cévy, zásobující převážnou část oční koule. Díky vysokému obsahu pigmentu a krevních cév, se uplatňuje také jako světelně a tepelně izolační vrstva. V některých částech žívnatky jsou hladké svalové buňky, které regulují množství vstupujícího světla a mění optickou mohutnost čočky. Střední cévnatá vrstva se skládá ze tří částí: cévnatky (*chorioidea*), řasnatého tělíska (*corpus ciliare*) a duhovky (*iris*). [2, 4]

Největší částí střední vrstvy je **cévnatka**, pigmentovaná, velmi tenká blána složená z vazivových, kolagenních a elastických vláken. Povrchovou vrstvou naléhá na bělimu, od které je oddělena vrstvou řídkého vaziva a vnitřní vrstvou naléhá na sítnici, která je vyživována krevními cévami, které jsou obsaženy v cévnatce. Na předním okraji je zesílena, což je podmíněno ciliárním svalem, který společně s cévnatkou tvoří řasnaté těleso. [1,4]

**Řasnaté těleso** leží za duhovkou a vybíhají z něj tenká vlákna, na kterých je zavěšena čočka. Díky cévám je zde přiváděn kyslík a zároveň je vyživována také duhovka.

Řasnaté těleso plní dvě důležité funkce. Za prvé se zde tvoří nitrooční tekutina, která vyplňuje oční komory a za druhé je řasnatým tělískem zajišťována akomodace. Princip akomodace spočívá v tom, že se mění zakřivení čočky. Když se řasnaté těleso stáhne, uvolní se vlákna, na kterých je čočka zavěšena a ta se tak může více vyklenout a zaostřit na blízké předměty. Naopak pokud se uvolní, čočka se ztenčí a je možný ostrý pohled do dálky. Postupem času ztrácí řasnaté těleso schopnost kontrahovat, a proto se u starších lidí objevuje onemocnění zvané presbyopie, kdy mají obtíže se čtením a ostrým viděním do blízka. [2, 4, 9]

**Duhovka** tvoří nejvíce dopředu vysunutou část prostřední vrstvy oční stěny. Má tvar mezikruží s centrálně uloženým otvorem zvaným zornice. Laterální okraj přechází v řasnaté těleso, mediální okraj ohraničuje kruhový otvor – zornici neboli panenku. Podle množství pigmentu v přední ploše může být duhovka různě zbarvená a podmiňuje tak barvu očí. [2,4]

**Zornice** může měnit svůj průměr, který se pohybuje mezi 2 a 8 mm. Mezi její hlavní funkce patří funkce optické a funkce cirkulace komorové tekutiny, což může být využito například při léčbě zvýšeného nitroočního tlaku. Zornice reguluje množství procházejícího světla, hloubku ostrosti obrazu a potlačuje okrajové lomné vady čočky a rohovky. [1,4]

### **Vnitřní nervová vrstva (*Tunica nervosa*)**

Hlavní a jedinou částí vnitřní nervové vrstvy je **sítnice** neboli *retina*, která je popsána v samostatné kapitole.

## **2.2.2 Obsah oční koule**

Obsahem oční koule je čočka (*lens cristallina*), sklivec (*corpus vitreum*) a komorový mok (*humor aquosus*).

**Čočka** má tvar dvojnásobně (bikonvexní) spojné čočky a její plochy mají různý poloměr zakřivení. Přední plocha je více vyklenutá než plocha zadní.

Čočka je pomocí závěsného aparátu připojena k povrchu řasnatého tělesa. Průměr čočky je proměnlivý, v klidovém stavu má 9 – 10 mm, při akomodaci se rozměry mění v souvislosti se změnou optické mohutnosti. Princip akomodace spočívá v tom, že se sval řasnatého tělesa stáhne, čočka se více vyklene, tím se zvětší její optická mohutnost a čočka se přizpůsobí vidění do blízka. Pokud se sval naopak uvolní, čočka se přizpůsobí vidění do dálky. [1, 2, 4, 9]

**Sklivec** je průhledná, čirá, bezbuněčná hmota tvořena z 98, 6% vodou a kolagenními vlákny s hyalocyty, která vyplňuje prostor za čočkou. Volně naléhá na sítnici, pouze v okolí čočky, řasnatého tělesa a u zrakového nervu je fixace pevnější. [1, 2, 4, 9]

**Komorový mok** neboli nitrooční tekutina vyplňuje oční komory. V předním oddílu oka se nachází přední a zadní komora. Mezi rohovkou, řasnatým tělesem, duhovkou a přední plochou čočky je komora přední a mezi zadní plochou duhovky, řasnatého tělesa, zadní plochou čočky a sklivcem komora zadní. Komorový mok je produkován řasnatým tělesem, ze kterého proudí do zadní oční komory, kde omývá zadní plochu čočky a zornicí protéká do komory přední a po zadní ploše rohovky odtéká do Schlemmova kanálu, jehož vývody odvádí komorový mok do žilní krve. Hlavní funkcí nitrooční tekutiny je udržení nitroočního tlaku a látková výměna tkání, které nejsou cévně zásobené, patří sem čočka, sklivec a rohovka a také udržuje nitrooční tlak. [1, 4]



### 3 Sítnice (*retina*)

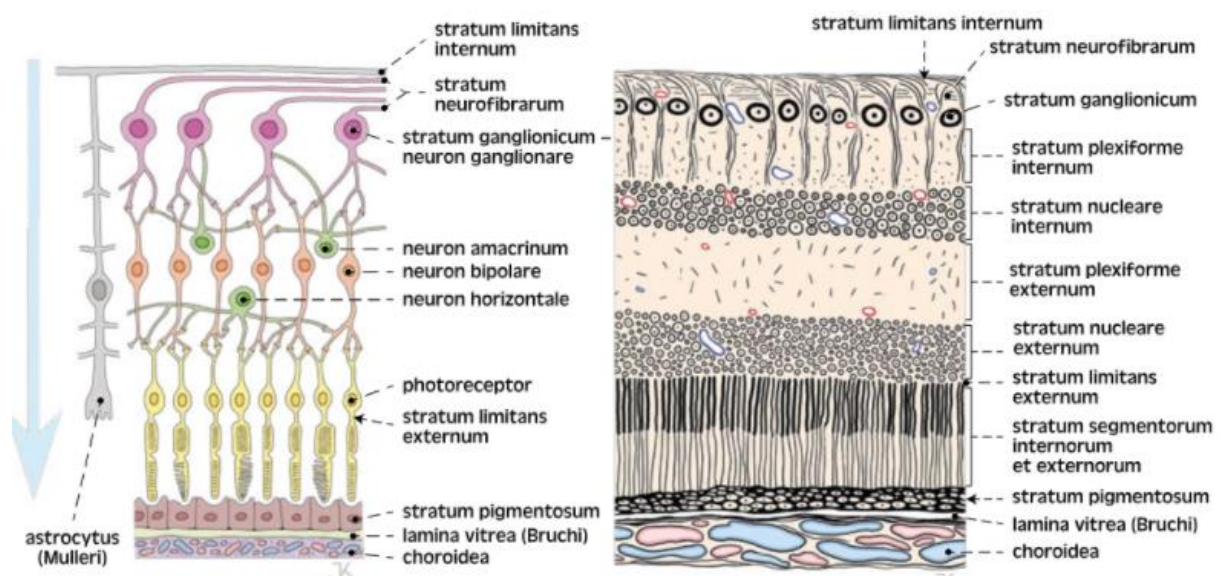
Sítnice neboli *retina* tvoří vnitřní nervovou část oka. Je to velmi tenká průhledná blána. Zevní stranou naléhá na cévnatku a vnitřní stranou na sklivce. Sítnice se skládá ze dvou částí, optické (*pars optica retinae*), která se rozléhá od *ora serrata* až ke zrakovému nervu, a slepé části (*pars caecae retinae*), která sahá od *ora serrata* až k řasnatému tělesu a duhovce.

[1, 4, 6, 9, 10]

#### 3.1 Stavba sítnice

Optická část sítnice se skládá směrem od Bruchovy membrány k nitru oka z deseti vrstev. [6, 11]

1. Vrstva pigmentového epitelu
2. Vrstva výběžků tyčinek a čípků
3. *Lamina limitans externa*
4. Zevní vrstva jader
5. Zevní plexiformní vrstva
6. Vnitřní vrstva jader
7. Vnitřní plexiformní vrstva
8. Vrstva gangliových buněk
9. Vrstva nervových vláken
10. *Lamina limitans interna*



Obrázek 3.1 - Stavba sítnice [12]

Slepá část sítnice je svou stavbou velice jednoduchá. Skládá se pouze z pigmentové vrstvy a neobsahuje žádné smyslové buňky. [1, 4, 6, 10]

## 3.2 Buňky sítnice

Mezi buňky sítnice patří jednovrstevný pigmentový epitel, smyslové buňky, bipolární buňky, asociační buňky, gangliové buňky a podpůrné buňky. [6]

### Pigmentový epitel Sítnice

Pigmentový epitel je kubický, jednovrstevný, obsahuje melanosomy a jeho hlavní funkcí je transport kyslíku a výživa pro světločivé elementy. [6]

### Smyslové buňky

Mezi smyslové buňky sítnice řadíme tyčinky a čípky. Lidská sítnice obsahuje asi 140 milionů tyčinek a 5 milionů čípků. Během života se počet čípků nemění, ale hustota tyčinek se může snížit až o 30%. [6]

### Tyčinky

Tyčinky jsou složeny z vnitřního a vnějšího segmentu. Zevní segment jsou ve sloupečku složeny ploché vesikuly tvořené jemnými membránami. Vesikuly obsahují zrkové barvivo rhodopsin. Toto barvivo vlivem dopadajícího světla bledne a vyvolává nervový vzruch. Tyčinkami lidské oko rozeznává světlo a tmu a slouží především při vidění za šera a tmy. [1, 4, 6, 10]

### Čípky

Čípky jsou rozmístěny především v místě nejostřejšího vidění, které nazýváme žlutá skvrna (macula lutea). Svou stavbou jsou podobné tyčinkám, ale jsou kratší a silnější. Obsahují barvivo iodopsin. Díky čípkům vidí lidské oko ostře za denního světla a rozlišuje jimi barvy. Přeměnou iodopsinu vzniká nervový vzruch. [1, 4, 6, 10]

### Bipolární buňky

Bipolární buňky tvoří první neuron sítnice a rozeznáváme dva druhy: difusní bipolární buňky a monosympatické bipolární buňky. [1, 4, 6, 10]

Difusní bipolární buňky mají synapse se dvěma nebo více fotorecepčními buňkami. Monosympatické bipolární buňky mají synapse s jedním čípkem a jednou gangliovou buňkou. [6]

### **Asociační buňky**

Mezi bipolárními buňkami jsou také buňky, které jsou označovány jako asociační aparát sítnice. Asociační aparát obsahuje dva druhy buněk, a to horizontální buňky, které navzájem propojují vyšší počet synapsí mezi prvními a druhými neurony sítnice, a amakrynní buňky, které navzájem propojují synapse mezi druhými a třetími neurony. [6]

### **Gangliové buňky**

Gangliové buňky se nachází na povrchu sítnice a vysílají své dendrity do plexiformní vrstvy a neurity do zrakového nervu. [6]

### **Podpůrné buňky**

Mezi hlavní funkce podpůrných buněk patří výživa a udržování prostředí pro nervové elementy. Patří sem neuroglie a Müllerovy podpůrné buňky. [6]

## **3.3 Další úseky sítnice**

Dalšími důležitými úseky sítnice jsou, *macula lutea* a *fovea centralis*.

### ***Macula lutea***

*Macula lutea* neboli žlutá skvrna je složena pouze z čípků a neobsahuje žádné větší cévy, proto má nažloutlou barvu a je označována jako místo nejostřejšího vidění. Uprostřed žluté skvrny je patrná jamka *fovea centralis*. [9]

### ***Fovea centralis***

Je drobná jamka s velikostí kolem 0,33 mm a obsahuje převážně čípky, které jsou zodpovědné za barevné vidění. Existují tři druhy čípků podle jejich citlivosti ke krátkým, středním a dlouhým vlnovým délkám. [9]

## 4 Adaptace oka

Adaptace je schopnost oka přizpůsobit se různým hladinám osvětlenosti. Mezi adaptační mechanismy patří změna velikosti zornice, citlivosti receptorů sítnice, velikosti vjemových polí sítnice a adaptace na barvy. [13]

### 4.1 Změna velikosti zornice

Změnami velikosti zornice je regulováno množství vstupujícího světla dopadajícího na sítnici. Velikost zornice se mění asi od 1,8 do 7,5 mm a tato změna trvá přibližně 360 ms, ale při náhlém prudkém osvětlení to může být i jen 100 ms. Velikost zornice se mění činností dvou hladkých svalů – dilatátoru a sfinkteru. [3, 13]

#### *Musculus dilatator pupillae*

Tento sval začíná u kořene duhovky a asi 2 mm od okraje zornice končí. Jeho stahem se zornice rozšiřuje. [3, 13]

#### *Musculus sphincter pupillae*

Je uložen více na povrchu duhovky a jeho kontrakcí se zornice zužuje.

Na změnu velikosti zornice nepůsobí jen množství vstupujícího světla, ale také například stav bdělosti, věk a akomodace. [3, 13]

### 4.2 Změna citlivosti fotoreceptorů sítnice

Hlavním adaptačním mechanismem je rozklad zrakových pigmentů ve fotoreceptorech působením světla a syntéza pigmentů vlivem tmy. V sítnici rozlišujeme čtyři druhy pigmentů, kdy tři z nich jsou vázány na čípky, a to chlorolab, erytrolab a cyanolab. Proto existují tři druhy čípků a každý z nich obsahuje jiný pigment. Čtvrtý pigment, zrakový purpur neboli rhodopsín, který je složená z opsínu a retinalu, obsahují tyčinky. Při adaptaci na světlo se vlivem rozkladu fotopigmentů snižuje citlivost fotoreceptorů. Zhruba do jedné minuty je děj dokončen a doznívá asi 10 minut. U adaptace na tmu je nutné vytvoření zásob fotopigmentů, a proto adaptace trvá delší dobu, a to od několika minut, při vyšších hodnotách osvětlení a u nižších hodnot i hodinu. [3, 13]

### 4.3 Změna velikosti vjemových polí

Zmenšování průměru vjemových polí sítnice při vysokých hodnotách osvětlenosti, a naopak jejich zmenšování při nižších hodnotách osvětlenosti je mnohem dokonalejším adaptačním mechanismem. Jelikož se intenzita světla mění, můžeme definovat tři druhy vidění, a to vidění fotopické, skotopické a mezopické. [3, 13]

#### Fotopické vidění

Fotopické vidění neboli oblast pro denní vidění s hodnotou jasu vyšší než  $10 \text{ cd}\cdot\text{m}^{-2}$ , je zajišťováno převážně čípkami. Jedná se o ostré, barevné denní vidění. Adaptace je poměrně rychlá přibližně 20 – 60 s. [3, 13]

#### Skotopické vidění

Tyčinky jsou daleko citlivější než čípkami a uplatňují se při skotopickém vidění neboli nočním viděním s hodnotou jasu nižší než  $0,001 \text{ cd}\cdot\text{m}^{-2}$ . Zde je nutná adaptace oka na tmou, která trvá déle. Úplné adaptace lidské oko dosáhne až po 40 – 60 sekundách. Toto vidění je neostré a nebarevné a je vnímána pouze změna v intenzitě osvětlení. [3, 13]

#### Mezopické vidění

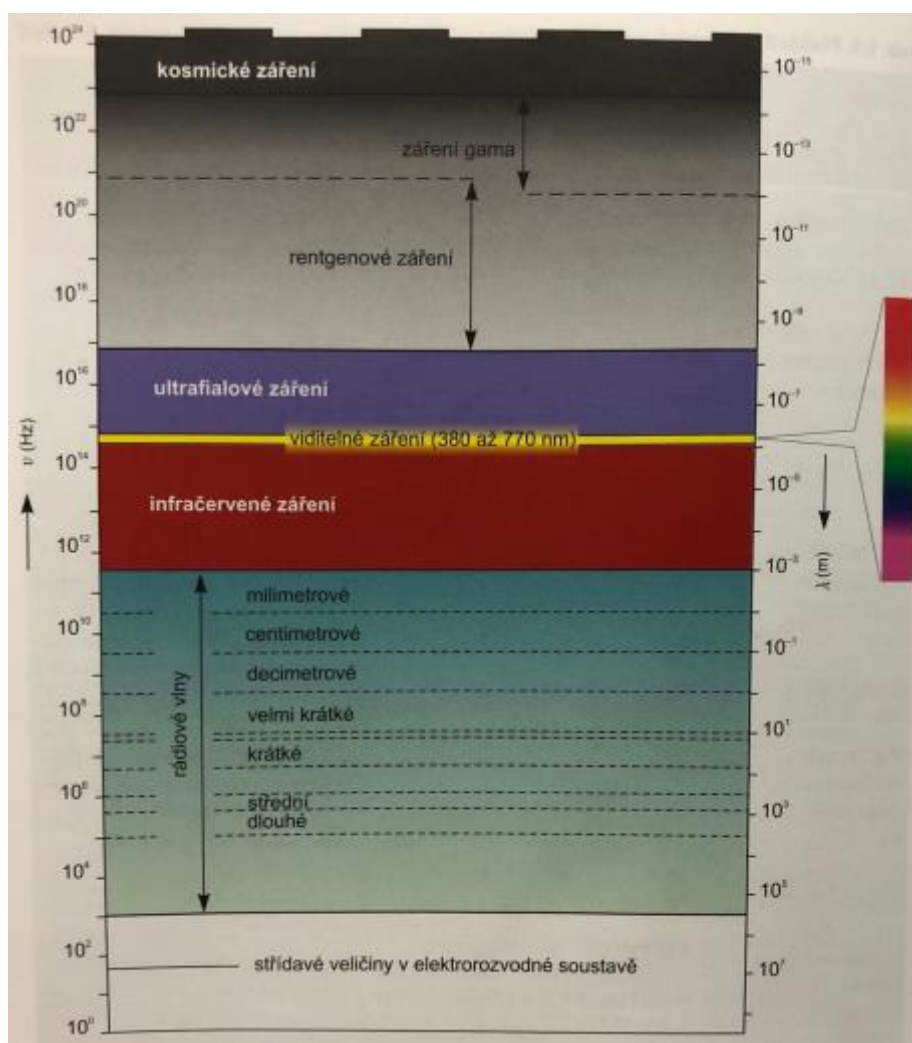
Toto vidění je zajišťováno čípkami i tyčinkami. Pokud je intenzita světla vyšší, zajišťují vidění čípkami, při nižší intenzitě citlivost čípků klesá a jsou zapojeny tyčinky. Zde se intenzita jasu pohybuje od  $0,001$  do  $10 \text{ cd}\cdot\text{m}^{-2}$ . [3, 13]

### 4.4 Adaptace na barvy

Adaptace oka na barvy zajišťuje stálost vnímání barevných tónů, a to i při velkých změnách spektrálního složení přírodního a určitých stupňů umělého osvětlení. [13]

## 5 Světlo

Světlo je elektromagnetické záření, které je viditelné pro lidský zrakový orgán a je zhodnoceno podle citlivosti oka k záření o různých vlnových délkách. Ve viditelné oblasti každé monofrekvenční záření budí zcela určitý barevný počitek, proto se označuje jako monochromatické záření. Oko člověka může rozeznat ve spektru slunečního záření až 128 barevných tónů. Frekvence viditelného záření se pohybuje od  $3,9 \times 10^{14}$  Hz do  $7,9 \times 10^{14}$  Hz, což ve vakuu odpovídá vlnové délce 390 – 760 nm. Na obrázku č. 5.1 je spektrum záření, které se získá seřazením složek záření podle kmitočtů či vlnových délek. [13]



**Obrázek 5.1** - Spektrum elektromagnetických záření s orientačním členěním podle frekvencí a vlnových délek [13]

## 5.1 Fotometrické veličiny

Jelikož lidské oko nemá schopnost vnímat souhrnné působení světla za určitou dobu, není celkové množství světelné energie vyzařované zdroji za určitý čas důležité pro vidění. Rozhodujícím je výkon neboli zářivý tok zdrojů, a hlavně jeho rozdělení v prostoru. Důležitým faktorem při posuzování kvality osvětlení je to, do jaké míry toto osvětlení napomáhá přijetí a zpracování informací přenášených světlem, jak usnadňuje proces vidění a následný vznik zrakového vjemu. Proto se ve světlené technice pracuje s veličinami, které berou ohled na různou citlivost oka k záření s různými vlnovými délkami. [3, 13, 14, 15]

### Světelný tok [ $\Phi$ ]

Světelný tok vyjadřuje světelný výkon záření a jeho jednotku je lumen [lm]. Charakterizuje množství světelné energie, kterou zdroj přenese za jednotku času s ohledem na citlivost lidského oka na různé vlnové délky. [3, 13, 14, 15]

### Prostorový úhel [ $\Omega$ ]

Velikost prostorového úhlu je určena velikostí plochy vyřáté obecnou kuželovou plochou, bez ohledu na její tvar či směřování, na povrchu jednotkové koule, kdy vrchol prostorového úhlu je totožný s vrcholem kuželové plochy. Jednotkou je steradián [sr]. [13, 14, 15]

### Svítivost [ $I$ ]

Svítivost udává, kolik světelného toku vyzáří světelný zdroj do prostorového úhlu v určitém směru a jeho jednotkou je kandela [cd]. [13, 14, 15]

### Intenzita osvětlení (Osvětlenost) [ $E$ ]

Intenzita osvětlení udává, jak je určitá plocha osvětlována, to znamená, jak velký světelný tok dopadá na určitou plochu. Jednotkou osvětlenosti je lux [lx], jeden lux odpovídá jednomu lumeny na metr čtvereční. [13, 14, 15]

### Jas svazku světelných paprsků [ $L$ ]

Jedná se o veličinu, která je určena prostorovou a plošnou hustotou světelného toku přenášeného paprsky. Jednotkou je 1 kandela na 1 metr čtvereční [ $\text{cd}\cdot\text{m}^{-2}$ ], která byla dříve označována jako nit [nt]. [13, 14, 15]

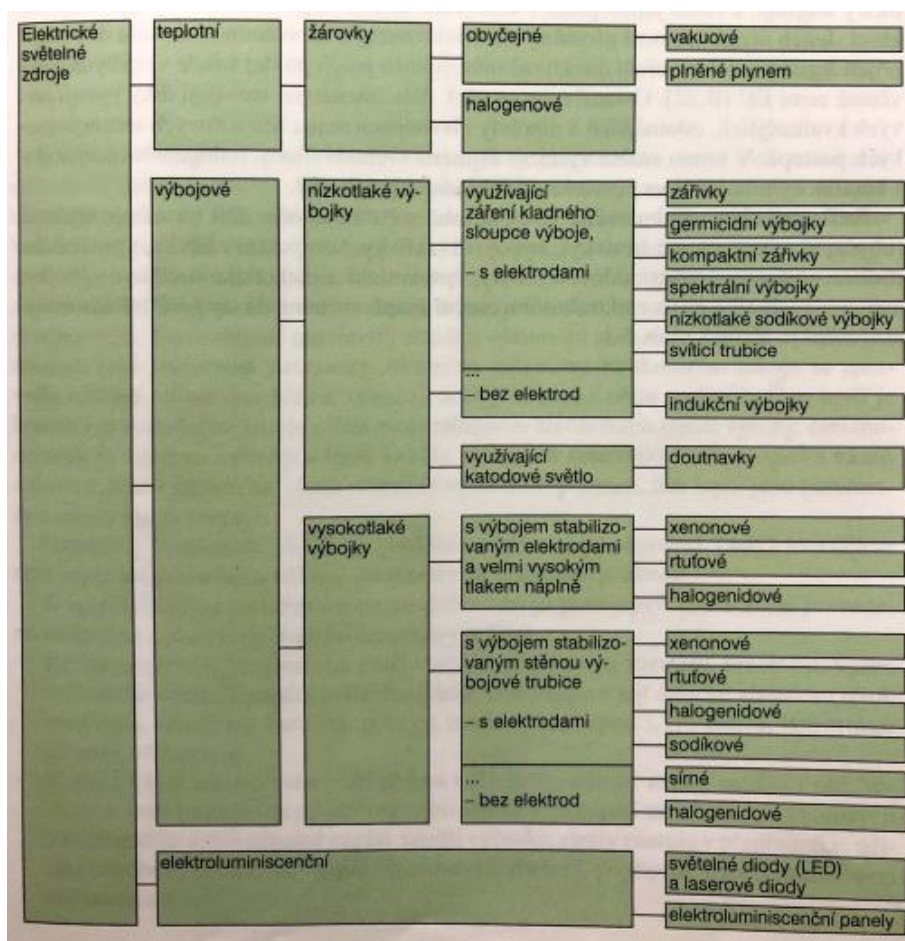
### Světlení [ $M$ ]

Světlení je fotometrická veličina definována jako plošná hustota světelného toku na povrchu zdroje. Jednotkou je 1 lumen na 1 metr čtvereční [ $\text{lm}\cdot\text{m}^{-2}$ ]. [3, 13, 14, 15]

## 5.2 Světelné zdroje

Světelnými zdroji rozumíme taková tělesa, která vyřazují optické, nejčastěji viditelné záření. Základními druhy jsou světla přírodní a umělá. Přírodními světelnými zdroji mohou být například Slunce, Měsíc, blesk apod. Mezi umělé zdroje patří žárovka, světelná dioda, svíčka, plynová lampa a další. Dalším dělením může být dělení na zdroje vlastní a nevlastní. Vlastní zdroje jsou takové, které samy vysílají záření jako například Slunce nebo žárovka. Taková tělesa, která světlo pouze odrážejí, ohýbají nebo lámou, jsou zdroje nevlastní. Vlastní zdroje můžeme dále dělit podle způsobu, jakým je vyzařování vyvoláno. [13, 14, 15]

V současné době mají pro osvětlování největší význam elektrické světelné zdroje. Jejich principem je přeměna elektrické energie na světelnou a podle principu vzniku světla je můžeme dělit na teplotní, výbojové a elektroluminiscenční. [13, 14, 15] Podrobnější dělení na obrázku č. 5.2.



Obrázek 5.2 - Struktura třídění světelných zdrojů [13]



### 5.3 Druhy osvětlení

Osvětlení je důležité pro vytvoření celkové psychické pohody a vhodného prostředí nejen pro práci, ale i pro odpočinek a zábavu. Rozlišujeme tři druhy osvětlení, a to denní osvětlení, umělé a sdružené. [13, 15]

Denní neboli přírodní osvětlení je sluneční světlo. Jedna jeho část dopadá na zemi jako přímé sluneční záření a druhá část je rozptýlena atmosférou. Hlavním znakem denního světla je to, že se jeho intenzita mění podle ročního období, denní doby a atmosférických podmínek. To je hlavní komplikací návrhu denního osvětlení, protože je složité zachovat zrakovou pohodu jak při přímém slunečním světle, tak při jasné, polojasné a zatažené obloze. [13, 15]

Umělé osvětlení slouží jako náhrada za osvětlení denní. Jejich úkolem je nahrazení předepsaných světelných podmínek v době, kdy není dostatek denního světla.

Kombinací denní a umělého osvětlení je osvětlení sdružené. Jedná se o osvětlení, kdy je při denním světle využito i světla umělého, a to zejména v prostorech, která jsou daleko od oken a není tedy možné plně využít denního světla. [13, 15]

### 5.4 Měření osvětlení

Experimentální část bakalářské práce bude měřena za umělého osvětlení, proto je princip měření popsán pouze u umělého osvětlení.

Při měření umělého osvětlení je důležité vyloučit jakýkoli vliv osvětlení denního, tudíž je toto osvětlení většinou měřeno v noci, anebo za pomoci úplného zastínění. Jelikož je umělé osvětlení stále, je možné provádět měření pouze v jednotkách osvětlenosti v luxech. Nejvhodnějším přístrojem pro toto měření jsou luxmetry, kterých je na Českém trhu velký výběr. Díky vývoji je možné na trhu najít luxmetry, které nejen splňují nižší nároky například na domácí použití, ale i takové, které mohou být používány na profesionální úrovni. Luxmetry můžeme tedy rozdělit do tří skupin.

- a) Laboratorní luxmetry, na které je kladen vysoký nárok na přesnost měření.
- b) Provozní luxmetry, sloužící pro měření osvětlení přímo v provozu.
- c) Orientační luxmetry, které jsou nejméně přesné a slouží pouze pro orientační měření.

Pro každý druh pracoviště a jeho osvětlení jsou dány jiné podmínky na měření a jeho přesnost. V tabulce číslo 5.1 jsou uvedeny přípustné celkové chyby luxmetrů. [16]

**Tabulka 5.1** – Druhy luxmetru a jejich přípustné chyby [16]

<b>Přípustné celkové chyby luxmetru</b>	
<b>Luxmetr</b>	<b>Přípustná chyba (%)</b>
Laboratorní	$\pm 5$
Provozní	$\pm 10$
Orientační	$\pm 20$

Luxmetry jsou objektivní přístroje určené k měření osvětlení. Skládají se z přijímače s korigovaným fotočlánkem s kosinusovým nastavcem a měřicího a vyhodnocovacího systému s analogovým nebo digitálním indikátorem. Každý indikátor luxmetru musí mít korektor umožňující kalibraci a vynulování přístroje. Je-li luxmetr vybaven vlastním napájecím zdrojem, musí být umožněna průběžná kontrola napětí tohoto zdroje. [17]

### **Princip měření**

Každý luxmetr by měl obsahovat ochranné pouzdro, které kryje světlený senzor a je tedy nutné před zahájením měření tento kryt odstranit, přístroj zapnout a ponechat ve světelném prostředí, kde se bude měřit po dobu pěti až patnácti minut, aby se čidla fotočlánku přizpůsobila světelným podmínkám. [17]

Pokud měření probíhá v místnosti, kde je zabráněno průniku denního osvětlení, není nutné měřit v bodech pracovní roviny, jako je tomu u měření denního osvětlení, ale stačí přístroj namířit kolmo ke světelnému zdroji zhruba ve výšce 0,85 metrů. Je také nezbytné nechat světelné zdroje zapnuté alespoň po dobu dvaceti minut. [17]

## 6 Legislativa a hygienické normy

Hygienické požadavky na osvětlení pracovišť jsou uvedeny v § 45 a § 45a nařízení vlády č. 361/2007 Sb., kterým jsou stanoveny podmínky ochrany zdraví při práci. Tyto dva paragrafy obsahují informace ohledně osvětlení pracoviště, minimálních hodnotách umělého osvětlení a osvětlení konkrétních pracovišť.

Světlem a osvětlením prostorů se dále zabývají tyto normy:

- ČSN 36 0020 - Sdružené osvětlení
- ČSN 36 0011-3 - Měření osvětlení prostorů - Část 3: Měření umělého osvětlení vnitřních prostorů
- ČSN EN 12464-1 - Světlo a osvětlení - Osvětlení pracovních prostorů - Část 1: Vnitřní pracovní prostory
- ČSN EN 12464-1 Z1 - Osvětlení vnitřních pracovních prostor změna 1

[18]

**Tabulka 6.1** - Osvětlení oční vyšetřovny [19]

<b>Položka č.</b>	<b>Druh prostoru, úkolu nebo činnosti</b>	<b>Osvětlenost (lx)</b>
7.5.1	Celkové osvětlení	300
7.5.2	Vyšetřování vnějšího oka	1000
7.5.3	Testy čtení a barvocitu na testovacích tabulkách	500

## 7 Refrakční vady oka

Očními vadami převážně rozumíme refrakční vady oka, což znamená neschopnost oka vidět na určité vzdálenosti vlivem špatného dopadu světla, tedy mimo místo nejostřejšího vidění na sítnici. Mezi tyto vady patří hypermetropie, myopie, astigmatismus a také presbyopie.

Emetropické oko, je takové, kdy je v rovnováze délka oka, zakřivení, lomivost a optická mohutnost médií. Odchylka od emetropie se nazývá ametropie, která může být sférická, do které patří myopie a hypermetropie, nebo asférická, kterou je astigmatismus. Dále je k těmto vadám zařazena i presbyopie. [20]

### 7.1 Myopie

Při myopii neboli krátkozrakosti, se rovnoběžné paprsky přicházející do oka sbíhají v ohnisku před sítnicí. Její vznik je nejčastěji v důsledku prodloužení předozadní osy. Můžeme jí rozdělit na lehkou (*simplex*) do  $-3$  D, střední (*modica*) do  $-6$  D a těžkou (*gravis*) nad  $-6$  D. Mezi hlavní příznaky patří mlhavé, neostře vidění do dálky. U pacientů je možné si všimnout, že se snaží tento problém korigovat mhouřením očí. Ke korekci se používají čočky se zápornou optickou mohutností (mínusové čočky neboli rozptylky), aby se obraz vytvořil na sítnici. Pacientovi se předepisuje nejmenší mínusová čočka, se kterou je dosaženo nejlepší zrakové ostrosti. Hlavním problémem je překorigování, které může vést k navození stavu podobnému hypermetropii. Myopie se dá korigovat jak brýlovou korekcí, tak kontaktními čočkami. Při použití kontaktních čoček je obraz větší a ostřejší než u korekce brýlové. [9]

### 7.2 Hypermetropie

Při dalekozrakosti se obraz předmětu vytváří v nekonečnu za sítnicí. Po narození je hypermetropie normálním nálezem. Dalekozrakost klesá s postupným růstem oka. Část vady, kterou je pacient schopen sám korigovat akomodací, se nazývá latentní hypermetropie a část, kterou korigujeme refrakčními skly, se nazývá manifestní. Jelikož obraz vzniká za sítnicí, je nutné tuto vadu korigovat čočkami s plusovou optickou mohutností (plusovými čočkami neboli spojkami) a tím posunout obraz zpět na sítnici. V případě, že je vada malá, zraková ostrost normální a klient nemá příznaky strabismu nebo astenopické obtíže, není korekce nutná. U dětí předškolního věku předepisujeme brýlovou korekci u vysokých vad, anebo při šilhání. U školních dětí v případě vady nad 3 D. U starších 30 let je korekce předepisována na blízko, popřípadě i na trvalé nošení. [9]

### 7.3 Astigmatismus

Astigmatismus je refrakční vadou asférickou, při které rovnoběžné paprsky přicházející k oku nemají v různých meridiánech své ohnisko v téže rovině. Příčinou může být nesprávná centrace nebo index lomu a také vada zakřivení. Větší zakřivení rohovky může být způsobeno například tlakem horního víčka a vzniká tak fyziologicky větší zakřivení ve svislém meridiánu. Změna zakřivení rohovky může být také způsobena onemocněním, úrazem nebo operací rohovky, v tomto případě jde o astigmatismus rohovkový. Rozdíl zakřivení přední plochy o 0,1 mm způsobí zevní astigmatismus o 0,5 D. [9, 21, 22]

Můžeme se také setkat s astigmatismem čočkovým, který je vzácnější. Ten může být způsoben větším zakřivením předního i zadního pólu čočky, její subluxací a změnou lomu.

Podle hlavních meridiánů, můžeme rozlišit pravidelný a nepravidelný astigmatismus. U pravidelného jsou meridiány na sebe navzájem kolmé a u nepravidelného tomu tak není. Pravidelný astigmatismus můžeme dělit na další tři typy:

1. **Astigmatismus jednoduchý (*simplex*)**, kdy jeden meridián je emetropický a druhý buď hypermetropický, nebo myopický
2. **Astigmatismus složený (*compositus*)**, oba meridiány jsou hypermetropické, nebo myopické
3. **Astigmatismus smíšený (*mixtus*)**, má jeden meridián hypermetropický a druhý myopický

Podle lomivosti vertikální osy můžeme pravidelný astigmatismus dále rozdělit na astigmatismus podle pravidla, proti pravidlu a šikmý.

1. **Astigmatismus podle pravidla**, svislý meridián je lomivější, než horizontální
2. **Astigmatismus proti pravidlu**, horizontální meridián je lomivější než vertikální
3. **Astigmatismus šikmý**, meridiány svírají úhel 45° a 135° a není možné určit, který meridián je horizontální a který vertikální.

Nepravidelný astigmatismus, kdy hlavní meridiány nejsou na sebe navzájem kolmé, lze rozdělit na **nepravidelně pravidelný** a **nepravidelně nepravidelný**. [9, 21, 22]

Korekce astigmatismu je poněkud složitější než u ostatních refrakčních vad oka. U dospělých, kteří nikdy nenosili cylindrickou korekci, nemusí být plná korekce snesitelnou. Často je nutný kompromis mezi binokulární snášenlivostí a zrakovou ostrotí. Je proto nutný individuální přístup. U dětí díky větší adaptabilitě můžeme předepsat plnou korekci.

Nízký stupeň astigmatismu do 0,5 D není nutné korigovat. U korekce vyššího stupně vzniká aniseikonie (nestejná velikost obrazu). Horší snesitelnost nastává v šikmých osách než v osách horizontálních či vertikálních. Korekce astigmatismu je možná:

1. brýlovou korekcí
2. měkkými kontaktními čočkami
3. Individuálními tvrdými čočkami

[9, 21]

## 7.4 Presbyopie

Vlivem stárnutí čočky, se snižuje schopnost akomodace a vzniká tak presbyopie neboli vetchozrakost. Pokud se rezerva akomodace stane menší, než je polovina potřebné akomodační šíře, začnou se projevovat presbyopické obtíže. Obvykle je to kolem 40. roku života, kdy se u emetropického oka blízký bod posune dále než 20 cm, zvětšuje se pracovní vzdálenost a při dlouhodobé práci na blízko se dostaví astenopické potíže jako například bolest hlavy, slzení a bolest očí, rychlejší únava a někdy i nevolnost. Presbyopie se může ovšem objevit dříve či později v závislosti na refrakční vadě. Pokud pacient trpí hypermetropií, může se vetchozrakost objevit dříve, a to vlivem toho, že hypermetropové mají menší akomodační šíři. U myopů, u kterých je vada vyšší než  $-4$  D, se nemusí dostavit vůbec. Korekce musí být individuální, aby byla udržena souhra mezi konvergencí a akomodací. Pacientovi se proto předepisují nejslabší plusové čočky, aby bylo vidění dobré a pohodlné. Při předpisu korekce je také nutné brát zřetel na požadovanou pracovní vzdálenost pacienta.

[9, 21, 23, 24]

## 8 Objektivní refrakce a subjektivní refrakce

Refrakce je vyšetření pacienta za pomoci přístrojů a zahrnuje změření a stanovení dioptrií a určení vhodné korekce. Před samotným vyšetřením refrakce by se měla stanovit anamnéza, která je důležitá pro porozumění symptomů, které přivedli pacienta k vyšetřujícímu. Dalším krokem je určení objektivní refrakce a poté následuje určení refrakce subjektivní. [23]

### 8.1 Objektivní refrakce

Před určením subjektivní refrakce by měl vyšetřující provést objektivní refrakci, při které nepotřebuje od vyšetřovaného žádné informace. Toto vyšetření slouží především pro zajištění vstupních informací pro určení subjektivní refrakce. Z informací zjištěných z tohoto vyšetření, může optometrista nebo oční lékař vycházet, ale na výsledky se nemůže plně spoléhat. Existují dva typy pro zjištění objektivní refrakce auto-refraktometr nebo retinoskopie. Po zjištění výsledků jak objektivní, tak subjektivní refrakce by se měly výsledky shodovat, ale je nutné počítat s tím, že přístroje můžou být omylné, anebo způsobovat mírnou odchylku, a to především u vyšetření na auto-refraktometru.

#### Auto-refraktometr

Autorefraktometr je přístroj k měření objektivní refrakce, většina z nich funguje na principu vysílání infračerveného paprsku, který je pro lidské oko neviditelný. Dnešní autorefraktometry obsahují dva světelné svazky. První osvětluje fixační značku, kterou vidí vyšetřovaný a druhý svazek slouží pro měření. Senzor přístroje zachytí odraz infračerveného paprsku, který je odražen od sítnice a projde dvakrát okem. Poprvé když vstupuje do oka a podruhé při jeho výstupu. Jedná se o snadný a rychlý způsob měření refrakce. Vyšetřovaný se opře bradou o opěrku a sleduje bod v přístroji. Lékař nebo optometristy nastaví přístroj tak, aby vyšetřované oko bylo vycentrované a zaostřené. Vyšetřovaný je instruován, aby sledoval bod v přístroji a na chvíli přestal mrkat. Přístroj provede několik měření, ze kterých je pak vypočítána průměrná hodnota a měření se opakuje na druhém oku. [23, 25, 26]



Obrázek 8.1 – Autorefraktokeratometr [26]

## Retinoskopie

Retinoskopie neboli skiaskopie je metodou ke zjištění objektivní refrakce, se kterou je vyšetřující schopen stanovit refrakční stav oka podle pohybu odraženého světla od oka za pomoci přístroje označovaného jako retinoskop. Retinoskop je vybaven světlem, které svítí pacientovi do oka a od sítnice se odráží. Retinoskop se natáčí v různých směrech a osvětluje oko pod různými úhly. Podle pohybu a rychlosti světla vyšetřující určí refrakční vadu vyšetřovaného a jsou mu předloženy příslušné refrakční čočky. Vyšetření probíhá v tmavé místnosti a vyšetřovaný pozoruje vzdálený předmět. [23]

## 8.2 Subjektivní refrakce

Subjektivní refrakce je metodou, pro kterou je nutná spolupráce pacienta s optometristou nebo očním lékařem. Spočívá v předkládání různých refrakčních čoček a je potřeba, aby pacient rozeznával změny ve zřetelnosti testovacího objektu. Hlavním cílem je ověření a jemné doladění předchozí objektivní refrakce, ze které optometrista vychází.



Subjektivní refrakce se nejdříve provádí pro každé oko zvlášť a nejčastěji se začíná okem pravým. Doporučeným postupem je nejprve určení sférické mohutnosti, cylindru a jeho osy. Na druhém oku je postup stejný, a nakonec se kontroluje binokulární vyvážení. [23]

Subjektivní refrakci je možné stanovit ručně za pomoci brýlové skříně, anebo za pomoci foropteru, což je mechanický nebo digitální přístroj. Největší výhodou foropteru je rychlost, se kterou se dají měnit zkušební skla a také není nutné provádět výměnný trik při předsazování plusových čoček, ale také má své nevýhody, jako jsou například špatná pozice držení hlavy pacienta a nemožnost vyzkoušet novou korekci v prostoru. [9, 23]

V dalších kapitolách je popsáno stanovení subjektivní refrakce za pomoci brýlové skříně, protože praktická část bakalářské práce není vyšetřována na foropteru.

### 8.2.1 Vyšetření do dálky

Prvním krokem stanovení subjektivní refrakce do dálky je určení naturálního visu. Pacient je usazen před optotyp do dálky, který je umístěn nejčastěji ve vzdálenosti 5 nebo 6 m. Poté se vyšetřovanému nasadí zkušební obruba. Zde je důležité správné nasazení obruby na obličej. Je potřeba nastavit opěrku nosníku, PD (*pupillary distance* neboli vzdálenost zornic), délku stranice, inklinaci brýlového středu a vzdálenost vrcholu od rohovky. Naturální visus se určuje monokulárně i binokulárně. Jak již bylo zmíněno, začínáme vyšetřováním oka pravého. Před levé oko se umístí clonka a pacient je vyzván, aby četl nahlas určené řádky a znaky. Optometrista si zaznamená správnost čtených znaků a poslední pohodlně čtený řádek. Poté se clonka umístí před oko pravé a postup se opakuje. Nakonec se clonka odstraní a pacient čte oběma očima dohromady. [23]

#### Stanovení sférické optické mohutnosti

Prvním krokem je určení sférické vady. Vyšetřovanému se předloží plusová čočka a položí otázka: Je obraz s touto čočkou horší nebo stejný? Pokud odpoví stejně nebo lepší, jedná se o hypermetropii a čočka se nechá ve zkušební obrubě. Dále jsou předkládány plusové čočky, dokud se zraková ostrost nezhorší. Při výměně plusových čoček je důležité provádět výměnný trik, aby nedošlo k aktivaci akomodace. Výměnný trik se provádí tak, že je předložena plusová čočka s vyšší hodnotou před čočku s hodnotou nižší, která se až poté vytáhne. Stejně je to i při zeslabování plusových čoček. Nejprve se vloží slabší čočka a až poté se vytáhne čočka s vyšší hodnotou. [23]

Pokud vyšetřovaný na otázku při předložení spojné čočky odpoví, že je obraz horší, jedná se o myopii nebo slabší hypermetropii. Pro ověření se předloží další plusová čočka +0,25 D a pokud pacient odpoví, že je obraz stejný nebo lepší, jedná se o hypermetropii a postupuje se podle předchozího postupu. Pokud odpoví, že je obraz horší, jedná se o myopii plusová čočka se vyjme a je nahrazena mínusovou neboli rozptylnou čočkou. Po předložení mínusové čočky je položena otázka: Je obraz s danou čočkou lepší nebo stejný? Rozptylné čočky se vkládají do chvíle, kdy se zraková ostrost zlepšuje. V případě, že se vyšetřovanému zdají znaky menší nebo jen výraznější, čočku již nevkládáme. [23]

Důležité je tedy hlídat zrakovou ostrost a v obrubě ponechat jen nejsilnější plusovou nebo nejslabší mínusovou čočku. [23] Podle naturálního visu je možné odhadnout sférickou hodnotu (viz tabulka číslo 8.1).

**Tabulka 8.1** - Hodnoty sférické čočky podle naturálního visu [27]

<b>SPH deficit podle úrovně visu</b>		
<b>Visus</b>	<b>SPH deficit</b>	<b>Vložit SPH</b>
1,00	0,25 D	0,25 D
0,80	0,50 D	0,25 D
0,50	1,00 D	0,50 D
0,30	1,50 D	0,75 D
0,15	2,00 D	1,00 D
0,10	3,00 D	2,00 D

### **Stanovení cylindru**

Dalším krokem po stanovení sférické mohutnosti následuje určení cylindrické optické mohutnosti a osy cylindru.

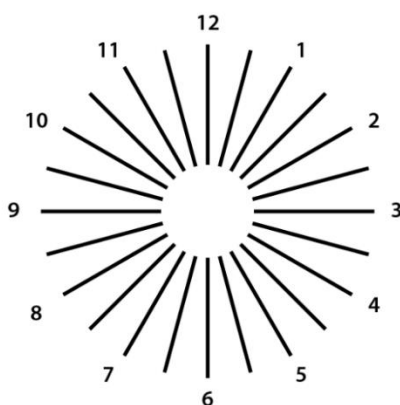
Pro stanovení cylindru je možné využít zamlžovací metodu, anebo metodu Jacksonových zkřížených cylindrů. Také zde můžeme opět podle naturálního visu se sférickou korekcí odhadnout hodnotu cylindru, se kterými je vhodné začít, tyto hodnoty jsou uvedeny v tabulce číslo 8.2.

**Tabulka 8.2** - Hodnoty cylindrického deficitu podle naturálního visu se sférickou korekcí [27]

CYL deficit podle úrovně visu		
Visus	CYL deficit	Vložit CYL + použit JZC
1,20	0,25 D	0,12 D
1,00	0,50 D	0,25 D
0,65	1,00 D	0,50 D
0,50	1,50 D	0,50 D
0,40	2,00 D	0,50 D
0,20	3,00 D	1,00 D

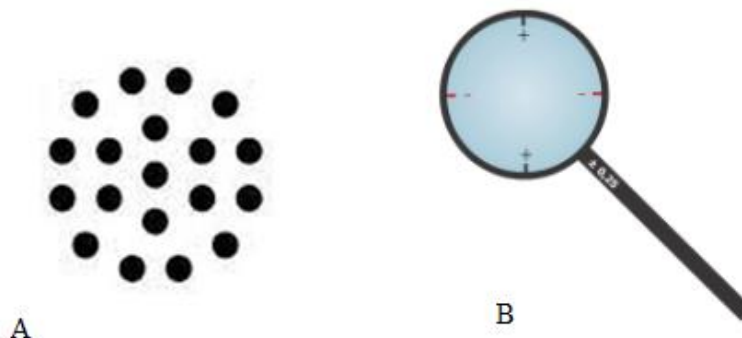
**a) Zamlžovací metoda**

Při této metodě se používá například astigmatická růžice (obrázek číslo 8.2). Měření se absolvuje ve fázi zamlžení. To znamená, že po zjištění sférické lámavosti do dálky, se před oko vkládá další spojná čočka takové hodnoty, aby z libovolného pravidelného astigmatismu vznikl astigmatismus složený myopický. Obecně platí, že by vyšetřovaný měl se zmlžením přečíst celý řádek visu 0,5, anebo aspoň některé znaky z řádku 0,6. Vyšetřovanému je předložena astigmatická růžice a postupným odmlžováním by měl být schopen určit polohu nejostřeji viděného paprsku. Záporný plan-cylindr vkládáme kolmo k vyšetřovaným určenému paprsku. Plan-cylindry vkládáme do chvíle, kdy se všechny paprsky vyšetřovanému jeví stejně kontrastní. Správnou hodnotu cylindru můžeme ověřit předložením dalšího plan-cylindru, kdy by se vyšetřovanému původní nejostřejší paprsek v tuto chvíli jevil jako nejméně kontrastní. [25]

**Obrázek 8.2** - Astigmatická růžice [28]

### b) Metoda Jacksonových zkřížených cylindrů

Při této metodě pacient pozoruje skupinu teček (obrázek číslo 8.3) nebo například písmeno O, které musí mít přiměřenou velikost pacientovu vidění. [23] Součástí vyšetření je také Jacksonův zkřížený cylindr (obrázek číslo 8.3).



**Obrázek 8.3** - Skupina teček pro vyšetření (A), Jacksonův zkřížený cylindr (B) [29]

Jacksonův zkřížený cylindr (dále JZC) tvoří dvojice navzájem kolmých plan-cylindrů s hodnotami  $\pm 0,25$ ,  $\pm 0,50$  popřípadě  $\pm 1,0$  D, které jsou uloženy v kulaté objímce, nejčastěji s kulatým držátkem. Směry os těchto uvedených plan-cylindrů symetricky půlí právě toto držadlo. Na optické části JZC jsou umístěny značky – čárky nebo tečky, nejčastěji v černé a červené barvě. Červená barva znázorňuje zápornou osu cylindru a černá kladnou osu cylindru. Tyto barvy značek souhlasí s barvou objímky plan-cylindrů ve zkušební sadě čoček. V kladné ose plan-cylindru je maximální lámavý účinek záporného plan-cylindru a naopak maximální lámavý účinek kladného plan-cylindru je v ose záporného. [25]

Zde je nutná komunikace vyšetřujícího s pacientem. Pacientovi jsou ukázány dvě varianty obrazu a je mu položena otázka, zdali je pro něj lepší obraz číslo jedna nebo obraz číslo dvě. Vyšetření za pomoci JZC se skládá ze tří základních kroků. Prvním krokem je nalezení předběžné osy cylindru, druhým definitivní nalezení osy a krokem posledním je určení velikosti cylindru. [25]

#### 1. Nalezení předběžné osy cylindru

Tento krok má největší význam v případě, kdy nejsou k dispozici výchozí hodnoty z objektivní refrakce. JZC předkládáme ve čtyřech směrech. Nejprve s orientací svislou a vodorovnou a poté šikmou.

U svislé orientace předkládáme JZC v osách  $90^\circ$  -  $270^\circ$  a u vodorovné v osách  $180^\circ$  a  $0^\circ$ . Těchto hodnot lze pohodlně dosáhnout pouhým pootočením JZC mezi prsty o  $180^\circ$ . Jelikož osy cylindru nemusí být jen ve svislých nebo vodorovných osách, je nutné ověřit i osy šikmé, a to v osách  $45^\circ$  a  $135^\circ$ . Pacientovi je položena otázka, který obraz je pro něj lepší a podle jeho odpovědi je možné určit, kde zhruba se bude nacházet předběžná osa cylindru. Je také nutné si na začátku stanovit, kterou osu cylindru budeme sledovat, jestli kladnou nebo zápornou. [25]

## 2. Nalezení definitivní osy cylindru

Dalším krokem je nalezení definitivní osy cylindru. Z předchozího kroku je známo, kde zhruba se bude nacházet osa cylindru a v tomto kroku je nutné zjistit, kde přesně se tato osa nachází. Vyšetřovanému před oko předložíme cylindrickou zkušební čočku s hodnotou stejnou jako je hodnota JZC, který předkládáme v prodloužení k ose určené v předchozím kroku. JZC opět otáčíme mezi prsty a vyšetřovanému je položena otázka, který obraz je pro něj lepší a podle jeho odpovědi otáčíme zkušební čočkou ve zkušební obrubě a posouváme tím osu cylindru. Směr posunu osy je určen podle odpovědi pacienta. Konečnou fází této části vyšetření je ta, kdy není vyšetřovaný schopen vyhodnotit, který z obrazů je pro něj lepší. [25]

## 3. Určení velikosti cylindru

Definitivní osa cylindru je určena a je nutné stanovit hodnotu cylindru. JZC předkládáme před oko v pozici, kdy jsou značky v zákrytu s definitivní osou. Opět jsou vyšetřovanému ukázány dva obrazy a podle jeho odpovědi je vyhodnoceno, jestli je nutné předložit cylindr vyšší hodnoty. Pokud odpoví, že se mu obraz zdá lepší, když je na definitivní ose značka červené barvy, je nutné předložit cylindr vyšší hodnoty. Pokud se mu obraz zdá lepší na černé značce, je nutné cylindr snížit. [25]

## Kontrola monokulární sférické korekce

Kontrolu monokulární sférické korekce je možné provádět na dvoubarevném testu neboli červeno-zeleném testu. Jde o test, kdy je využívána chromatická aberace oka. Test se provádí monokulárně, vyšetřovaný pozoruje tabuli s černými znaky umístěnými na červeném a zeleném pozadí a porovnává, kde se mu znaky zdají být kontrastnější. Pokud lépe vnímá znaky na červeném pozadí, je nutné předkládat dalších  $-0,25$  D, dokud není vjem na obou barevných pozadích stejný. V opačném případě, kdy se obraz zdá lepší na zeleném pozadí, jsou předkládány čočky s hodnotou  $+0,25$ , dokud obraz není stejný na obou pozadích. [25]

### **Vyváženost binokulárního vidění**

Po zjištění monokulární refrakce pro pravé a levé oko zvlášť, je důležitá binokulární kontrola korekce, tedy že pacient vidí oběma očima současně. Důležité je oddělení vjemů obou očí, a to za pomoci anaglyfních testů, prizmat a polarizace. Nejde-li dosáhnout úplné rovnováhy, je nutné brát zřetel na dominantní oko, které upřednostníme.

### **Závěrečná kontrola binokulární sférické mohutnosti**

Po stanovení monokulární refrakce, je důležité ověřit tyto hodnoty při binokulárním vidění. Tato závěrečná kontrola by se měla provádět se zkušební obrubou, aby bylo navozeno co nejpřirozenějších podmínek. Vyšetřovaný je vykorigován do dálky podle předtím určených hodnot subjektivní refrakce a je požádán, aby sledoval libovolný cíl v dálce. Postupně jsou mu předkládány zkušební čočky s hodnotami  $\pm 0,25$  D. Pacient posuzuje, jestli se mu s předsazenými čočkami vidění zhoršilo, zlepšilo nebo zůstalo stejné. Podle jeho odpovědi je určeno, zdali je vyšetřovaný správně vykorigovaný či nikoliv.

## **8.2.2 Vyšetření do blízka**

Správné určení korekce do blízka je důležité zejména u presbyopických pacientů

### **Stanovení adice na blízko**

Stanovení korekce do blízka je důležité zejména pro presbyopické pacienty. Jak již bylo zmíněno v samostatné kapitole o presbyopii, s postupem věku dochází k oslabení akomodace, což lze nahradit vhodně zvolenou plusovou čočkou neboli přídatkem do blízka (adicí). Ke správné korekci do dálky se přidává adice, a tím je nahrazena fyziologicky se snižující akomodační šíře. K určení adice se používá několik metod. [23]

#### **a) Tabulková metoda**

Touto metodou lze určit adici na základě pacientova věku (viz tabulka číslo 8.3). Je ovšem nutné tuto hodnotu subjektivně ověřit. Důležitá je také pracovní vzdálenost vyšetřovaného, čím je vzdálenost kratší, tím je hodnota adice vyšší.

**Tabulka 8.3** - Přibližná presbyopická adice pro čtecí vzdálenost 40 cm [27]

<b>Stanovení adice na základě věku</b>	
<b>Věk</b>	<b>Adice</b>
42	0,50 D
45	1,00 D
48	1,75 D
51	2,00 D
55	2,25 D
60	2,50 D

**b) Subjektivní metoda**

Na vyšetření zrakové ostrosti do blízka se používají například Jägerovy tabulky. Tyto tabulky obsahují odstavce textu s různou velikostí písma. Před vyšetřením je pacient požádán, aby si tabulku držel ve vzdálenosti, která odpovídá jeho pracovní vzdálenosti. Důležité je, aby byl vyšetřovaný plně vykorigovaný do dálky, protože u podkorigovaného hypermetropa nebo překorigovaného myopa, mohou být hodnoty adice vyšší. Před každé oko se předkládají spojné čočky, dokud pacient pohodlně nepřečte nejmenší znaky. Pokud s další vloženou čočkou nebyla zlepšena zraková ostrost, čočku nevkládáme. Správnou hodnotu můžeme ověřit předložením mínusové čočky  $-0,25$  D před obě oči. Pokud se vidění zhorší, předchozí korekce byla správná. [23]

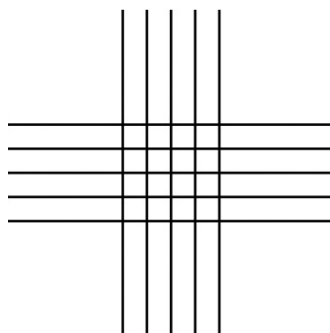
**c) Výpočtová metoda**

Hodnotu adice lze orientačně vypočítat pomocí vzorce číslo (1):

$$A = \frac{1}{\text{Pracovní vzdálenost}} - \frac{2}{3} \text{ Akomodační šíře} \quad (1)$$

#### d) Metoda pevného zkříženého cylindru

U této metody se adice stanoví za pomoci předsazení zkříženého cylindru s hodnotou  $\pm 0,50 D$  před obě oči. Vyšetřovaný s plnou korekcí do dálky je požádán, aby se díval na kříž složený z horizontálních a vertikálních linií (viz obrázek číslo 8.4), který je umístěn ve vzdálenosti 40 cm. Díky dostatečné akomodaci a v důsledku orientace zkřížených cylindrů, vidí pacient ostřeji horizontální linie než linie vertikální. Postupným předkládáním plusových čoček po  $+0,25 D$  dosáhneme toho, že vyšetřovaný vidí obě linie stejně ostře a hodnota předsazených čoček je hodnotou adice, kterou je nutné ověřit při čtení textu. [23]



Obrázek 8.4 - Mřížkový test [30]

Všechny tyto metody je nutné na závěr ověřit, a to především jejich pohodlnost pro pacienta. Do zkušební obruby se umístí korekce do dálky společně s naměřenou adicí a vyšetřovaný je požádán, aby četl text a sám zhodnotil, zda je mu tato korekce pohodlná.

## 9 Vliv osvětlení při vyšetření zraku

V současné době si světelně technické předpisy zakládají na tom, aby osvětlením byly vytvořeny co nejlepší podmínky pro to, aby zrak zpracoval potřebné množství informací za jednotku času a aby bylo dosaženo určitého zrakového výkonu. Intenzita osvětlení má největší vliv na zrakovou ostrost a barevné vidění.

### 9.1 Vliv osvětlení na zrakovou ostrost

Je obecně známo, že schopnost lidského oka rozlišit i jemné detaily, závisí na intenzitě osvětlení. Měřítkem schopnosti oka rozlišit detaily je zraková ostrost. Vztah mezi zrakovou ostroť a osvětlením byl poprvé zkoumán v roce 1754 astronomem Tobiasem Mayerem. Věřil, že se zraková ostrost zvyšuje jako šestá odmocnina intenzity osvětlení. [31]



## Zraková ostrost

Zrakovou ostrost podmiňuje rozlišovací schopnost a refrakční stav oka. Rozlišovací schopnost (*minimum separabile*) je schopnost oka rozeznat dva body v prostoru pod pozorovacím úhlem jako dva samostatné body. Hodnota minimálního úhlu rozlišení je jedna úhlová minuta ( $1'$ ). Zraková ostrost se odvíjí od vzdálenosti předmětů od sítnice, na jas a kontrastu předmětů oproti okolnímu prostředí, na refrakční vadě a velikosti zornice. K vyšetření zrakové ostrosti se používají různé druhy optotypů. [2, 3]

## Optotypy

Optotypy slouží k vyšetření zrakové ostrosti, mohou být projekční nebo digitální. Papírové optotypy se v dnešní době využívají především jen k vyšetření refrakce do blízka. Nejčastěji používané optotypy jsou Snellenovy optotypy nebo u malých dětí optotypy s obrázky. Optotypy jsou konstruovány pro vyšetření ze vzdálenosti 5 nebo 6 metrů, aby akomodace byla menší než 0,25 D. Jsou tvořeny písmeny, číslicemi nebo obrázky, jejichž velikost je taková, aby části písmen byly viditelné ze vzdálenosti, která je uvedena u příslušného řádku pod úhlem jedné minuty. Toto číslo odpovídá vzdálenosti, ze které by měla osoba s normální zrakovou ostrostí tento řádek přečíst. Zraková ostrost na dálku se zapisuje ve tvaru zlomku. V čitateli je vzdálenost vyšetřovaného od optotypu a ve jmenovateli číslo řádku, který vyšetřovaný ještě pohodlně přečte. Normální zraková ostrost je 5/5 nebo 6/6 podle vzdálenosti vyšetřovaného od optotypu. Zrakovou ostrost je možné zapisovat v decimálních hodnotách, to znamená že zraková ostrost 6/6 se rovná decimální hodnotě 0,1. [2, 3]

Vyšetření zrakové ostrosti do blízka se vyšetřuje pomocí Jägerovy tabulky. Vyšetřovaný čte tištěný text různé velikosti ze standardní vzdálenosti, nejčastěji 30 cm. Člověk se zrakovou ostrostí 6/6 nebo decimálním zápisem 0,1, by měl přečíst řádek číslo 1. [2, 3]

## 9.2 Vliv osvětlení na vnímání barev

Vnímání barev je složitým fyziologicko-psychickým procesem. Vlastnost zrakového počítku, umožňující pozorovateli zajistit rozdíl mezi dvěma plochami zorného pole mající stejnou velikost, strukturu i tvar, přičemž má tento rozdíl stejnou povahu jako rozdíl vznikající změnou spektrálního složení světla, se nazývá vjem barvy. Barevné vlastnosti světla se označují pojmem chromatičnost a barevné vlastnosti předmětů jako kolorita. Obě tyto vlastnosti lze vyjádřit fyzikálně podle spektrálního složení barevného podnětu a spektrální citlivosti lidského oka k záření s různými vlnovými délkami. Každý jedinec vnímá určitý

barevný tón odlišně, to je podmíněno množstvím vyzařované energie v dané oblasti vlnových délek a také spektrální citlivostí oka. Při hodnotách osvětlení větších než 1 lux je zahájeno barevné vidění, při hodnotách vyšších než 10 luxů, je většina lidí schopná rozeznat základní barvy povrchů a při hodnotě nad 50 luxů základní barevné tóny. [3, 13, 15]

### **Mechanismus barevného vidění**

Jak již bylo zmíněno v jedné z předchozích kapitol, schopnost barevného vidění mají pouze čípky, které k tomu potřebují určitou hladinu osvětlení a jelikož se hladina osvětlení mění, rozlišujeme tři druhy vidění. Při nižším osvětlení není lidské oko schopné vnímat barvy a jedná se o vidění skotoptické, barevné vidění se uskutečňuje u vidění foptického. Posledním druhem vidění je vidění mezooptické, kdy se uplatňují jak čípky, tak tyčinky. [2, 3]

### **Barvocit**

Barvocit je schopnost oka rozeznávat barvy, kterou zajišťují čípky v sítnici. Nejlépe jsou barvy vnímány centrem zrakového pole neboli žlutou skvrnou. Schopnost rozlišovat barvy se postupně snižuje směrem k periférii, nejprve pro barvu zelenou, červenou a modrou. [4]

## 10 Experimentální část

Experimentální část bakalářské práce bude zaměřena na světelné podmínky a jejich vliv na zrakové funkce, převážně na vliv sníženého osvětlení na vidění do blízka. Studie zabývající se tématem zhoršeného osvětlení uvádí, že snížené osvětlení může zhoršovat vidění do blízka, a to zejména u osob, u kterých se začíná projevovat presbyopie.

Potřeba mít stále větší osvětlení při čtení nebo nutnost přiblížovat si text blíže k oku, může být prvním projevem presbyopie. Mnoho lidí si tuto skutečnost však nemusí uvědomovat.

Dalším problémem může být dodržování osvětlení u vyšetřování zrakových funkcí. Například pokud by refrakce byla měřena za zhoršených světelných podmínek, může docházet k překorigování pacientů, a to především u měření adice neboli přídavku do blízka.

Tabulky pro měření refrakce do blízka jsou výrobcem zpracovány na bílém pozadí s černým textem, protože lidské oko vnímá tento kontrast nejsnáze.

Cílem této studie je zjištění, jak mohou zhoršené světelné podmínky ovlivnit vidění do blízka a u jakých barev. Skupině vybraných osob bude změřena subjektivní refrakce do dálky i do blízka za předepsaných světelných podmínek a poté jim bude měřena refrakce do blízka za zhoršeného osvětlení. Pro vyšetření budou vyrobeny čtecí tabulky s texty v různých barevných odstínech, se kterými se člověk setkává v běžném životě.

Na základě analýzy získaných dat a jejich statistickém zpracování budou ověřeny hypotézy:

**Hypotéza H1:** Zhoršené osvětlení ovlivňuje vidění do blízka především u presbyopických pacientů.

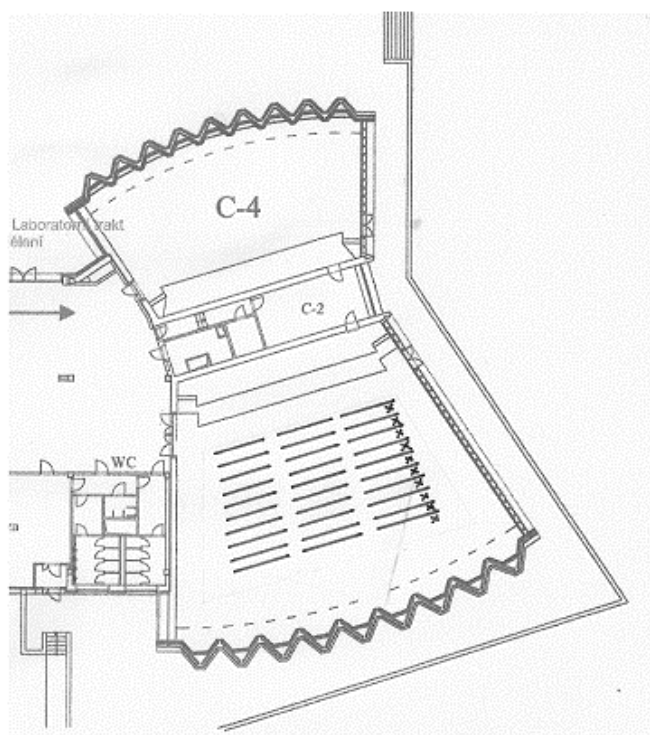
**Hypotéza H2:** Čtecí tabulky vyrobené na bílém podkladu s černým textem, jsou lépe čitelné i za zhoršeného osvětlení.

## 10.1 Metodika

Metodika experimentální části bakalářské práce byla shodná u všech vyšetřovaných osob. Obě části vyšetření probíhaly na Fakultě biomedicínského inženýrství v Kladně.

První část vyšetření byla měřena za předepsaného osvětlení (viz. kapitola 6) v místnosti B16 – školní optice. Všem pacientům byla nejprve provedena objektivní refrakce na autorefraktometru, která poté byla doladěna subjektivní refrakcí metodou „sklíčkování“.

Ve druhé části měření byli respondenti přesunuti do přednáškového sálu C1. Tento sál byl vybrán pro možnost úplného zatemnění pomocí vnitřních žaluzií a také především pro jeho rozložení míst k sezení, která jsou rozmístěna do tří sektorů s deseti řadami po deseti místech k sezení viz. obrázek číslo 10.1. Vzdálenost mezi jednotlivými řadami byla 1,27 metrů. Při rozsvícení pouze předních reflektorů se osvětlení postupně snižuje s každou následující řadou směrem nahoru ke konci přednáškového sálu.



**Obrázek 10.1-** Rozložení sálu C1 (písmenem x vyznačena místa pro měření) [32]

Vyšetřovanému byly předloženy předem připravené čtecí tabulky v barvách, jež odpovídají zbarvení různých textů na předmětech, se kterými se může běžně setkat v osobním životě a byl vyzván, aby ze vzdálenosti 40 cm četl. K vyšetřování bylo použito osm předem připravených čtecích tabulek v různých barvách a s různým pozadím.

Pro vytvoření těchto tabulek byla použita originální tabulka od firmy Optika Čivice s.r.o., která odpovídá předepsaným pravidlům pro vyhotovení čtecích tabulek do blízka.



Obrázek 10.2 - Čtecí tabulka od firmy Optika Čivice s.r.o. [33]

V tabulce číslo 10.1 jsou uvedeny barevné kombinace textů i s číselnými kódy použitých barev.

**Tabulka 10.1** - Použité kombinace barev textů v tabulkách pro čtení

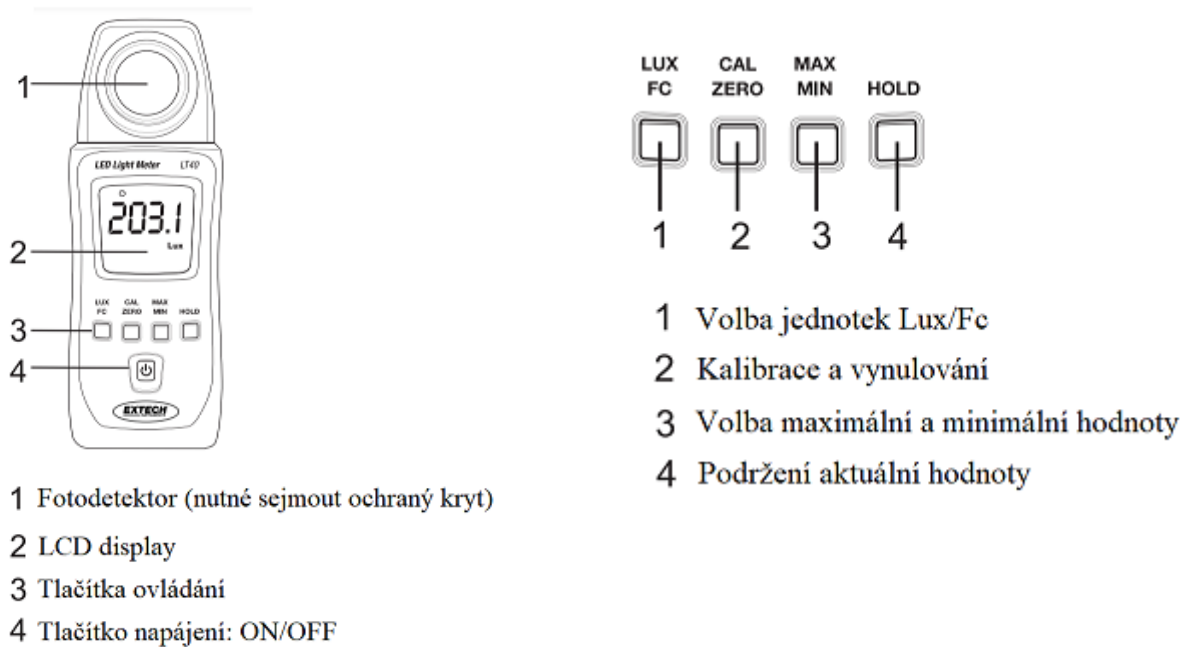
	Barva textu	Kód barvy	Barva pozadí	Kód barvy	Ukázka
<b>Tabulka 1</b>	Černá	#000000	Bílá	#FFFFFF	Optometrie
<b>Tabulka 2</b>	Červená	#CC5166	Bílá	#FFFFFF	Optometrie
<b>Tabulka 3</b>	Modrá	#61C3DC	Bílá	#FFFFFF	Optometrie
<b>Tabulka 4</b>	Růžová	#E6ACC2	Bílá	#FFFFFF	Optometrie
<b>Tabulka 5</b>	Žlutá	#E5EDBE	Bílá	#FFFFFF	Optometrie
<b>Tabulka 6</b>	Žlutá	#F0D540	Modrá	#4DBBD6	Optometrie
<b>Tabulka 7</b>	Bílá	#FFFFFF	Modrá	#4DBBD6	Optometrie
<b>Tabulka 8</b>	Černá	#000000	Červená	#CC5166	Optometrie

Jak již bylo zmíněno, z důvodu zabránění průniku denního osvětlení, byla místnost úplně zatemněna za pomoci vnitřních žaluzií a bylo využito pouze předních reflektorů. Osvětlení na vyšetřovacích místech se pohybovalo od 9 do 0,6 luxů. Postupné zvyšování osvětlení je zaznamenáno v tabulce číslo 10.2.

**Tabulka 10.2** - Postupné zvyšování osvětlení

Řada	Osvětlení (lx)					Průměrná hodnota
	1. měření	2. měření	3. měření	4. měření	5. měření	
<b>1</b>	9,0	9,1	9,1	9,0	9,0	9,0
<b>2</b>	7,7	7,7	7,7	7,7	7,5	7,7
<b>3</b>	6,4	6,3	6,3	6,4	6,4	6,4
<b>4</b>	4,4	4,6	4,4	4,4	4,6	4,5
<b>5</b>	2,3	2,5	2,3	2,3	2,5	2,4
<b>6</b>	1,0	1,2	1,0	1,0	1,1	1,1
<b>7</b>	0,8	0,8	0,9	0,9	0,8	0,8
<b>8</b>	0,7	0,7	0,8	0,7	0,7	0,7
<b>9</b>	0,6	0,5	0,6	0,7	0,8	0,6
<b>10</b>	0,5	0,3	0,6	0,3	0,5	0,4

Na obrázku 10.3 je znázorněn náčrt a popis luxmetru značky EXTECH model LT-40, který byl použit pro měření osvětlení v přednáškovém sále.



Obrázek 10.3 - Luxmetr LT40 Extech [34]

## 10.2 Analýza získaných dat

V experimentální části bylo dohromady vyšetřeno 51 osob s různými refrakčními vadami, které byly rozděleny do dvou skupin. První skupina byli pacienti s presbyopií, tedy osoby nad čtyřicet let a druhá skupina byli pacienti pod čtyřicet let.

V tabulce číslo 10.2 jsou zaznamenány tyto dvě skupiny s podrobnější charakteristikou.

**Tabulka 10.3** - Počet pacientů zařazených do skupiny 1 a 2

	<b>Skupina 1 - nad 40 let (presbyopie)</b>			
<b>Počet osob</b>	21			
<b>Refrakční vada</b>	Hypermetropie	Myopie	Astigmatismus	Keratokonus
<b>Počet osob</b>	5	6	9	1
	<b>Skupina 2 - pod 40 let</b>			
<b>Počet osob</b>	30			
<b>Refrakční vada</b>	Hypermetropie	Myopie	Astigmatismus	Bez refrakční vady
<b>Počet osob</b>	6	8	11	5

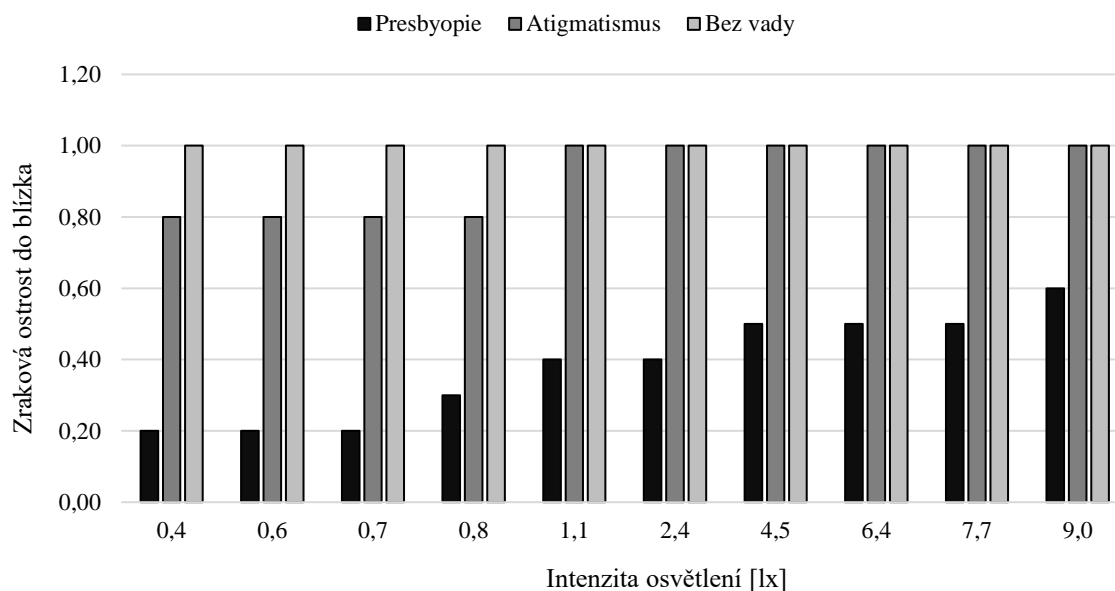
Jak z tabulky číslo 10.2 vyplývá, bylo v první skupině bylo méně vyšetřovaných, především díky tomu, že ve druhé skupině byli pacienti i bez refrakčních vad, což u osob nad čtyřicet nelze dodržet z důvodu nastupující presbyopie.

Všem 51 osobám byla změřena subjektivní refrakce do dálky i blízka a při předepsaném osvětlení dosáhli všichni vyšetřovaní zrakové ostrosti do blízka hodnoty 1,00. Poté probandům bylo postupně předloženo osm předem vyhotovených čtecích tabulek s různě barevným písmem, u některých i s různě barevným pozadím a byli vyzváni, aby všechny tyto tabulky četli v deseti řadách s různým osvětlením. Ze zaznamenaných výsledků u všech osob a každé barvy byli stanoveny průměrné hodnoty a k přehlednější prezentaci byli vyšetřovaní rozděleni do tří skupin:

- 1) osoby s presbyopií
- 2) astigmatismem pod čtyřicet let
- 3) osoby pod čtyřicet let a bez refrakční vady.



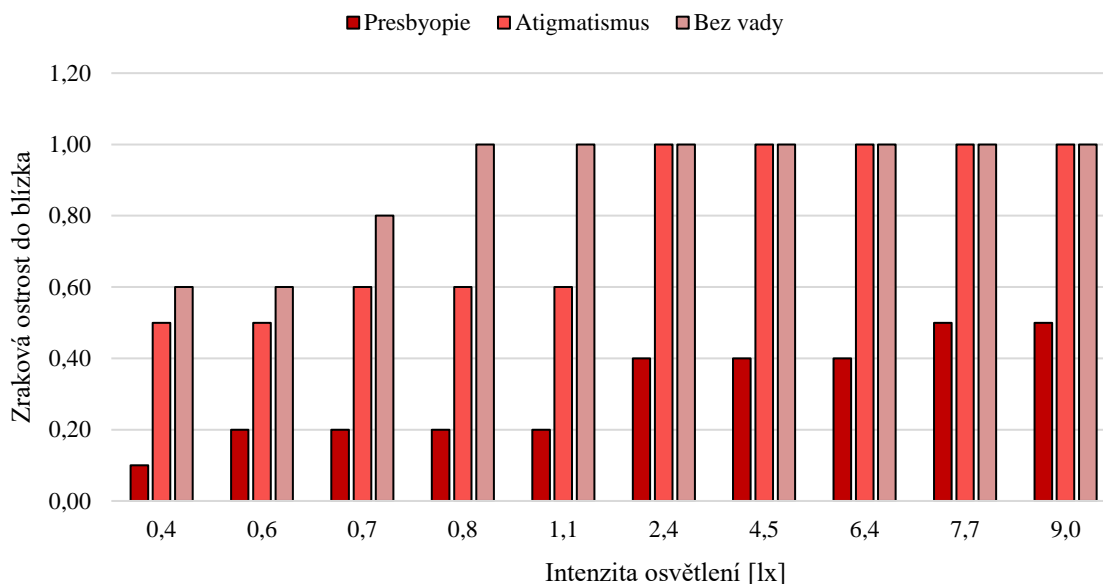
První čtecí tabulka byla zpracována podle originálu a zůstala i v původních barvách tedy černé písmo na bílém pozadí. Naměřené hodnoty této varianty testu jsou zobrazeny v grafu číslo 1.



**Graf 1** - Porovnání zrakové ostrosti vybraných osob na černé barvě písma

Z grafu číslo 1 vyplývá, že u vyšetřovaných bez refrakční vady dosáhla zraková ostrost do blízka hodnot 1,00 i při osvětlení 9 luxů. Astigmatici pod čtyřicet let se dostali ke zrakové ostrosti 1,00 až v šesté řadě, kde se osvětlení pohybuje kolem 1,1 luxů a presbyopové se na hodnotu 1,00 ani nedostali.

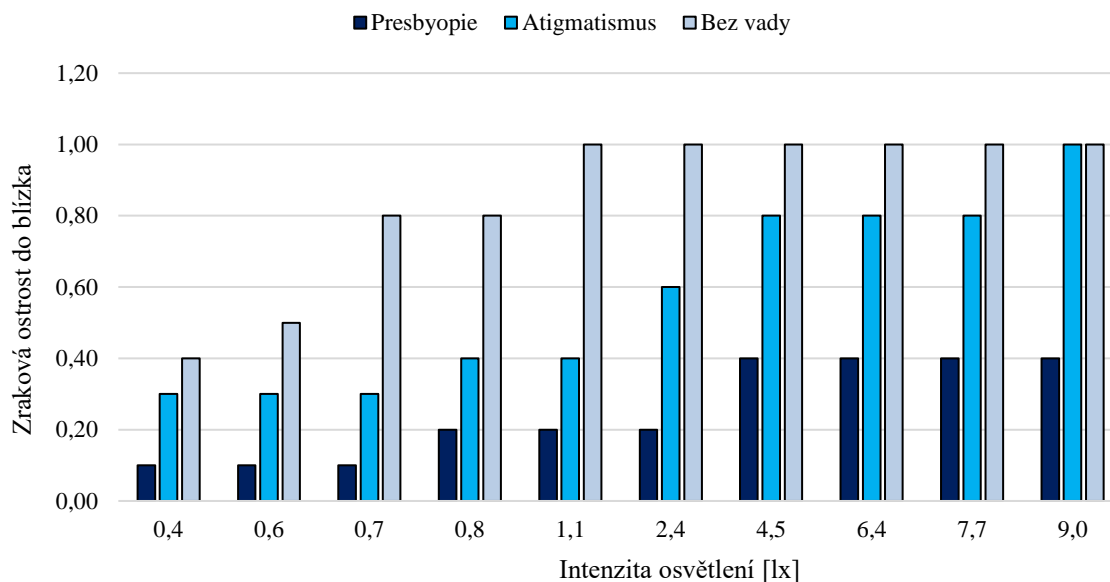
Druhá čtecí tabulka byla zpracována v červené barvě na bílém pozadí. Naměřené hodnoty této varianty jsou zobrazeny v grafu číslo 2.



**Graf 2** - Porovnání zrakové ostrosti vybraných osob na červené barvě písma

U této barevné kombinace se zraková ostrost vyšetřovaných lehce zhoršila. U presbyopů dosáhla nejvyšší zraková ostrost hodnoty 0,50 při osvětlení 9 luxů, což je o jeden čtený řádek méně než u barvy předchozí. Stejně to bylo i u astigmatiků, u něhož se zraková ostrost do blízka také zhoršila a hodnoty 1,00 dosáhl až v řadě paté, ve které osvětlení odpovídá hodnotě 2,4 luxů. Osoby bez refrakční vady dosáhly zrakové ostrosti 1,00 až v řadě sedmé, tedy při osvětlení 0,7 luxů.

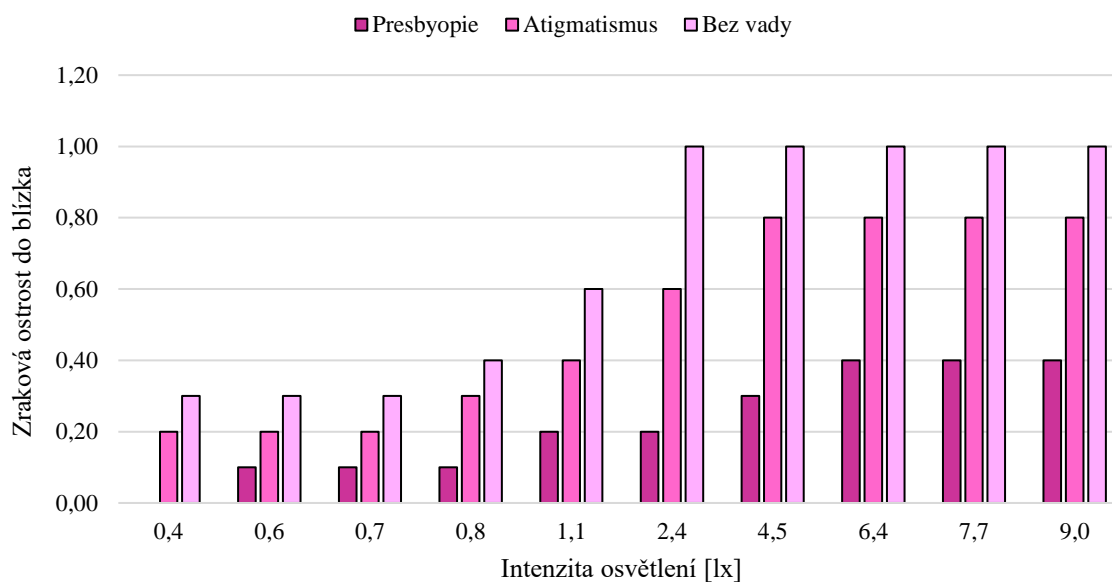
Další barevnou kombinací jsou modré znaky na bílém pozadí a jejich průměrné hodnoty u všech tří skupin jsou zaznamenány v grafu číslo 3.



**Graf 3** - Porovnání zrakové ostrosti vybraných osob na modré barvě písma

V grafu číslo 3 můžeme vidět, že se zraková ostrost u všech sledovaných osob se ještě více zhoršila oproti zrakové ostrosti u barvy předchozí. U osob bez refrakční vady bylo dosaženo zrakové ostrosti 1,00 až v šesté řadě při osvětlení 1,1 luxů, u astigmatiků v řadě druhé při osvětlení 7,7 luxů. Jako u předchozího grafu můžeme vidět, že presbyopové se na zrakovou ostrost 1,00 nedostali.

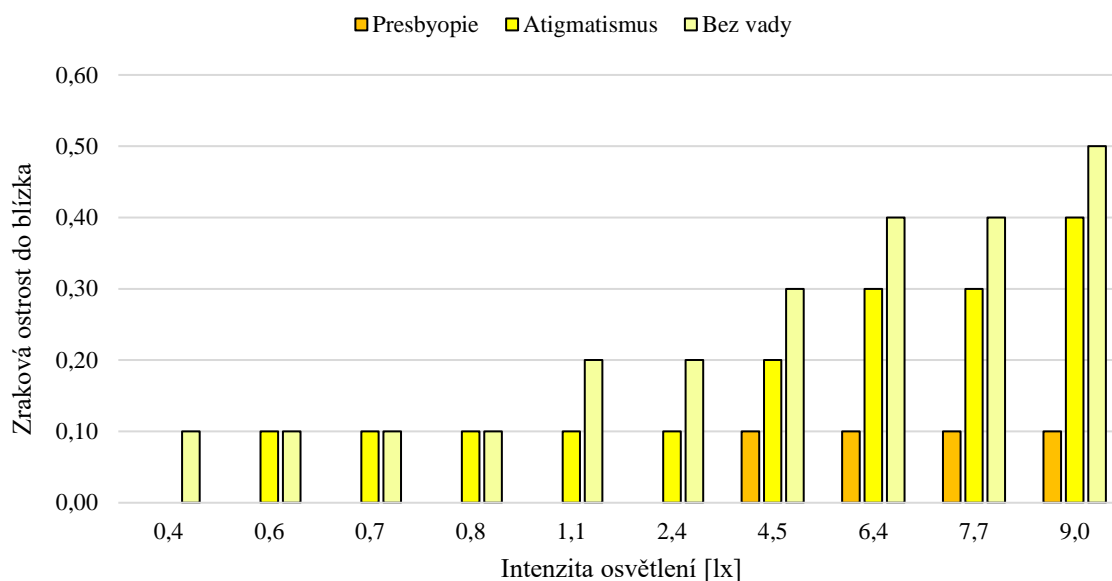
Čtvrtá čtecí tabulka byla zpracována ve variantě růžového písma na bílém pozadí. Průměrné hodnoty jsou zobrazeny v grafu číslo 4.



**Graf 4** - Porovnání zrakové ostrosti vybraných osob na růžové barvě písma

U této barevné kombinace začaly větší obtíže pro všechny skupiny vyšetřovaných. Osoby bez refrakční vady dosáhly zrakové ostrosti do blízka hodnoty 1,00 až v řadě páté, tedy na osvětlení 2,4 luxů. V tomto případě ani astigmatičtí nedosáhli zrakové ostrosti do blízka stejně jako presbyopové. Nejvyšší dosažená hodnota zrakové ostrosti u astigmatiků byla 0,80 a na této hodnotě zůstala od čtvrté řady až do řady první. Osvětlení se v těchto řadách pohybovalo od 4,5 do 9 luxů. Vyšetřovaní s presbyopií dosáhli nejvyšší zrakové ostrosti do blízka ve třetí řadě a to hodnoty 0,40. Na této hodnotě zůstali tedy od třetí řady až do řady první a osvětlení se pohybovalo od 6,4 do 9 luxů.

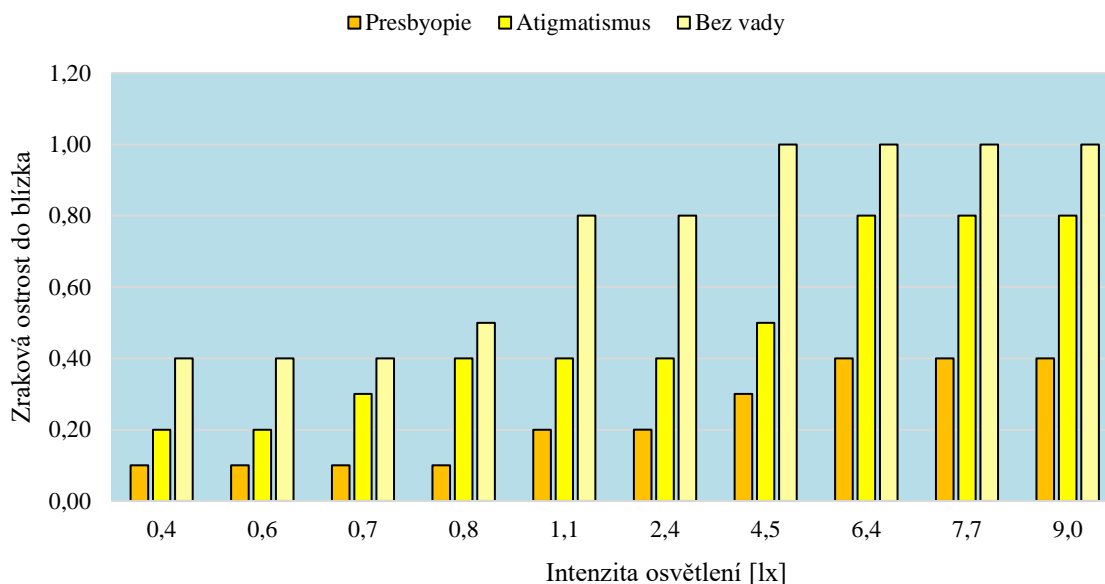
Na páté čtecí tabulce bylo použito písmo žluté na bílém pozadí.



**Graf 5** - Porovnání zrakové ostrosti vybraných osob na žluté barvě písma

Z grafu číslo 5 vyplývá, že tato kombinace barev byla pro vyšetřované nejhůře viditelná. Ani jedna skupina vyšetřovaných nedosáhla svou zrakovou ostroší na hodnotu 1,00. Nejvyšší hodnota, které dosáhli presbyopové bylo 0,10, ke které se dostali až ve čtvrté řadě, tedy při osvětlení 4,5 luxů. Astigmatici začali rozeznávat text dříve, a to již v deváté řadě při osvětlení 0,6 luxů, kdy přečetli řádek 0,10. Od čtvrté řady, kde je osvětlení 4,5 luxů, přečetli řádek 0,20 a postupně se jejich zraková ostrost zvyšovala. V první řadě při osvětlení 9 luxů dosáhli hodnoty 0,40. Vyšetřovaní, kteří netrpí žádnou refrakční vadou přečetli řádek 0,10 již v desáté řadě a nejvyšší hodnotou jejich zrakové ostrosti do blízka bylo 0,50.

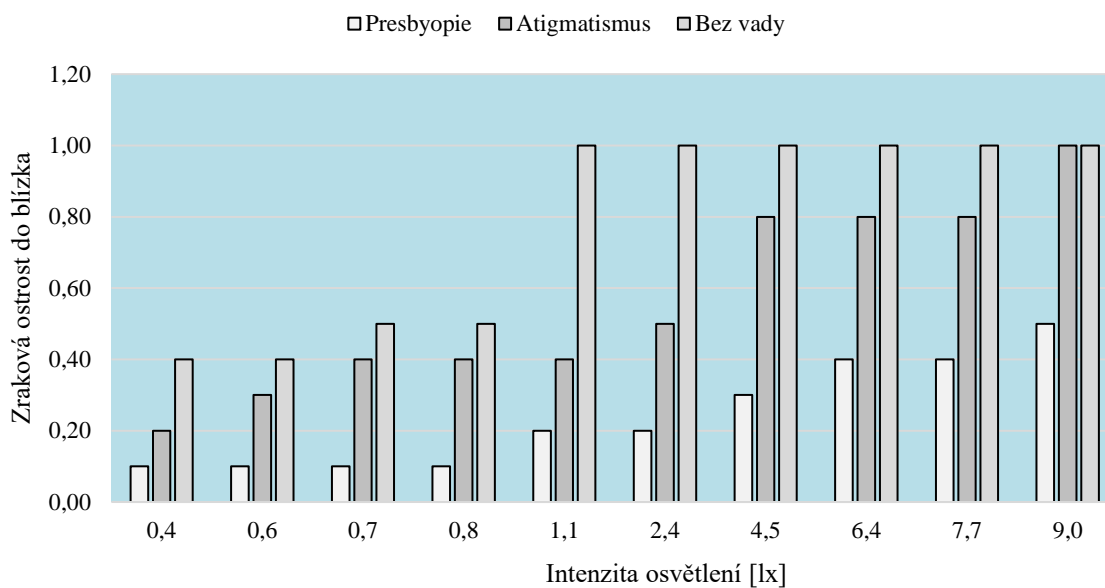
V šesté barevné variantě čtecích tabulek byla použita žlutá brava písma, ale také jiná barva podkladu – modrá.



**Graf 6** - Porovnání zrakové ostrosti vybraných osob na žluté barvě písma na modrém pozadí

Jak z grafu číslo 6 vyplývá, změnou podkladu se zvýšila zraková ostrost do blízka u všech skupin vyšetřovaných. V případě žlutého písma na bílém pozadí presbyopové nepřečetli první řádek, což odpovídá zrakové ostrosti do blízka hodnotě 0,10, až do osvětlení 4,5 luxů, při změně pozadí na barvu modrou, přečetli první řádek i při nejmenším osvětlení a dostali se na nejvyšší zrakovou ostrost 0,40. U astigmatiků se v tomto případě zvýšila zraková ostrost až na hodnotu 0,80. A vyšetřovaní bez refrakční vady dosáhli hodnoty zrakové ostrosti 1,00 již při osvětlení 4,5 luxů.

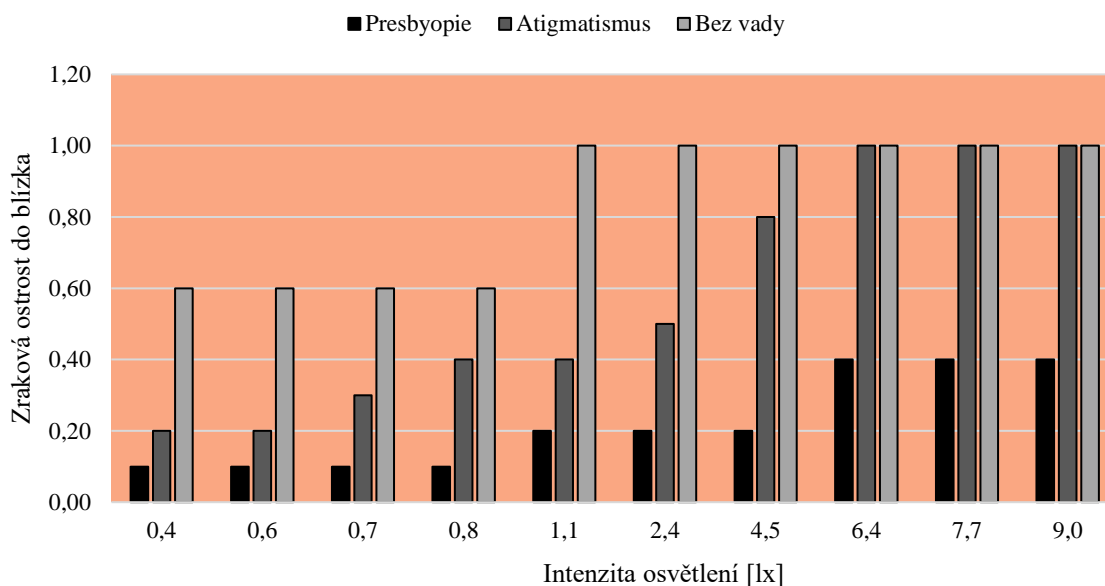
Další barevnou kombinací bylo bílé písmo na stejném pozadí jako v předchozím případě.



**Graf 7** - Porovnání zrakové ostrosti vybraných osob na bílé barvě písma na modrém pozadí

Jak je patrné z grafu číslo 7, i zde se zraková ostrost vyšetřovaných zvýšila. Presbyopové dosáhli nejvyšší zrakové ostrosti do blízka hodnoty 0,50 při nejvyšším osvětlení 9 luxů. Astigmatici se dostali na hodnotu 1,00, což se v minulé kombinaci nepodařilo. Vyšetřování bez refrakční vady dosáhli hodnoty zrakové ostrosti do blízka 1,00 o dvě řady dříve, tedy již při osvětlení 1,1 luxů.

Z grafu číslo 1 vyplývá, že černá barva písma je nejlépe čitelná pro všechny skupiny vyšetřovaných. Proto byla pro porovnání v posledním případě zvolena jiná barva pozadí – červená.



**Graf 8** - Porovnání zrakové ostrosti vybraných osob na černé barvě písma na červeném pozadí

Jak vypovídají hodnoty z grafu číslo 8, tak při této barevné kombinaci byla zraková ostrost do blízka nižší u všech skupin vyšetřovaných v porovnání s grafem č. 1. U presbyopů není změna tolik výrazná jako například u astigmatiků nebo osob bez refrakční vady. V tomto případě klesla zraková ostrost z 0,20 na 0,10. Astigmatici dosáhli v předchozím případě hodnoty zrakové ostrosti 0,80 i při nejnižším osvětlení, ale u této kombinace a při stejném osvětlení klesla jejich zraková ostrost na 0,20. Vyšetřovaní bez refrakční vady v předchozím případě dosáhli hodnoty 1,00 i při nejnižším osvětlení 0,4 luxů, ale u této barevné kombinace této hodnoty dosáhli až při osvětlení 1,1 luxů.



## 11 Diskuse

Měření experimentální části práce se zúčastnilo celkem 51 osob, kterým byla nejprve změřena refrakce do dálky i do blízka za předepsaného osvětlení 500 luxů. Probandi byli plně vykorigováni do blízka a poté jim byla měřena refrakce do blízka za zhoršeného osvětlení. Podle originální čtecí tabulky od společnosti Optika Čivice s.r.o. bylo vyrobeno dalších osm čtecích tabulek v různě barevných kombinacích. Barevné kombinace tvořily černé, červené, modré, růžové a žluté písmo na bílém pozadí, žluté a bílé písmo na modrém pozadí a černé písmo na červeném pozadí.

Všech 51 vyšetřovaných osob bylo poté rozděleno do dvou skupin. Skupina číslo jedna obsahovala osoby nad 40 let s hypermetropií, myopií, astigmatismem a keratokonem. Ve druhé skupině byly osoby pod 40 let s hypermetropií, myopií, astigmatismem a osoby bez refrakční vady.

Pro lepší přehlednost byly naměřené hodnoty u různých barev zprůměrovány a do grafu byly zaneseny tři skupiny vyšetřovaných – presbyop, astigmatik pod 40 let a osoba bez refrakční vady. A to zejména z toho důvodu, že u těchto skupin byl vidět největší rozdíl v naměřených datech.

Z výše uvedených grafů číslo 1 – 5 vyplývá, že nejlepší kombinací barev pro měření zrakové ostrosti do blízka je černé písmo na bílém podkladu bez ohledu na věk nebo refrakční vadu. Vyšetřované osoby bez refrakční vady dosáhly hodnoty zrakové ostrosti do blízka 1,00 i při nejnižším osvětlení 0,4 luxů. Astigmatici dosáhli hodnoty 1,00 při osvětlení 1,1 luxů. Presbyopové hodnoty 1,00 nedosáhli, ale i přesto je z těchto grafů zjevné, že u této barevné kombinace dosáhli nejvyšší možné zrakové ostrosti do blízka ze všech testů.

Nejhorší barevnou kombinací bylo žluté písmo na bílém podkladu. Při nejvyšším osvětlení 9 luxů dosáhli presbyopové pouze hodnoty 0,10, což odpovídá největšímu řádku na čtecí tabulce. Astigmatici dosáhli při tomto osvětlení nejvyšší hodnoty zrakové ostrosti do blízka 0,40 a osoby bez refrakční vady hodnoty 0,50.

Do výše uvedených grafů číslo 6 – 7 byly zaneseny hodnoty z měření, kde byla ve čtecích tabulkách změněna barva podkladu na modrou. I pouhá změna barvy podkladu může ovlivnit čtení do blízka, a to především proto, že se modrou barvou zvýší kontrast mezi použitými barvami.

V prvním případě byla použita kombinace žlutého písma na modrém podkladu. V porovnání s tabulkou, kde bylo žluté písmo na bílém podkladu, se zraková ostrost do blízka zvýšila u všech vyšetřovaných skupin. Osoba s presbyopií dosáhla nejvyšší zrakové ostrosti do blízka 0,10 a v druhém případě se zraková ostrost dostala na hodnotu 0,40. Astigmatik při kombinaci žlutých znaků na bílém pozadí dosáhl nejvyšší hodnoty zrakové ostrosti do blízka 0,40, ale při kombinaci žlutého písma na modrém podkladu, se zvýšila na hodnotu 0,80. Nejvyšší zraková ostrost u vyšetřovaného bez refrakční vady byla při kombinaci žlutého písma na bílém pozadí 0,50, ale při druhé kombinaci se zvýšila na hodnotu 1,00, a to již při osvětlení 4,4 luxů.

Ve druhém případě byla na modrém podkladu bílá barva písma. Tato kombinace barev byla pro vyšetřované více kontrastnější, a proto se zraková ostrost ještě zvýšila. U osob s presbyopií se zraková ostrost do blízka zvýšila z hodnoty 0,40 na 0,50 a astigmatici dosáhli hodnoty zrakové ostrosti 1,00. U vyšetřovaných se zraková ostrost výrazně nezlepšila, ale nejnižší hodnota jejich zrakové ostrosti se posunula z 0,40 na 0,50.

V grafu číslo 8 jsou zaneseny hodnoty z měření zrakové ostrosti do blízka na čtecí tabulce s černým písmem na červeném podkladu. Jak je patrné z grafu číslo 1 je pro výrobu čtecích tabulek nejlepší kombinací černé písmo na bílém podkladu, protože při této kombinaci bylo dosaženo nejlepší zrakové ostrosti u všech skupin vyšetřovaných. Ale pouhá změna podkladu může snížit zrakovou ostrost. U osob s presbyopií klesla zraková ostrost z 0,60 na 0,40, u astigmatiků zůstala nejvyšší hodnota zrakové ostrosti stejná, ale při nejnižším osvětlení 0,40 luxů klesla na 0,20. U vyšetřovaných bez refrakční vady nebyla změna tolik patrná.

Na základě výsledků analýzy dat experimentální části práce můžeme tedy říct, že nejen zhoršené osvětlení, věk nebo refrakční vada vyšetřovaných, ale také změna barvy písma nebo podkladu může znatelně ovlivnit zrakovou ostrost do blízka. Nesmíme ovšem opomenout další faktory, které toto měření mohly ovlivnit.

Například tisk čtecích tabulek do blízka může ovlivnit typ tiskárny a kvalita jejího tisku. Pokud bychom čtecí tabulky vytiskli na jehličkové tiskárně, bude výtisk v horší kvalitě než například na tiskárně laserové. Dalším faktorem může být také typ papíru. Originální čtecí tabulky od výrobců brýlových čoček nebo oftalmologických přístrojů jsou vytištěny na tvrdém lesklém kartonu, který může odrážet více světla a tím pádem být více nasvícený než u kancelářského papíru.

V neposlední řadě musíme brát také v úvahu adaptační mechanismy. U každého jedince se doba adaptace může lišit, a také je rozdíl v adaptaci ze světla na tmou a ze tmy na světlo.

Dalším vlivem může být také doba vyšetření a s tím související únava. Některým jedincům může dělat problémy vyšetření v odpoledních nebo pozdních večerních hodinách, proto je doporučená doba vyšetření zhruba do čtyř hodin odpoledne.

## 12 Závěr

Bakalářské práce se zabývala světelnými podmínkami a jejich vlivem na zrakové funkce. Především tedy vlivem zhoršeného osvětlení na vidění do blízka. Studie zabývající se tématem zhoršeného osvětlení uvádí, že snížené osvětlení může zhoršovat vidění do blízka, a to zejména u osob, u kterých se začíná projevovat presbyopie.

V teoretické části byla popsána anatomie oka, princip světla, fotometrické veličiny, měření a druhy osvětlení. Také byla přiblížena problematika s legislativou, která upravuje, jaké druhy a hodnoty osvětlení jsou vhodné pro vyšetřovací místnosti. V poslední části práce jsou popsány refrakční vady, jejich vyšetřovací metody a vliv osvětlení na zrakovou ostrost a vnímání barev.

Cílem studie bylo zjistit, jak zhoršené osvětlení ovlivňuje zrakovou ostrost do blízka u vybraných osob, a která barevná kombinace písma bude nejvhodnější pro měření refrakce do blízka. Byly stanoveny dvě hypotézy:

**Hypotéza H1:** Zhoršené osvětlení ovlivňuje vidění do blízka především u presbyopických pacientů.

**Hypotéza H2:** Čtecí tabulky vyrobené na bílém podkladu s černým textem, jsou lépe čitelné i za zhoršeného osvětlení.

Z výsledků experimentální části vyplývá, že nejhůře snížené osvětlení vnímají osoby s presbyopií. Tato skupina se v ani jedné kombinaci barev nedostala na hodnotu zrakové ostrosti do blízka 1,00, která odpovídá nejmenšímu čtenému řádku v optotypech do blízka. Tento problém je způsoben především fyziologií oka u starších osob. Buňky sítnice s přibývajícím věkem odumírají a čočka ztrácí svou pružnost. Může se také objevovat katarakta neboli šedý zákal, který způsobuje postupné zakalení čočky. Postižený jedinec s tímto onemocněním může začít vnímat barvy jinak kontrastní, protože jeho vidění může být jakoby zahaleno v mlze. Dalším faktorem je také to, že pokud je čočka zakalená dopadá na sítnici méně světla. To způsobuje, že jsou barvy méně výrazné a celkové vidění méně ostré. Byla tedy potvrzena hypotéza H1.

U skupiny vyšetřovaných s astigmatismem je největším problémem asymetrické zakřivení rohovky. Světlo u oka bez astigmatismu se láme ve všech rovinách i směrech stejně. Tato mírná odchylka v zakřivení může tedy způsobit, že paprsky světla dopadají na sítnici v různých směrech a nemohou se protnout v jednom ohnisku.

Následkem je poté neostré nebo rozmazané vidění. Tato vada se dá řešit brýlovou korekcí nebo kontaktními čočkami, ale jak je patrné z experimentální části i při kombinaci černého písma na bílém pozadí, měly osoby s astigmatismem problémy při sníženém osvětlení.

U vyšetřovaných bez refrakční vady dosáhla zraková ostrost do blízka hodnoty 1,00 na čtecí tabulce s kombinací černé barvy na bílém podkladu i při nejnižším sledovaném osvětlení. Ale samozřejmě je velmi důležité, jaká barevná kombinace je zvolena na optotypech do blízka. Například u žlutého písma na bílém podkladu zraková ostrost do blízka u vyšetřovaných bez refrakční vady nedosáhla hodnoty 1,00.

Nejlepší variantou pro zpracování optotypu do blízka je tmavá barva písma například černá, modrá, červená, ale jedním z rozhodujících faktorů je také podkladová barva. Je důležité dodržet kombinaci tmavých znaků na světlém podkladu. Ze zpracovaných dat v experimentální části vyplývá, že nejlepší barevnou kombinací pro zpracování optotypu do blízka je černá barva písma na bílém podkladu. Tímto byla potvrzena hypotéza H2.

Výsledkem této práce bylo potvrzení hypotéz H1 a H2. Na základě zpracování a vyhodnocení dat z experimentální části bakalářské práce byly obě tyto hypotézy potvrzeny.

## Seznam použité literatury

- [1] DYLEVSKÝ, Ivan. *Funkční anatomie*. Praha: Grada, 2009. ISBN 978-80-247-3240-4.
- [2] SYNEK, Svatopluk a Šárka SKORKOVSKÁ. *Fyziologie oka a vidění*. 2., dopl. a přeprac. vyd. Praha: Grada, 2014. ISBN 978-80-247-3992-2.
- [3] BENEŠ, Jiří, Jaroslava KYMPLOVÁ a František VÍTEK. *Základy fyziky pro lékařské a zdravotnické obory: pro studium i praxi*. Praha: Grada, 2015. ISBN 978-80-247-4712-5.
- [4] AUTRATA, Rudolf. *Nauka o zraku*. Brno: Institut pro další vzdělávání pracovníků ve zdravotnictví, 2002. ISBN 80-7013-362-7.
- [5] MERKUNOVÁ, Alena a Miroslav OREL. *Anatomie a fyziologie člověka pro humanitní obory*. Praha: Grada, 2008. Psyché (Grada). ISBN 978-80-247-1521-6.
- [6] ČIHÁK, Radomír. *Anatomie*. Třetí, upravené a doplněné vydání. Ilustroval Ivan HELEKAL, ilustroval Jan KACVINSKÝ, ilustroval Stanislav MACHÁČEK. Praha: Grada, 2016. ISBN 978-80-247-5636-3.
- [7] FIALA, Pavel, Jiří VALENTA a Lada EBERLOVÁ. *Stručná anatomie člověka*. Praha: Univerzita Karlova v Praze, nakladatelství Karolinum, 2015. ISBN 978-80-246-2693-2.
- [8] EFRON, Nathan, ed. *Contact lens practice*. Third edition. Edinburgh: Elsevier, 2018. ISBN 9780702066603.
- [9] ROZSÍVAL, Pavel. *Oční lékařství*. Praha: Galén, c2006. ISBN 80-7262-404-0.
- [10] KUCHYNKA, Pavel. *Oční lékařství*. 2., přepracované a doplněné vydání. Praha: Grada Publishing, 2016. ISBN 978-80-247-5079-8.
- [11] LAUINGER, Norbert. *The Human Eye: an intelligent optical sensor: The inverted human retina: a diffractive-optical correlator*. 2014. Toronto: IFSA, 2014.
- [12] GRIM, Miloš, Ondřej NAŇKA a Ivan HELEKAL. *Atlas anatomie člověka*. Praha: Grada, 2017. ISBN 978-80-247-4156-7.
- [13] HABEL, Jiří. *Světlo a osvětlování*. Praha: FCC Public, 2013. ISBN 978-80-86534-21-3.
- [14] DARULA, Stanislav. *Osvětlování světlovody*. Praha: Grada, 2009. Stavitel. ISBN 978-80-247-2459-1.
- [15] HABEL, Jiří. *Osvětlování*. Vyd. 2. Praha: Vydavatelství ČVUT, 1998. ISBN 80-01-01770-2.
- [16] KUŽEL, Jaroslav. Měření osvětlení. In: *Světlo* [online]. Praha: FCC Public, 2004, 03/2004, s. 1 [cit. 2022-03-10]. Dostupné z: <http://www.odbornecasopisy.cz/svetlo/casopis/tema/mereni-osvetleni--16601>

- [17] HABEL, Jiří. Základy světelné techniky. In: *Světlo* [online]. Praha: FCC Public, 2009, 01/2009, s. 4 [cit. 2022-03-10]. Dostupné z: <http://www.odbornecasopisy.cz/res/pdf/38554.pdf>
- [18] Osvětlení pracoviště ve vztahu k BOZP: Hygienické normy, doporučená intenzita, projektování. *Dokumentace BOZP.cz* [online]. Praha: Dokumentace BOZP.cz, 2018, 20. 11. 2018 [cit. 2022-01-05]. Dostupné z: <https://www.dokumentacebozp.cz/>
- [19] ČESKÁ AGENTURA PRO STANDARDIZACI. *Sponzorovaný přístup k ČSN* [online]. Praha, 2022 [cit. 2022-05-10]. Dostupné z: <https://sponzorpristup.agentura-cas.cz/>
- [20] TUNNACLIFFE, Alan H. *Introduction to visual optics*. 4th ed. London: Association of British Dispensing Opticians, 1993. ISBN 978-0-900-09928-1.
- [21] ANTON, Milan. *Refrakční vady a jejich vyšetřovací metody*. Vyd. 3., přeprac. Brno: Národní centrum ošetrovatelství a nelékařských zdravotnických oborů, 2004. ISBN 80-7013-402-x.
- [22] ATCHISON, David A. a George SMITH. *Optics of the human eye*. Edinburg: Butterworth - Heinemann, 2002. ISBN 0-7506-3775-7.
- [23] MESLIN, Dominique. *Practical refraction*. [PDF] Czech 07/14, Paris : Essilor Academy Europe, 2008. 979-10-90678-22-4.
- [24] BENJAMIN, William J. *Borish's Clinical Refraction*. 2nd Edition. St. Louis, Missouri: Elsevier, 2006. ISBN 978-0-7506-7524-6.
- [25] RUTRLE, Miloš. *Přístrojová optika: učební texty pro oční optiky a oční techniky, optometry a oftalmology*. Brno: Institut pro další vzdělávání pracovníků ve zdravotnictví, 2000. ISBN 80-7013-301-5.
- [26] VESELÝ, Petr a Pavel BENEŠ. *Vyšetřovací metody v optometrii: a interpretace jejich výsledků v praxi*. Praha: Grada Publishing, 2019. ISBN 978-80-271-2071-0.
- [27] PILÁTOVÁ, Kateřina. *Vyšetření refrakce: subjektivní a objektivní postupy*. Brno, 2016. Bakalářská práce. Masarykova univerzita, Lékařská fakulta, Katedra optometrie a ortoptiky. Vedoucí práce Mgr. David Severa.
- [28] SEVERA, David, Petr VESELÝ a Pavel BENEŠ. Monokulární korekce refrakčních vad pomocí zamlžovací metody. *Základy metod korekce refrakčních vad* [online]. Brno: Masarykova univerzita, 2016, 2016 [cit. 2022-01-05]. Dostupné z: [https://is.muni.cz/do/rect/el/estud/lf/js16/refrakcni\\_vady/web/index.html](https://is.muni.cz/do/rect/el/estud/lf/js16/refrakcni_vady/web/index.html)
- [29] SEVERA, David, Petr VESELÝ a Pavel BENEŠ. Monokulární korekce refrakčních vad pomocí Jacksonových zkřížených cylindrů. *Základy metod korekce refrakčních vad* [online]. Brno: Masarykova univerzita, 2016, 2016 [cit. 2022-01-05]. Dostupné z: [https://is.muni.cz/do/rect/el/estud/lf/js16/refrakcni\\_vady/web/index.html](https://is.muni.cz/do/rect/el/estud/lf/js16/refrakcni_vady/web/index.html)

- [30] SEVERA, David, Petr VESELÝ a Pavel BENEŠ. Stanovení a ověření přídavku na blízko u presbyopie. *Základy metod korekce refrakčních vad* [online]. Brno: Masarykova univerzita, 2016, 2016 [cit. 2022-01-05]. Dostupné z: [https://is.muni.cz/do/rect/el/estud/lf/js16/refrakcni\\_vady/web/index.html](https://is.muni.cz/do/rect/el/estud/lf/js16/refrakcni_vady/web/index.html)
- [31] SELIG, Hecht. *The relation between visual acuity and illumination* [online]. In: . [cit. 2022-05-10]. Dostupné z: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC2140971/pdf/255.pdf>
- [32] *Plán budovy - laboratoře v přízemí* [online]. In: Kladno: ČVUT, FBMI [cit. 2022-05-10]. Dostupné z: [https://www.fbmi.cvut.cz/sites/default/files/2021-09/KL\\_A-0XX%20KL\\_B-0XX%20KL\\_C-X.pdf](https://www.fbmi.cvut.cz/sites/default/files/2021-09/KL_A-0XX%20KL_B-0XX%20KL_C-X.pdf)
- [33] *Čtecí tabulky*. Pardubice: Optika Čivice.
- [34] EXTECH. *Návod k použití - model LT40*.



## Seznam symbolů a zkratk

### Seznam symbolů

Symbol	Jednotka	Význam
$\Phi$	lm	Světelný tok
$\Omega$	sr	Prostorový úhel
I	cd	Svítivost
E	lx	Intenzita osvětlení
L	$\text{cd} \cdot \text{m}^{-2}$	Jas světelných paprsků
M	$\text{lm} \cdot \text{m}^{-2}$	Světlení
D	D	Optická mohutnost

### Seznam zkratk

Zkratka	Význam
A	Adice
JZC	Jacksonův zkřížený cylindr
LCD	Liquid crystal display (displej z kapalných krystalů)
Sb.	Sbírka zákonů
ČSN	Chráněné označení českých technických norem
ČSN EN	Česká verze evropské normy

## Seznam obrázků

Obrázek 2.1 - Schéma lidského oka [1].....	8
Obrázek 2.2 - Okohybné svaly [7] .....	10
Obrázek 3.1 - Stavba sítnice [12] .....	14
Obrázek 5.1 - Spektrum elektromagnetických záření s orientačním členěním podle frekvencí a vlnových délek [13] .....	19
Obrázek 5.2 - Struktura třídění světelných zdrojů [13] .....	21
Obrázek 8.1 – Autorefraktometer [26] .....	29
Obrázek 8.2 - Astigmatická ruzice [28].....	32
Obrázek 8.3 - Skupina tecek pro vyšetření (A), Jacksonův zkřížený cylindr (B) [29] .....	33
Obrázek 8.4 - Mřížkový test [30] .....	37
Obrázek 10.1- Rozložení sálu C1 (písmenem x vyznačena místa pro měření) [32] .....	41
Obrázek 10.2 - Čtecí tabulka od firmy Optika Čivice s.r.o. [33] .....	42
Obrázek 10.3 - Luxmetr LT40 Extech [34] .....	44

## Seznam tabulek

Tabulka 5.1 – Druhy luxmetru a jejich přípustné chyby [16] .....	23
Tabulka 6.1 - Osvětlení oční vyšetřovny [19] .....	24
Tabulka 8.1 - Hodnoty sférické čočky podle naturálního visu [27] .....	31
Tabulka 8.2 - Hodnoty cylindrického deficitu podle naturálního visu se sférickou korekcí [27] .....	32
Tabulka 8.3 - Přibližná presbyopická adice pro čtecí vzdálenost 40 cm [27] .....	36
Tabulka 10.1 - Použité kombinace barev textů v tabulkách pro čtení.....	43
Tabulka 10.2 - Postupné zvyšování osvětlení .....	43
Tabulka 10.3 - Počet pacientů zařazených do skupiny 1 a 2.....	45

## Seznam grafů

Graf 1 - Porovnání zrakové ostrosti vybraných osob na černé barvě písma .....	46
Graf 2 - Porovnání zrakové ostrosti vybraných osob na červené barvě písma.....	47
Graf 3 - Porovnání zrakové ostrosti vybraných osob na modré barvě písma.....	48
Graf 4 - Porovnání zrakové ostrosti vybraných osob na růžové barvě písma .....	49
Graf 5 - Porovnání zrakové ostrosti vybraných osob na žluté barvě písma .....	50
Graf 6 - Porovnání zrakové ostrosti vybraných osob na žluté barvě písma na modrém pozadí .....	51
Graf 7 - Porovnání zrakové ostrosti vybraných osob na bílé barvě písma na modrém pozadí	52
Graf 8 - Porovnání zrakové ostrosti vybraných osob na černé barvě písma na červeném pozadí .....	53

## Příloha č. 1: Naměřené hodnoty refrakce (skupina 1)

<b>Hypermetropie</b>	<b>Refrakce [D]</b>				
	Oko	sph	cyl	ax	Adice
Proband 1	OP	+3,50	x	x	+1,50
	OL	+3,75	x	x	+1,50
Proband 2	OP	+6,50	x	x	+2,00
	OL	+6,50	x	x	+2,00
Proband 3	OP	+0,50	x	x	+2,00
	OL	+0,75	x	x	+2,00
Proband 4	OP	+2,75	x	x	+1,00
	OL	+2,50	x	x	+1,00
Proband 5	OP	+7,50	x	x	+1,00
	OL	+7,25	x	x	+1,00
<b>Myopie</b>	<b>Refrakce [D]</b>				
	Oko	sph	cyl	ax	Adice
Proband 6	OP	=1,50	x	x	+1,00
	OL	=1,50	x	x	+1,00
Proband 7	OP	=1,00	x	x	+1,25
	OL	=0,75	x	x	+1,25
Proband 8	OP	=6,50	x	x	+2,00
	OL	=6,25	x	x	+2,00
Proband 9	OP	=3,25	x	x	+1,75
	OL	=3,50	x	x	+1,75
Proband 10	OP	=2,75	x	x	+2,00
	OL	=3,00	x	x	+2,00
Proband 11	OP	=1,75	x	x	+1,00
	OL	=2,00	x	x	+1,00
<b>Astigmatismus</b>	<b>Refrakce [D]</b>				
	Oko	sph	cyl	ax	Adice
Proband 12	OP	=1,00	=0,25	125°	OP + 2,75
	OL	=1,00	=5,50	80°	OL + 2,75
Proband 13	OP	+0,50	=0,50	85°	OP + 1,50
	OL	+1,00	=0,75	93°	OL + 1,50
Proband 14	OP	PLAN	=0,25	90°	OP + 1,50
	OL	PLAN	=0,50	90°	OL + 1,50
Proband 15	OP	+1,25	=0,25	171°	OP + 2,00
	OL	+1,00	=0,25	0°	OL + 2,00
Proband 16	OP	=0,50	=0,50	15°	OP + 0,50
	OL	=0,25	=0,75	170°	OL + 0,50
Proband 17	OP	=3,25	=1,25	10°	OP + 1,00
	OL	=4,75	=1,00	175°	OL + 1,00

Proband 18	OP	=1,25	=0,75	145°	OP +0,75
	OL	=1,25	=1,00	110°	OL +0,75
Proband 19	OP	+2,25	=1,25	35°	OP + 1,25
	OL	+2,00	=1,25	85°	OL + 1,25
Proband 20	OP	+1,50	=0,25	180°	OP + 2,00
	OL	+1,75	=0,25	180°	OL +2,00
<b><u>Keratokonus</u></b>	<b>Refrakce [D]</b>				
	Oko	sph	cyl	ax	Adice
Proband 21	OP	=7,50	x	x	OP + 2,00
	OL	=7,25	x	x	OL + 2,00

## Příloha č. 2: Naměřené hodnoty refrakce (skupina 2)

<b><u>Hypermetropie</u></b>	<b>Refrakce [D]</b>			
	Oko	sph	cyl	ax
Proband 22	OP	+0,50	x	x
	OL	+1,00	x	x
Proband 23	OP	+2,00	x	x
	OL	+1,50	x	x
Proband 24	OP	+0,25	x	x
	OL	+0,25	x	x
Proband 25	OP	+4,25	x	x
	OL	+3,50	x	x
Proband 26	OP	+1,25	x	x
	OL	+1,50	x	x
Proband 27	OP	+0,75	x	x
	OL	+1,00	x	x
<b><u>Myopie</u></b>	<b>Refrakce [D]</b>			
	Oko	sph	cyl	ax
Proband 28	OP	=0,75	x	x
	OL	=1,00	x	x
Proband 29	OP	=4,00	x	x
	OL	=3,50	x	x
Proband 30	OP	=2,00	x	x
	OL	=1,00	x	x
Proband 31	OP	=0,50	x	x
	OL	=0,75	x	x
Proband 32	OP	=2,75	x	x
	OL	=3,00	x	x
Proband 33	OP	=0,25	x	x
	OL	=0,75	x	x
Proband 34	OP	=0,75	x	x
	OL	=0,75	x	x
Proband 35	OP	=4,25	x	x
	OL	=4,50	x	x
<b><u>Astigmatismus</u></b>	<b>Refrakce [D]</b>			
	Oko	sph	cyl	ax
Proband 36	OP	PLAN	=2,75	180°
	OL	=0,25	=2,25	180°
Proband 37	OP	=0,50	=0,50	10°
	OL	=0,75	=1,50	150°
Proband 38	OP	=3,25	=1,25	10°

	OL	=4,75	=1,00	175°
Proband 39	OP	+2,75	=0,25	171°
	OL	+3,25	=0,25	0°
Proband 40	OP	=1,00	=0,25	125°
	OL	=1,00	=0,50	93°
Proband 41	OP	PLAN	=2,50	15°
	OL	PLAN	=2,50	155°
Proband 42	OP	=0,25	=0,50	170°
	OL	=0,75	=0,50	10°
Proband 43	OP	+1,50	=1,75	175°
	OL	+0,50	=1,75	175°
Proband 44	OP	=3,00	=0,75	160°
	OL	=2,25	=1,00	130°
Proband 45	OP	+0,50	=0,25	90°
	OL	+1,75	=0,25	90°
Proband 46	OP	+4,50	=2,00	85°
	OL	+3,75	=0,50	145°
<b><u>Bez refrakční vady</u></b>	<b>Refrakce [D]</b>			
	Oko	sph	cyl	ax
Proband 47	OP	x	x	x
	OL	x	x	x
Proband 48	OP	x	x	x
	OL	x	x	x
Proband 49	OP	x	x	x
	OL	x	x	x
Proband 50	OP	x	x	x
	OL	x	x	x
Proband 52	OP	x	x	x
	OL	x	x	x



## Příloha č. 3: Ukázka zrakové ostrosti do blízka (skupina 1)

Proband: 1 \_\_\_\_\_

Hypermetropie

Řada	Barva							
	Černá	Červená	Modrá	Růžová	Žlutá	Modrá + Žlutá	Modrá + Bílá	Červená + Černá
	Řádek							
1	0,80	0,60	0,50	0,40	0,20	0,40	0,50	0,40
2	0,80	0,50	0,40	0,40	0,10	0,30	0,40	0,40
3	0,80	0,50	0,40	0,40	0,10	0,20	0,30	0,30
4	0,40	0,40	0,40	0,30	0,10	0,20	0,30	0,20
5	0,40	0,40	0,20	0,20	0,00	0,20	0,20	0,20
6	0,40	0,40	0,20	0,20	0,00	0,10	0,20	0,20
7	0,30	0,30	0,20	0,10	0,00	0,10	0,20	0,10
8	0,20	0,20	0,20	0,10	0,00	0,10	0,20	0,10
9	0,20	0,20	0,20	0,10	0,00	0,10	0,20	0,10
10	0,20	0,20	0,20	0,10	0,00	0,10	0,20	0,10

Proband: 10 \_\_\_\_\_

Myopie

Řada	Barva							
	Černá	Červená	Modrá	Růžová	Žlutá	Modrá + Žlutá	Modrá + Bílá	Červená + Černá
	Řádek							
1	0,60	0,50	0,40	0,40	0,10	0,40	0,50	0,40
2	0,50	0,50	0,40	0,40	0,10	0,30	0,40	0,40
3	0,50	0,40	0,40	0,40	0,10	0,20	0,40	0,30
4	0,50	0,40	0,40	0,40	0,10	0,20	0,30	0,30
5	0,40	0,40	0,20	0,20	0,00	0,20	0,20	0,20
6	0,40	0,20	0,20	0,20	0,00	0,10	0,20	0,20
7	0,30	0,20	0,20	0,20	0,00	0,10	0,20	0,20
8	0,20	0,20	0,10	0,10	0,00	0,10	0,20	0,10
9	0,20	0,20	0,10	0,10	0,00	0,10	0,20	0,10
10	0,20	0,10	0,10	0,10	0,00	0,10	0,20	0,10

Proband: 17 \_\_\_\_\_

Astigmatismus

Řada	Barva							
	Černá	Červená	Modrá	Růžová	Žlutá	Modrá + Žlutá	Modrá + Bílá	Červená + Černá
1	0,60	0,60	0,50	0,40	0,10	0,40	0,50	0,40
2	0,60	0,50	0,40	0,40	0,10	0,40	0,30	0,40
3	0,60	0,40	0,40	0,40	0,10	0,30	0,30	0,30
4	0,50	0,40	0,40	0,40	0,10	0,20	0,30	0,20
5	0,40	0,40	0,20	0,20	0,00	0,20	0,20	0,20
6	0,40	0,30	0,20	0,20	0,00	0,10	0,20	0,20
7	0,30	0,30	0,20	0,10	0,00	0,10	0,20	0,10
8	0,20	0,20	0,20	0,10	0,00	0,10	0,20	0,10
9	0,20	0,20	0,20	0,10	0,00	0,10	0,20	0,10
10	0,20	0,20	0,20	0,10	0,00	0,10	0,20	0,10

## Příloha č. 4: Ukázka zrakové ostrosti do blízka (skupina 2)

Proband: 25

Hypermetropie

Řada	Barva							
	Černá	Červená	Modrá	Růžová	Žlutá	Modrá + Žlutá	Modrá + Bílá	Červená + Černá
	Řádek							
1	1,00	1,00	1,00	0,80	0,40	0,80	1,00	1,00
2	1,00	1,00	0,80	0,80	0,30	0,60	0,80	0,80
3	1,00	1,00	0,80	0,80	0,20	0,60	0,80	0,80
4	1,00	0,80	0,80	0,60	0,20	0,60	0,60	0,60
5	1,00	0,80	0,80	0,60	0,20	0,60	0,60	0,60
6	1,00	0,80	0,80	0,60	0,10	0,50	0,50	0,60
7	0,80	0,60	0,50	0,50	0,10	0,50	0,50	0,50
8	0,80	0,60	0,50	0,40	0,10	0,40	0,40	0,40
9	0,60	0,40	0,40	0,30	0,10	0,40	0,40	0,40
10	0,20	0,40	0,30	0,30	0,10	0,30	0,30	0,30

Proband: 31

Myopie

Řada	Barva							
	Černá	Červená	Modrá	Růžová	Žlutá	Modrá + Žlutá	Modrá + Bílá	Červená + Černá
	Řádek							
1	1,00	1,00	1,00	0,80	0,40	0,80	1,00	1,00
2	1,00	1,00	1,00	0,80	0,30	0,80	1,00	1,00
3	1,00	1,00	1,00	0,80	0,30	0,80	0,80	1,00
4	1,00	1,00	1,00	0,60	0,20	0,60	0,80	1,00
5	1,00	1,00	0,80	0,50	0,20	0,60	0,60	0,60
6	1,00	0,80	0,80	0,50	0,10	0,50	0,60	0,60
7	1,00	0,80	0,60	0,50	0,10	0,40	0,50	0,60
8	1,00	0,60	0,40	0,30	0,10	0,40	0,40	0,50
9	1,00	0,60	0,40	0,30	0,10	0,40	0,40	0,50
10	1,00	0,60	0,30	0,30	0,00	0,30	0,40	0,50

Proband: 41

Astigmatismus

Řada	Barva							
	Černá	Červená	Modrá	Růžová	Žlutá	Modrá + Žlutá	Modrá + Bílá	Červená + Černá
	Řádek							
1	1,00	1,00	1,00	0,80	0,00	0,80	1,00	1,00
2	1,00	1,00	0,80	0,80	0,40	0,80	0,80	1,00
3	1,00	1,00	0,80	0,80	0,30	0,80	0,80	1,00
4	1,00	1,00	0,80	0,80	0,30	0,50	0,80	0,80
5	1,00	1,00	0,60	0,60	0,20	0,40	0,50	0,50
6	1,00	0,60	0,40	0,40	0,10	0,40	0,40	0,40
7	0,80	0,60	0,40	0,30	0,10	0,40	0,40	0,40
8	0,80	0,60	0,30	0,20	0,10	0,30	0,40	0,30
9	0,80	0,50	0,30	0,20	0,10	0,20	0,30	0,20
10	0,80	0,50	0,30	0,20	0,00	0,20	0,20	0,20

Proband: 47

Bez refrakční vady

Řada	Barva							
	Černá	Červená	Modrá	Růžová	Žlutá	Modrá + Žlutá	Modrá + Bílá	Červená + Černá
	Řádek							
1	1,00	1,00	1,00	1,00	0,50	1,00	1,00	1,00
2	1,00	1,00	1,00	1,00	0,40	1,00	1,00	1,00
3	1,00	1,00	1,00	1,00	0,40	1,00	1,00	1,00
4	1,00	1,00	1,00	1,00	0,30	1,00	1,00	1,00
5	1,00	1,00	1,00	1,00	0,20	0,80	1,00	1,00
6	1,00	1,00	1,00	0,60	0,20	0,80	1,00	1,00
7	1,00	1,00	0,80	0,40	0,10	0,50	0,50	0,80
8	1,00	0,80	0,80	0,30	0,10	0,40	0,50	0,60
9	1,00	0,60	0,50	0,30	0,10	0,40	0,40	0,60
10	1,00	0,60	0,40	0,30	0,10	0,40	0,40	0,60