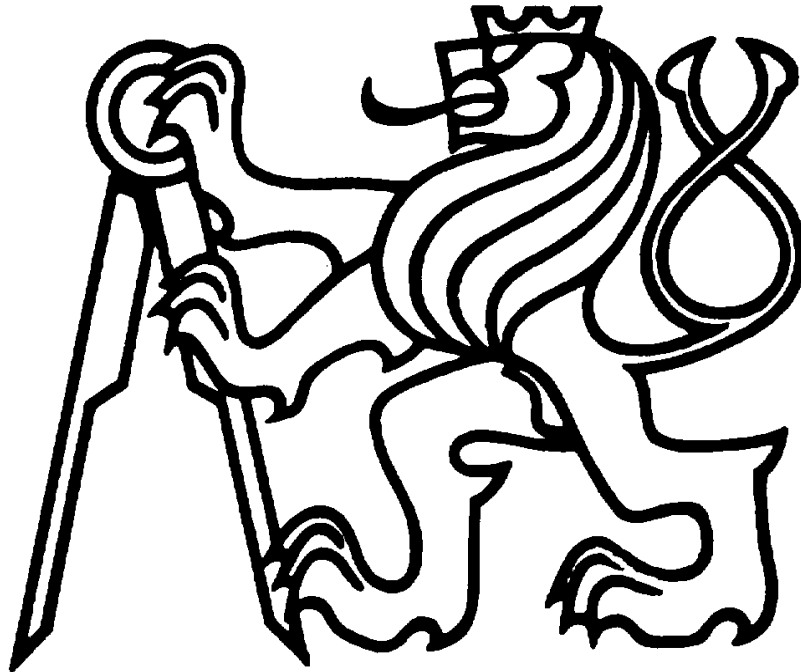


ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

Fakulta elektrotechnická – Inteligentní budovy



Diplomová práce

Osvětlení pracovišť při rozdílných požadavcích uživatelů

Vypracoval: Bc. Jakub Vecko

Vedoucí práce: Ing. Jan Zálešák



ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Student:	Bc. Jakub Vecko
Studijní program:	Inteligentní budovy
Název tématu česky:	Osvětlení pracovišť při rozdílných požadavcích uživatelů
Název tématu anglicky:	Workplace Lighting at Different User Requirements

Pokyny pro vypracování:

Na základě svých rešerší v rámci projektů 1 a 2 popište ve své diplomové práci problematiku lidského vidění, vlivu denního a umělého osvětlení na lidský organismus a jeho biorytmy. Zpracujte teorii osvětlování interiérů a porovnejte ji se současnými trendy v osvětlování. Dále popište, jakými způsoby jsou dnes zohledňovány rozdílné nároky uživatelů na světelné prostředí a na zajištění světelné pohody. Uveďte, jak se zadaná problematika řeší na úrovni odborné veřejnosti včetně zahraničí a jakých výsledků a doporučení oproti užívané praxi v osvětlování bylo v tomto směru již dosaženo. Zpracujte teoretický základ a uveďte podklady pro svůj výzkum, kde zohledníte jednotlivé kvalitativní a kvantitativní ukazatele světelného prostředí pro blízké i vzdálené pohledy pozorovatele v interiérech. Navrhněte experimentální pracoviště, která posléze realizujete a proveďte jejich funkční zkoušky. Na pracovištích realizujte experimenty s vhodně zvolenými skupinami pozorovatelů. Po vykonání všech praktických experimentů zhodnoťte jejich výsledky. Na základě získaných znalostí a výsledků navrhněte vhodný postup návrhu osvětlení, které respektují rozdílné potřeby uživatelů daného interiéru.

Seznam odborné literatury:

- [1] ČSN EN ISO 24502:2010, Ergonomie – Funkční navrhování – Specifikace kontrastu jasu závislého na věku pro barevné světlo
- [2] ČSN IEC 50(845) Mezinárodní elektrotechnický slovník. Kapitola 845: Osvětlení
- [3] DiLaura, D., Houser, K., Mistrick, R., Steffy, G.: Lighting Handbook 10th Edition, ISBN #978-0-87995-241-9.

Vedoucí diplomové práce: Ing. Jan Zálešák (K13115)

Datum zadání diplomové práce: 15. ledna 2015

Platnost zadání do¹: 31. srpna 2016

Doc./Ing. Jan Holub, Ph.D.
vedoucí katedry



V Praze dne 15. 1. 2015

Prof. Ing. Pavel Ripka, CSc.
děkan

¹ Platnost zadání je omezena na dobu tří následujících semestrů.

Anotace

Osvětlování pracovišť při rozdílných požadavcích uživatelů

Práce je rozdělena na dvě části. První část je zaměřena zejména na teoretickou oblast, která je věnována úvodu do fyziologie zraku a souvislostí s tímto spojených. Dále jsou popsány vlivy světla na lidské biorytmy. Důležitou součástí je popsání návrhu osvětlení jednotlivých pracovišť pro pozorovatele bez ohledu na rozdělení do věkových skupin.

Druhou praktickou částí je návrh pracovišť pro měření zrakových úkolů pro dané skupiny pozorovatelů a výběr zrakových testů pro jednotlivá pracoviště. Pro sestavení pracovišť proběhlo měření na dálku a na blízkou vzdálenost a byly vyhodnoceny výsledky z měření pro jednotlivé věkové skupiny pozorovatelů.

Klíčová slova

Světlo, zrak, osvětlení, zrakové testy, intenzita osvětlenosti, pracoviště, věkové skupiny.

Workplace lighting at different user requirements

This work is divided in two parts. First part is mainly focused in theoretical area dedicated to sight physiology and related connections of it. There is described how light affects a human biorythm as well. Important part is description of ideas of individual workplaces for user regardless their age group.

Another practical part is to design a workplace to measure sight tasks for a specific groups of users and to choose sight test for individual workplaces. After the workplace was assembled and short and long distance measuring was analysed for each of age groups of users.

Keywords

Light, vision, lighting, visual tests, the intensity of illumination, workplace age groups.

Čestné prohlášení autora práce

Prohlašuji, že jsem předloženou práci vypracoval samostatně, a že jsem uvedl veškeré použité informační zdroje v souladu s metodickým pokynem o dodržování etických principů při přípravě vysokoškolských závěrečných prací.

V Praze dne

.....
Podpis autora práce

Bc. Jakub Vecko

Poděkování

Na tomto místě bych velice rád poděkoval vedoucímu mé diplomové práce Ing. Janu Zálešákovi za jeho cenné rady a pomoc při zpracování.

Dále bych chtěl poděkovat společnosti ZKL Klášterec nad Ohří, akciová společnost za poskytnutí prostor pro měření a využití jejích zaměstnanců jako většiny pozorovatelů při praktickém měření.

Obsah

Úvod	9
1. Fyziologie zraku	10
1.1 Zrakové vnímání.....	10
1.2 Zrak a vidění.....	10
1.3 Zrakové ústrojí.....	10
1.4 Popis orgánu zraku.....	12
1.4.1 Rohovka.....	12
1.4.2 Duhovka.....	13
1.4.3 Sklivec.....	14
1.4.4 Bělima	14
1.4.5 Cévnatka.....	14
1.4.6 Řasnaté tělísko	15
1.4.7 Sítnice	15
1.5 Světločivné buňky.....	17
1.6 Onemocnění a vady lidského oka.....	19
2. Vlastnosti oka	20
2.1 Akomodace oka.....	20
2.2 Rozlišovací schopnost oka	21
2.3 Adaptační mechanizmy	22
2.4 Další vlastnosti oka.....	23
2.4.1 Reakce na pohled do blízka	23
2.4.2 Fotoreakce	23
2.4.3 Zorné pole.....	23
3. Elektromagnetické spektrum	23
3.2 Spektrální citlivost lidského oka.....	25
3.3 Světelný tok	26
3.4 Poměrná spektrální citlivost zraku	27
3.5 Věkové skupiny pozorovatelů	29
4. Vnímání světla.....	30
4.1 Vliv světla na biologické rytmy.....	30
4.2 Poruchy biologických rytmů.....	32
4.3 Denní osvětlení.....	33
4.3.1 Měření a hodnocení denního osvětlení	33
4.4 Umělé osvětlení.....	34
4.4.1 Měření a hodnocení umělého osvětlení.....	34
4.5 Zásady dobrého vidění	35
4.6 Zásady umělého osvětlení.....	35
4.7 Návrh osvětlovací soustavy vnitřních prostor	36
4.7.1 Volba světelného zdroje	36
4.7.2 Volba svítidla.....	37
5. Osvětlování vnitřních prostorů	37
5.1 Administrativní budovy	38
5.1.1 Požadavky na osvětlení	38
5.1.2 Osvětlovací soustavy	38
5.2 Průmyslové budovy	39
5.2.1 Požadavky na osvětlení	39
5.2.2 Osvětlovací soustavy	39
5.3 Školní a vzdělávací zařízení	39
5.3.1 Požadavky na osvětlení	40
5.3.2 Osvětlovací soustavy	40

5.4	Zdravotnická zařízení	40
5.4.1	Požadavky na osvětlení	40
5.4.2	Osvětlovací soustavy	41
5.5	Kvalita osvětlovací soustavy	41
5.5.1	Zjevné projevy	41
5.5.2	Skryté projevy	42
5.5.3	Parametry technických zařízení	42
5.6	Základy kvality osvětlovacích soustav	42
5.6.1	Světelnětechnické hledisko	42
5.6.2	Architektonické hledisko	42
5.6.3	Provoznětechnické hledisko	43
5.6.4	Hledisko sekundárních vlivů	43
5.7	Zvýšení kvality osvětlovacích soustav	43
5.8	Světlo a zdraví	43
5.8.1	Využití světla	44
5.8.2	Fototerapie	44
5.8.3	Fotonová terapie	45
6.	Zdroje umělého osvětlení	46
6.1	Teplotní světelné zdroje	46
6.2	Výbojkové světelné zdroje	46
6.3	Elektroluminiscenční světelné zdroje	47
7.	Spektra světelných zdrojů	47
7.1	Rozdílné potřeby uživatelů	51
7.2	Požadavky na osvětlení	54
7.3	Trichromatické soustavy	56
7.4	Teplota chromatičnosti	58
8.	Zrakové testy	60
8.1	Snellenova tabule	62
8.1.1	Snellenův zlomek	63
8.2	Pseudoisochromatické Ishiharovy tabulky	64
8.3	Jaegerovy čtecí testy	65
9.	Příprava pracoviště	66
9.1	Použité osvětlení	71
9.2	Ovládání a řízení osvětlovacích soustav	73
10.	Výsledky měření na dálku	74
10.1	Věková skupina 10 – 19 let	75
10.2	Věková skupina 20 – 29 let	77
10.3	Věková skupina 30 – 39 let	79
10.4	Věková skupina 40 – 49 let	81
10.5	Věková skupina 50 – 59 let	83
10.6	Věková skupina 60 – 69 let	85
10.7	Věková skupina 70 – 79 let	87
10.8	Zhodnocení měření	89
11.	Výsledky měření na blízkou vzdálenost	92
11.1	Věková skupina 10 – 19 let	93
11.2	Věková skupina 20 – 29 let	95
11.3	Věková skupina 30 – 39 let	97
11.4	Věková skupina 40 – 49 let	99
11.5	Věková skupina 50 – 59 let	101
11.6	Věková skupina 60 – 69 let	103
11.7	Věková skupina 70 – 79 let	105

11.8 Zhodnocení měření	107
Závěr	110
Použitá literatura.....	113
Příloha A.....	1
A.1 Tabulka hodnot různých věkových skupin pozorovatelů.....	1
Příloha B.....	3
B.1 Rozdělení světelných zdrojů.....	3
Příloha C.....	4
C.1 Porovnání věkových skupin se spektry světelných zdrojů	4
Příloha D.....	6
D.1 Použité zrakové testy pro měření	6
Snellenovy tabule	6
Jaegerovy čtecí tabulky	9
Ishiharovy obrazce.....	10
Příloha E.....	15
E.1 Použité dotazníky k měření	15
Příloha F.....	18
F.1 Fotodokumentace pracovišť	18
Příloha G	22
G.1 Tabulky změřených hodnot na dálku	22
G.2 Tabulky změřených hodnot na blízko	37

Úvod

Diplomová práce se zabývá osvětlením pracovišť při rozdílných požadavcích pozorovatelů. Je rozdělena na dvě části, jednou je teoretická a druhou část praktická. Nejdříve než bylo zahájeno samotné měření, bylo třeba se seznámit se spousty aspekty, které samotné osvětlování ovlivňují. Bylo tedy nezbytné popsat a porozumět fyzikálním a fyziologickým procesům lidského zraku a seznámit se s různými vlastnostmi oka. Popsat zrakové ústrojí a pochopit, jak tato fascinující věc funguje, je velmi náročné, protože nebylo dodnes detailně prozkoumáno. Neustále se ohledně zraku objevují nové skutečnosti, které jsou důležité pro samotné vnímání světla. V další části bylo popsáno samotné vnímání světla lidským okem, a to jak světlo denní, tak i světlo umělé. Díky tomuto zjištění mohlo být popsáno, jak světlo ovlivňuje lidské biorytmy, tzn., jak na člověka působí denní a umělé světlo. V další fázi byly zpracovány informace obecně o samotném osvětlování pracovišť, a bylo popsáno několik světelných zdrojů, se kterými je možno se setkat.

V praktické části dále bylo zpracováno několik informací o spektrech světelných zdrojů. Několik z nich bylo získáno a byly porovnány s poměrnou spektrální citlivostí lidského oka pro fotonické vidění. Z těchto poznatků bylo získáno několik informací o tom, jak se liší spektrální citlivost lidského oka v různých věkových obdobích. Cílem tedy bylo stanovení požadavků pro různé věkové skupiny dle ČSN 24502 a porovnání s běžně užívanou ČSN EN 12464 pro osvětlování vnitřních prostorů.

V poslední části proběhlo měření rozdílných věkových skupin na několika pracovištích. Bylo vytvořeno, jak pracoviště na měření na dálku, u kterého byla využita osvětlená Snellenova tabule, tak pracoviště, na kterém se měřila ostrost zraku nablízko, k tomuto pracovišti byly použity Ishiharovy tabulky na měření barvocitu a Jaegerovy čtecí tabulky. Měření proběhlo pro několik druhů zářivek a bylo měřeno pro 4 odlišné intenzity osvětlenosti.

1. Fyziologie zraku

1.1 Zrakové vnímání

Člověk tráví v budovách 90% času, z toho plyne široká škála aktivit, vykonávaných lidmi v uzavřeném prostoru, jsou jimi například práce, zábava, pohyb, ale také odpočinek a spánek. Lidské vnímání informací se děje z 85% prostřednictvím zraku, který se tak stal nejdůležitějším smyslem. Člověk si především prostřednictvím zraku vytváří (v daném prostoru) svůj jedinečný obraz. [58]

Vnímání komfortního prostředí vzniká za přítomnosti tří faktorů:

- volná chvíle, kdy můžeme zaměřit naši pozornost na to, co chceme nebo potřebujeme vidět
- hledaná informace bude jasně viditelná a odpovídá našim tužbám a očekáváním
- pozadí hledané informace nesoupeří s objektem

Abychom mohli předpovědět lidské chování jako funkci závislou na světelných podmínkách, je nezbytné porozumět fyzikálním a fyziologickým procesům lidského zraku. Ten se skládá z optických efektů – světelných stimulů oka, které vytváří vidění prostředí kolem nás. Zároveň každý jedinec vidí věci jinak, a to díky individuálnímu vnímání, které zraková stimulace vyvolává. [58]

1.2 Zrak a vidění

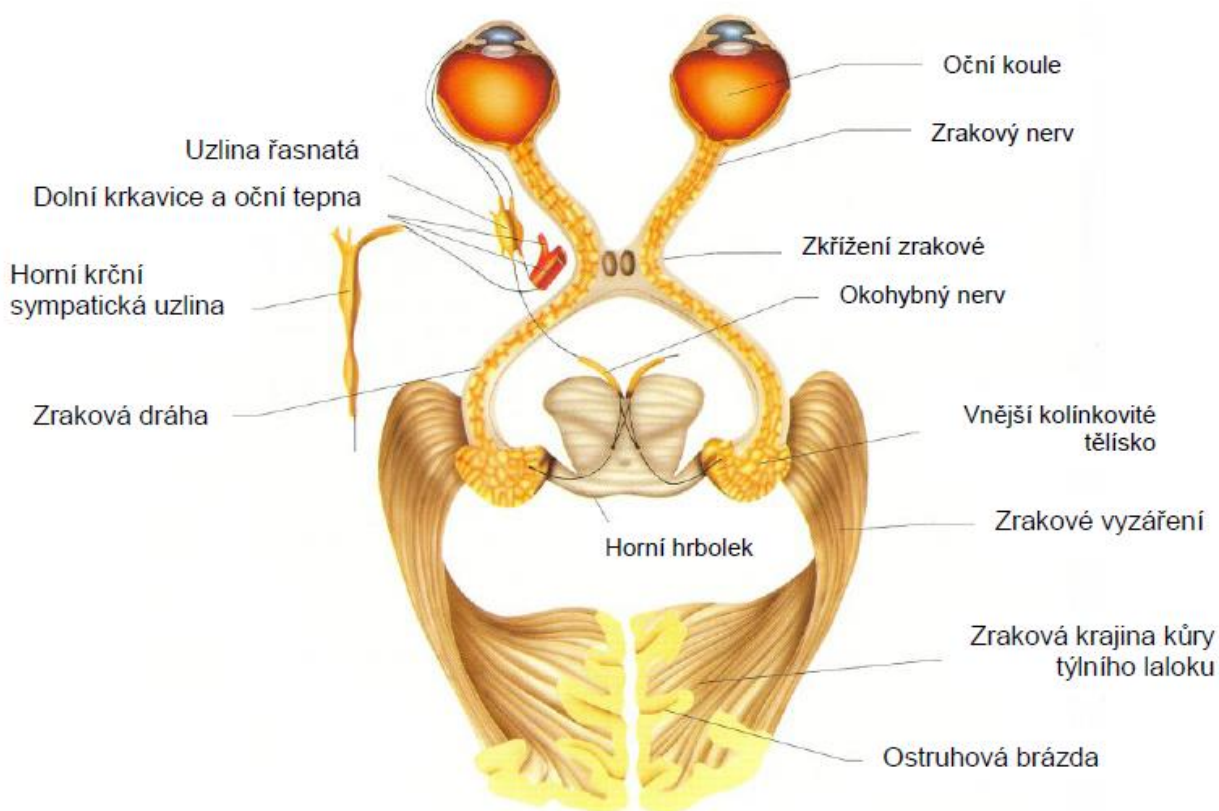
Zrak patří mezi nejvyvinutější a nejdůležitější lidský smysl, který můžeme u člověka pozorovat. Chceme-li se zrakem zabývat více do hloubky, musíme znát jeho anatomii, fyziologii a vůbec komplexní mechanismy zraku (proces vidění, zrakové vjemy). Fyziologie zraku se zabývá činnostmi, funkcemi a nejrůznějšími projevy zrakového ústrojí.

Zrak je pro člověka zařízení pro příjem a zpracování informací o vnějším prostředí. Toto také dokazuje fakt, že člověk získává téměř všechny informace z okolí pomocí zraku. Oko poskytuje člověku vnímat paprsky světla. Ty jsou následně setříděny ve zrakovém centru mozku. Tato informace člověku poskytuje konečné vidění, jak téměř každý zná, ale zároveň slouží jako podnět, jak budeme vnímat jednotlivé prostředí. [3], [4]

1.3 Zrakové ústrojí

Zrakové ústrojí [Obr. 1] tvoří soubor orgánů, který zajišťuje příjem informace světelným podnětem, její přenos a zpracování. Výsledkem této přenesené informace je zrakový vjem. Zrakové ústrojí můžeme dělit na tři části: periferní (oči), spojovací (nervy) a centrální (podkorové a korové části mozku).

Oko [Obr. 2] je párový orgán, který má přibližně kulový tvar a je tvořeno oční bulvou a dalšími orgány, které pomáhají ke správné funkci oka. Oční bulva člověka má přibližně průměr 24 mm. Anatomicky je oko uzpůsobené právě tak, aby se snadno a rychle mohlo otáčet v očníci. Zádň část stěny oka tvoří tři vrstvy. První vrstvou je neprůhledná bílá tkáň, která se nazývá bělima. Druhá vrstva je cévnatka, která je tvořena vlasečnicemi a krevními cévami. Jako poslední vrstvou je sítnice. V přední části oka postupně bělima přechází v průhlednou tkáň, která se nazývá rohovka. Cévnatka se mění v řasnaté tělísko, na něj je upevněna oční čočka a dále v duhovku. Duhovka slouží jako ochrana oka. Mezi duhovkou a rohovkou nalezneme vnitrooční tekutinu. Uprostřed duhovky se nachází zornice, kterou do oka vstupuje světlo. Za zornicí se nachází čočka. Je to tělísko, u kterého se po celý život člověka vytváří nová tkáň, dochází k postupnému zahušťování čočky a k jejímu růstu. S přibývajícím věkem člověka, čočka omezuje schopnost měnit své zakřivení podle potřeby. Sklivec vyplňuje vnitřní prostor oka, je to čirá, průhledná, rosolovitá a pružná hmota. [1], [2], [3], [4]

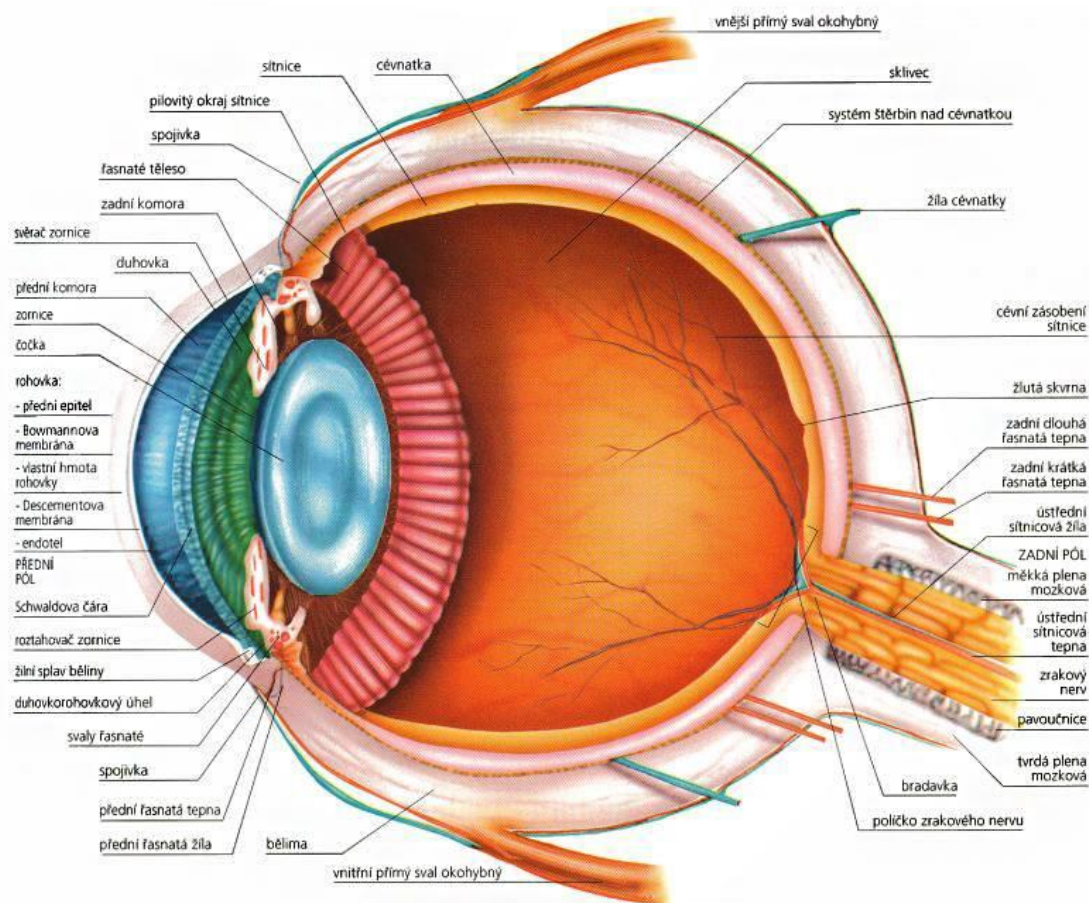


Obr. 1 Zrakové ústrojí – Schéma optických cest [2], [33]

Na [Obr. 1] je znázorněno schéma optických cest pro zrakové ústrojí. Zraková dráha slouží k tomu, aby se zraková informace dostala až do mozkových center. Probíhá od fotoreceptorů sítnice až do mozkové kůry okcipitálního laloku. Můžeme na ní rozlišit tři neurony. První neuron tvoří axony gangliových buněk, druhý potom nervová vlákna, která vychází z primárního zrakového centra. Třetí neuron zrakové dráhy představují vlákna Gratioletova svazečku.

1.4 Popis orgánu zraku

Oko [Obr. 2] má dvě hlavní soustavy: Optickou a nervovou. Nejdůležitějšími částmi optické soustavy jsou rohovka, duhovka a čočka. Optická soustava zajišťuje, že se na sítnici vytvoří převrácený, zmenšený a neskutečný obraz přijaté informace. [1], [2], [3]



Obr. 2 Zrakový orgán [2], [33]

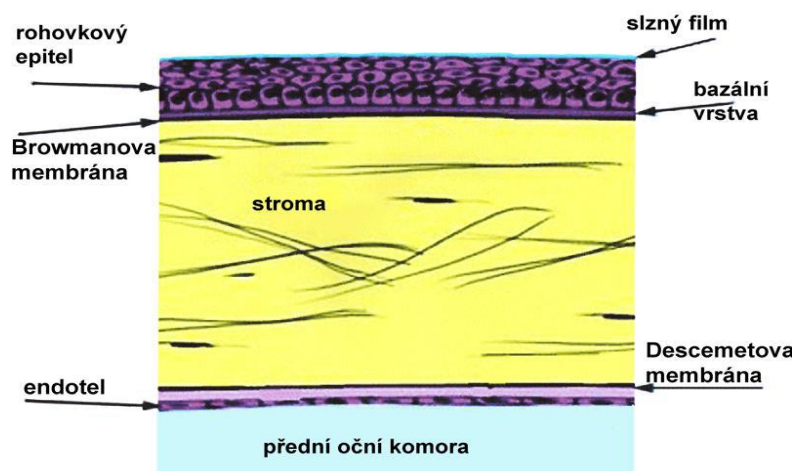
Na [Obr 2] lze vidět podrobný popis zrakového orgánu, kterému jsou detailněji věnovány jednotlivé kapitoly. Postupně se zaměřuje na popis rohovky, duhovky, sklivce, bělma, cévnatky, řasnatého tělíska a v neposlední řadě také sítnice.

1.4.1 Rohovka

Rhovka [Obr. 2] je kruhového tvaru a vypouklá směrem z oka. Lidská rohovka představuje zhruba 2/3 optické mohutnosti oka a společně s čočkou se podílí na lomu světla, které přichází do oka. Optická mohutnost je udávána v dioptriích, přičemž optickou mohutnost jedné dioptrie (1D) má čočka s ohniskovou vzdáleností 1 m. Půl dioptrie náleží čočce s ohniskovou vzdáleností 2 m; naopak dvě

dioptrie má čočka s ohniskovou vzdáleností 0,5 m. Celková optická mohutnost oka se skládá ze dvou složek: z optické mohutnosti rohovky a z optické mohutnosti čočky. První z nich činí 42 dioptrií, druhá hodnota závisí na stupni akomodace (zaostření do blízka). Za plné akomodace činí 28 dioptrií, při minimální akomodaci je to 19 dioptrií. Zakřivení rohovky má každý člověk jiné a také se její zakřivení mění postupně s věkem. Průměr rohovky dospělého člověka je kolem 11,5 mm a její tloušťka se pohybuje od 0,5 mm (uprostřed) do 0,8 mm (na kraji). Rohovka se skládá z pěti vrstev:

- **Rohovkový epitel** [Obr. 3] je tvořen jen několika buňkami (5-6). Je to regenerující se vrstva, která je spolu se slzným filmem důležitým komponentem lomivé síly a ostrosti vidění. Její funkcí je chránit oko před vnějšími vlivy.
- **Browmanova membrána** [Obr. 3] je tvořena vlákny kolagenu.
- **Rohovkové stroma** [Obr. 3] je nejsilnější vrstvou rohovky. Je tvořena nebuněčnými vlákny kolagenu, které produkují buňky stromatu.
- **Descemetova membrána** [Obr. 3] je tvořena zejména kolageny a lamininem.
- **Rohovkový endotel** [Obr. 3] je tvořen vrstvou buněk bohatými na mitochondrie. Odděluje rohovku od přední oční komory a má za úkol ji dehydratovat, kvůli její optické průhlednosti. [1], [2], [6], [7], [21]

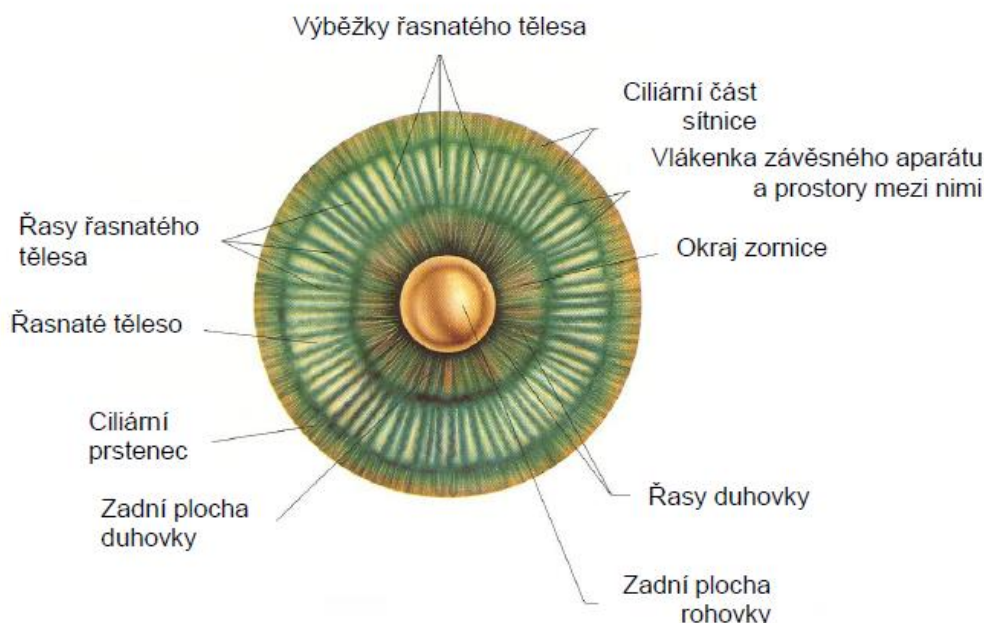


Obr. 3 Řez rohovkou [21]

U [Obr. 3] lze pozorovat řez rohovkou, kde jsou patrné jednotlivé vrstvy rohovky. Jak je popsáno výše, rohovka se skládá z pěti vrstev jako je rohovkový epitel, Browmanova membrána, rohovkové stroma, Descemetova membrána a rohovkový endotel.

1.4.2 Duhovka

Duhovka [Obr. 4] odděluje spolu s čočkou přední a zadní komoru. Barva duhovky je závislá na množství pigmentu ve stromatu a skladbě duhovkové tkáně. Jelikož se v duhovce nacházejí svaly má možnost se roztahovat a smršťovat. Tímto může regulovat množství dopadajícího světla na sítnici. [1], [2], [6], [24]



Obr. 4 Duhovka [2]

Na duhovce [Obr. 4] je možno vidět, jaké části zrakového ústrojí se na ní nacházejí.

1.4.3 Sklivec

Sklivec [Obr. 2] je průhledné, čiré, bezbarvé, rosolovité těleso, které vyplňuje 2/3 oční koule. Z 98% je tvořen vodou, další látky zde se nacházející jsou chlorid sodný, stopy bílkovin a kyselina hyaluronová (zajišťuje gelovou konzistenci). Sklivec se vytváří pouze v embryonálním období a poté se již neregeneruje. Jeho hlavní funkcí je udržování nitroočního tlaku a hladkého povrchu sítnice. [1], [2], [6], [27]

1.4.4 Bělma

Bělma [Obr. 2] jinak oční bělmo nebo skléra, je neprůhledná ochranná vnější vrstva oka obsahující kolagen a elastická vlákna. Bělmo tvoří oko z 80% a udržuje pevný tvar oka. Tloušťka stěny bělimy je přibližně od 0,3 mm do 1,5 mm. Silnější část bělma se nachází v zadní části oční bulvy. [1], [2], [6], [28]

1.4.5 Cévnatka

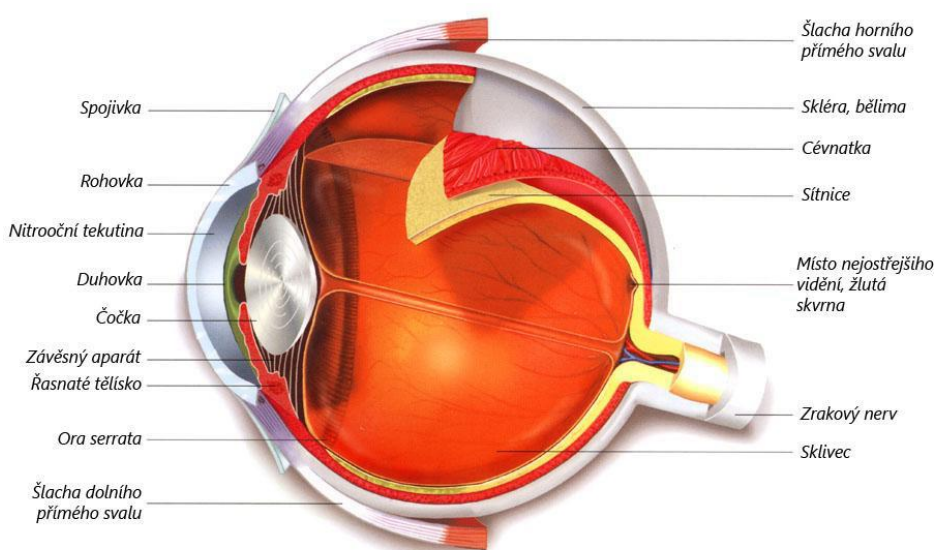
Cévnatka [Obr. 2] je další vrstvou po bělimě. Cévnatka je hustě protkána cévami, které živí celé oko. Anatomicky je součástí živnatky, která se nachází mezi bělimou a sítnicí a v přední části přechází v řasnaté tělísko. Živnatka je plošně největší složkou stěny v lidském oku a přesto má rozměry pouze 0,2 – 0,4 mm. V této vrstvě se nachází vazivo, které je bohaté na cévy a pigmentové buňky. Cévnatka vyživuje vrstvy sítnice a napíná řasnaté tělísko. Tímto procesem oko zajišťuje zaostření na dálku. Dále slouží jako tepelný regulátor, který slouží jako odvod tepla po dopadu světla na fotoreceptory. [1], [2], [6], [29]

1.4.6 Řasnaté tělísko

Řasnaté tělísko [Obr. 2] je střední částí oční bulvy, má tvar mezikruží, kde na vnější straně je připevněna oční čočka. Součástí tělíska je ciliární sval, který ovlivňuje akomodaci čočky. [1], [2], [6], [31]

1.4.7 Sítnice

Sítnice [Obr. 5] je třetí vrstvou obalu oka. Její hlavní funkcí je snímání a předzpracování světelných signálů přicházejících na sítnici skrze čočku. Těsně přiléhá k cévnatce a v přední části oka přechází v řasnaté tělísko stejně jako cévnatka.

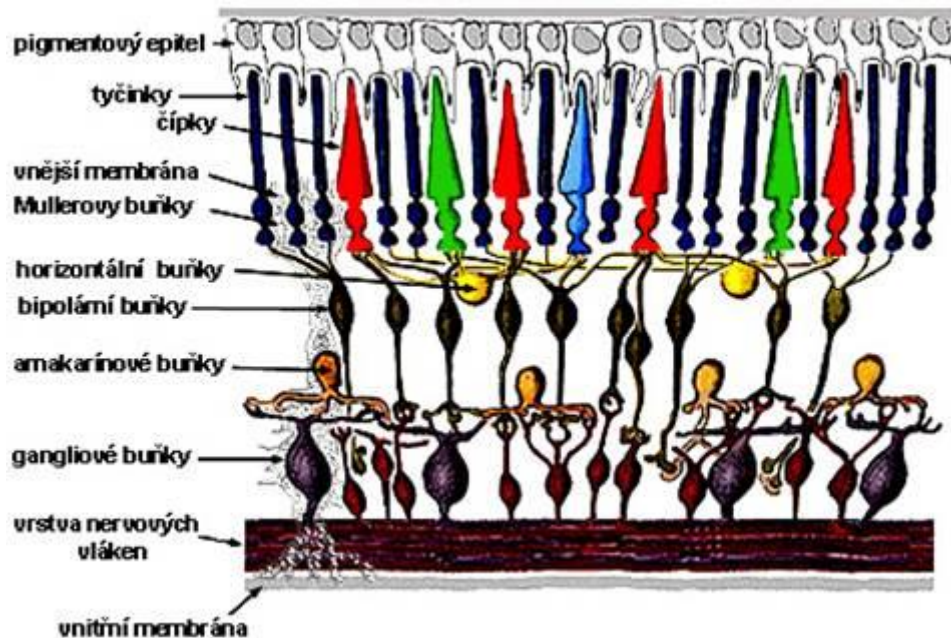


Obr. 5 Řez oční bulvou [32]

Anatomicky se člení na deset vrstev: vrstva pigmentových buněk, vrstva čivých výběžků, zevní ohraničující membrána, vnitřní jádrová vrstva (tyčinky a čípky), zevní plexiformní vrstva, vnitřní jádrová vrstva (bipolární, horizontální a amakrinní buňky), vnitřní plexiformní vrstva, vrstva gangliových buněk, vnitřní ohraničující membrána, vrstva axonů gangliových buněk, přičemž čivé výběžky jsou nejdále od dopadajícího světla. [1], [2], [6], [7], [32]

- **Pigmentové buňky** [Obr. 6] - pohlcují světlo, které již bylo zaznamenáno tyčinkami a čípkami a zabraňuje jeho zpětnému odrazu, (jako je tomu u kočkovitých šelem) čímž zvyšuje ostrost vidění.
- **Tyčinky a čípky** [Obr. 6] - modifikované neurony se schopností reagovat na dopad světla. Tyčinky reagují i na slabé světlo, ale neregistrují barvy a neposkytují dostatečně ostrý obraz. Čípků jsou tři druhy (jeden pro každou základní barvu), poskytují ostrý a barevný obraz, ale potřebují dostatečné osvětlení.
- **Bipolární buňky** [Obr. 6] - přepojení vzruchu z čivých buněk.

- **Horizontální buňky, amakrinové buňky** [Obr. 6] - Asociační buňky propojující mezi sebou jednotlivé bipolární, případně gangliové buňky. Podílí se na předzpracování obrazu (proč je tomu tak plyne z původu sítnice).
- **Gangliové buňky** [Obr. 6] - buňky sbírající informace ze sítnice (je jich cca 10x méně než čivých buněk) a přeposílají informace dále do mozku. Soubor jejich axonů tvoří zrakový nerv. [1], [2], [6], [7], [32]



Obr. 6 Řez sítnicí [32]

Na sítnici [Obr. 6] jsou dobře zřetelné dva útvary - slepá skvrna, neboli optický disk, kudy vystupuje zrakový nerv a vstupuje *centralis retinae* (tepna zásobující krví sítnici oka s výjimkou vrstvy tyčinek a čípků zásobovaných z cévnatky), která se tam i větví na své čtyři hlavní větve. Optický disk je důležitý bod při vyšetření oftalmoskopem. Jestli je propadlý tak je zvýšený nitrooční tlak (který může způsobit zelený zákal), jestli je naopak vystouplý, je zvýšený tlak nitrolebeční, což může být způsobeno mnoha patologickými procesy v lebce, které mohou být životu ohrožující (nádor, hydrocephalus, epidurální krvácení). [1], [2], [6], [7], [32]

Druhým útvarem je takzvaná centrální jamka obsahující žlutou skvrnu. Žlutá skvrna je místem maximální ostrosti vidění, obsahuje pouze čípky a ostatní vrstvy sítnice jsou odsunuty stranou (tím vzniká ona jamka). Paprsky jdoucí z předmětu, na nějž se oko soustředí, jsou zaostřovány právě sem. [1], [2], [6], [7], [32]

Působením světelných paprsků pronikajících do oční koule dochází v tyčinkách a čípcích ke vzniku chemické reakce a následnému vzniku nervových impulsů přenášených do centrálního nervového systému. Látka obsažená ve fotoreceptorech, u které dochází k rozkladu působením světla, se nazývá rodopsin. [1], [2], [6], [7], [32]

1.5 Světločivné buňky

Světločivná buňka je fotoreceptorická buňka, která je schopna zachytit foton a na tento podnět způsobit depolarizaci buněčné membrány gangliových buněk, které pak tento vzruch zpravidla předávají buňkám nervovým zrakového nervu. Světločivné buňky tvoří základ fotoreceptorů. [35], [36], [20]

U obratlovců se světločivné buňky nalézají na sítnici oka. Mezi tyto buňky řadíme tyčinky (černobílé vidění) a čípky (barevné vidění). Vždy několik světločivných buněk připadá na jednu buňku gliovou, několik buněk gliových pak zase na jednu buňku nervovou, vedoucí vzruch do centrálního nervového systému (CNS). Tak vzniká oblast určité velikosti, která vede vzruch k jednomu neuronu. Čím jsou tyto oblasti menší, tím je vyšší rozlišovací schopnost v dané lokalitě. Nejvyšší ostrost je fyziologicky situována do oblasti žluté skvrny sítnice. [35], [36], [20]

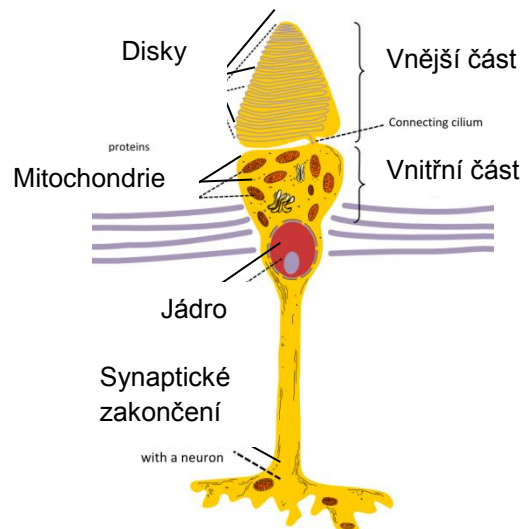
Tyčinky [Obr. 9] a čípky [Obr. 8] jsou buňky sítnice se schopností reagovat na dopad světla. Tyčinky reagují i na slabé světlo, ale neregistrují barvy a neposkytují dostatečně ostrý obraz. Čípků jsou tři druhy (jeden pro každou základní barvu), poskytují ostrý a barevný obraz, ale potřebují dostatečné osvětlení. [35], [36], [20]



Obr. 7 graf horizontální hustoty čípků a tyčinek [35]

Čípky [Obr. 8] jsou protáhlé buňky o rozměrech $60 \times 1,5 \mu\text{m}$, které vznikly modifikací nervových buněk. Skládají se ze dvou částí, vnější (směřující ven z oka) a vnitřní (směřující „do sklivce“). Obě části jsou odděleny konstrikcí (zúženinou). Ve vnější části, která má kónický (čípkovitý) tvar, se nachází samotné centrum vidění. Tato část obsahuje četné disky propojené s membránou (vznikají vchlípením cytoplazmatické membrány). Disky obsahují velké množství proteinu jodopsinu (též fotopsin). Ve vnitřní části buňky se nachází velké množství mitochondrií a glykogenu. To naznačuje, že v této části se soustřeďuje energetický metabolismus, který vyživuje zbytek buňky. Nedaleko se také nachází množství ribozomů (resp. polyribosomy) umožňující rychlou syntézu proteinů. [35], [36], [20]

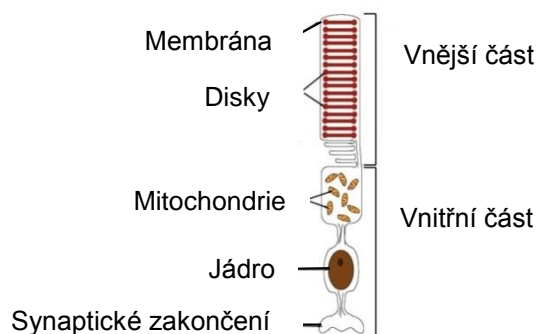
V každé lidské sítnici je asi 6 milionů čípků (tedy mnohem méně než tyčinek); ovšem existují tři funkční typy. Není možné je rozeznat na základě stavby buňky, ale na základě druhu fopsinu, jež obsahují. Každý ze tří druhů buněk obsahuje poněkud jiný jodopsin, jeden je specializován na zelenou barvu, druhý na barvu modrou a třetí na červenou barvu spektra. Čípky potřebují ke své práci poměrně hodně velké osvětlení (rozhodně více než tyčinky), ale na druhou stranu zajišťují preciznější vidění než tyčinky. Aktivita čípků se uvádí od pozorovaných jasů $0,001$ a $0,01 \text{ cd} \cdot \text{m}^{-2}$. Vidění, které je považováno za čípkové, je od jasů $10 \text{ cd} \cdot \text{m}^{-2}$. O čistém čípkovém vidění je možno mluvit až od hodnoty jasu nad $100 \text{ cd} \cdot \text{m}^{-2}$. [35], [36], [20]



Obr. 8 Světločivná buňka (Čípek) [35]

Tyčinky [Obr. 9] jsou podlouhlé, na délku mají až $50 \mu\text{m}$, zatímco na šířku pouze asi $3 \mu\text{m}$. V jejich tvaru se dají vyzorovat dvě základní části, vnější (směřující ven z oka) a vnitřní (směřující „do sklivce“). Obě části jsou odděleny konstrikcí (zúženinou). Ve vnější části se nachází samotné centrum vidění, protože se v něm nachází 600–1000 disků obsahujících oční purpur – rodopsin. Ve vnitřní části buňky se nachází velké množství mitochondrií a glykogenu. To naznačuje, že v této části se soustřeďuje energetický metabolismus, který vyživuje zbytek buňky. Nedaleko se také nachází množství ribozomů (resp. polyribosomy) umožňující rychlou syntézu proteinů.

V lidské sítnici [Obr. 5] se nachází asi 120 milionů tyčinek, tedy dvacetkrát více než čípků. To napovídá, že tyčinky jsou centrální buňky umožňující lidské vidění. Jsou to přeměněné neurony, v nichž díky rodopsinu dochází ke vzniku elektrického impulsu. Rodopsin se totiž po dopadu fotonu rozpadá na řadu jednotlivých složek. Tento rozpad je zodpovědný za vznik receptorového potenciálu, následně vzniku akčního potenciálu v očním nervu a dodání této informace do mozku. [35], [36], [20]



Obr. 9 Světločivná buňka (Tyčinka)

1.6 Onemocnění a vady lidského oka

Onemocnění oka nebo oční vady mohou být vrozené nebo se mohou vyvinout věkem. V seznamu jsou uvedeny onemocnění lidského oka.^[1] Většina z nich se však vyskytuje i u jiných vyšších obratlovců a v principu i u všech dalších živočichů se stejným typem očí.

- **Astigmatismus** - je refrakční vada lomivosti oka, kdy je rohovka v některé ose více vyklenutá nebo naopak méně vyklenutá. Nemá tedy pravidelný polokulovitý tvar.
- **Barvoslepost** - vrozená porucha buněk sítnice, vnímající barvy. Způsobuje neschopnost rozlišovat některé barvy, obvykle červenou a zelenou.
- **Konjunktivitida** - zánět spojivky způsobující pálení a zarudnutí oka.
- **Myopie** (krátkozrakost) - neschopnost ostře vidět do dálky, obraz je vytvářen před sítnicí, dělí se na dvě podskupiny: Osová: oční koule je delší než 24 mm; a Systémová: délka oka je 24 mm, ale optický systém je více lámavý kvůli: a)menšímu poloměru křivosti jednotlivých ploch = rádiusová myopie; nebo b)některé prostředí v oku má větší index lomu = indexová myopie.
- **Hypermetropie** (dalekozrakost) - Neschopnost ostře vidět nablízko, protože oční koule je příliš krátká pro normální ostření, obraz se tedy vytváří za sítnicí.
- **Stařecká vetchozrakost** (presbyopie) - druh hypermetropie.
- **Glaukom** (zelený zákal) - zvýšený tlak tekutiny uvnitř oka, není-li léčen, způsobuje slepotu.
- **Katarakta** (šedý zákal) - zákal čočky, způsobující zastřené vidění a ztrátu vnímání podrobností.
- **Diabetická retinopatie**
- **Poranění oka**
- **Odchlípení sítnice** - oddělení sítnice od zadní části oční koule, pokud není okamžitě léčen, způsobuje slepotu.
- **Věkem podmíněná makulární degenerace** - poškození žluté skvrny oka způsobuje postupnou ztrátu zraku. [12]

2. Vlastnosti oka

2.1 Akomodace oka

Akomodací se rozumí přizpůsobení oka vzdálenosti pozorovaného předmětu tak, aby jeho obraz na sítnici byl pokud možno ostrý. U oka neakomodovaného se svazek rovnoběžných paprsků vycházející teoreticky z nekonečně vzdáleného předmětu spojuje na sítnici. Tento vzdálený bod se nachází prakticky už na hranici pětmetrové vzdálenosti od oka. Je-li předmět ve vzdálenosti menší než 5 m, je třeba k vytvoření ostrého obrazu na sítnici zvýšit celkovou lomivost optického systému oka akomodací čočky. Akomodace má svou mezní hodnotu. Mírou maximálního akomodačního úsilí je vzdálenost blízkého bodu. S přibývajícím věkem akomodační schopnost klesá [Tab. 1]. [1], [17], [18]

Mechanismus akomodace lze stručně popsat takto: U neakomodovaného oka jsou lomné plochy čočky méně zakřiveny. Její tvar je výsledkem vnitřního pnutí čočky a tahu závěsného aparátu. V průběhu akomodace se postupně kontrahuje akomodační sval, tím se uvolní tah závěsného vazy, zmenší se napětí pouzdra čočky a čočka se vlastním elastickým pnutím vyklene. Ke změně poloměru zakřivení dochází především na přední ploše. [1], [17], [18]

Stáří	Vzdálenost blízkého bodu (m)	Akomodační šíře (D)	Korekce v + dioptriích
10 let	0,07	14	--
20 let	0,1	11	--
30 let	0,12	8	--
40 let	0,22	4,5	--
50 let	0,4	2,5	0,75 - 1
60 let	1	1	2 - 2,5
70 let	4	0,25	3,5 - 4
80 let	nekonečno	0	

Tab. 1 Pokles akomodační schopnosti s věkem a potřebné korekce [1]

Pod pojmem akomodační šíře oka, uvedeným v tabulce, se rozumí přírůstek lomivosti optického systému oka při přenesení pohledu ze vzdáleného předmětu na předmět v nejmenší vzdálenosti před okem, právě ještě ostře viděný při maximálním vynaložení akomodace. Polohy blízkého a vzdáleného bodu se zjišťují optimetrem a převádí se z délkových měr na dioptrie. Objektivně lze sledovat změny zakřivení čočkových ploch během akomodace pomocí Purkyňových obrázků, vznikajících zrcadlením předmětu. [1], [17], [18]

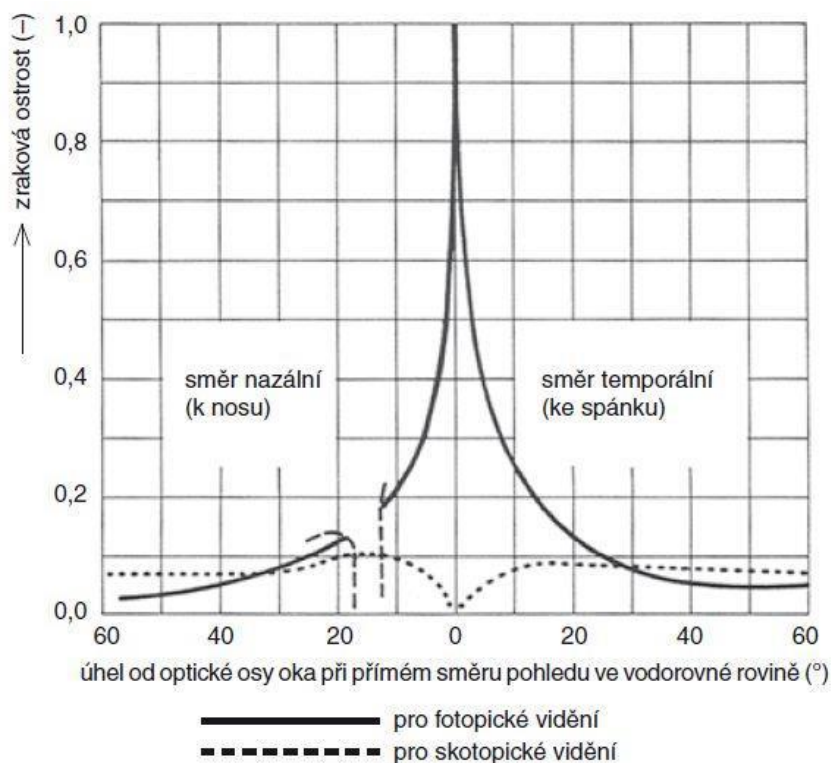
2.2 Rozlišovací schopnost oka

Zrakové rozlišení předmětů či detailů je založeno na schopnosti zrakového orgánu rozeznat, že z určitých částí zorného pole vycházejí rozdílné světelné podněty, tj. na schopnosti zhodnotit jasnost rozlišovaných detailů. [17], [18]

Jasnost je vlastnost zrakového počítku, tedy pojem psychosenzorický. Přibližně lze říci, že fyzikálním protějškem pojmu jasnost je fotometrická veličina jas. [17], [18]

Pozorovatel ve svém zorném poli rozliší navzájem takové podněty, které mají dostatečně rozdílné jasy, popřípadě barvy (kontrast jasů nebo barev). Jsou-li předměty trojrozměrné, pak vhodně vytvořené stíny napomáhají vyniknout prostorové struktuře a uspořádání předmětů. [17], [18]

Důležitým kritériem pro posouzení rozlišovací schopnosti je zraková ostrost. Touto veličinou se oceňuje schopnost oka rozeznat při daném pozadí dva detaily (např. body, čáry, malé plošky), které jsou velmi blízké u sebe. Číselně je zraková ostrost rovna převrácené hodnotě nejmenšího úhlu (měřeného v minutách), pod kterým je oko schopno rozlišovat dva zmíněné detaily jako oddělené, tj. $(1/\alpha_{min})$. Za oko s normální ostroostí se považuje takové, které rozeznává dva body, jejichž vzdálenost je vidět pod úhlem $1'$, tj. oko se zrakovou ostroostí $(1/\alpha_{min}) = 1$. Čím menší je tedy vzdálenost pozorovaných detailů, které oko ještě rozezná, tím větší je zraková ostrost. Průběh zrakové ostroosti je naznačen na [Obr. 10]. [17], [18]



Obr. 10 Rozdělení zrakové ostroosti na sítnici [17]

Na [Obr. 10] lze najít rozdělení zrakové ostrosti, a to pro fotopické vidění (plnou čarou) a pro skotopické vidění (tečkovaně), dále je zde naznačena mezi 10° a 20° nazálního směru oblast slepé skvrny. Na průběhu lze vidět relativní ostrosti vidění pro čípky i tyčinky. Čípkové vidění charakteristické pro denní adaptační jasy je zdrojem ostrého obrazu. Nejvyšší ostrost je soustředěna na jedno místo, tím je fovea obsahující pouze čípky. Tyčinkové noční vidění není s to při nízkých jasech rozlišovat předměty tak ostře, jako je tomu u předchozího případu. Navíc jsou oblasti nejlepší relativní ostrosti u tyčinek situovány okolo středu pohledu. Experimentálně bylo zjištěno, že například při nočních zrakových úkolech, jako je řízení vozu či bezpečnostní dohled, jsou podněty mimo střed pohledu vnímány s kratší reakční dobou.

2.3 Adaptační mechanizmy

Přizpůsobení oka různým hladinám osvětlenosti se nazývá adaptace. Oko je schopné přizpůsobit se osvětlenostem svislé roviny proložené zornicí v rozmezí asi od 0,25 lx až do 10⁵ lx. Takto velkým změnám osvětlenosti se oko přizpůsobuje jednak změnou citlivosti zornice, jednak změnou citlivosti fotoreceptorů sítnice a též změnou velikosti vjemových polí sítnice. [17], [18]

Hlavním adaptačním mechanismem je však fotochemický děj (rozklad zrakových pigmentů ve vnějších segmentech fotoreceptorů působením světla, popř. syntéza pigmentů vlivem tmy. V sítnici jsou čtyři druhy pigmentů. Tři z nich (chlorolab, erytrolab a cyanolab) jsou vázány na čípky. Proto existují tři druhy čípků, z nichž každý obsahuje jiný pigment. Čtvrtý pigment, zrakový purpur (rodopsin), složený z opsinu (bezbarvá bílkovina) a retinalu (nositel barvy), je vázán na tyčinky. [17], [18]

Při dopadu oka z nižšího jasu na vyšší (adaptace na světlo), např. při přechodu ze tmy na světlo, se vlivem rozkladu fotopigment zmenšuje citlivost fotoreceptorů. Děj je dokončen asi do jedné minuty a pak doznívá asi 10 minut. Adaptace z vyšší hodnoty jasu na nižší (adaptace na tmu), např. při přechodu ze světla do tmy, vyžaduje naopak vytvoření zásob fotopigmentů, a proto pochod trvá od několika minut při vysokých hladinách osvětlenosti až i hodinu při nízkých hladinách osvětlenosti. [17], [18]

Nejdokonalejším mechanismem je pak změna velikosti vjemových polí, kde nastávají procesy nervové adaptace. Průměr těchto polí se zmenšuje s rostoucí intenzitou osvětlení a naopak zvětšuje při adaptacích na tmu, aby mohla zachytit větší procento fotonů dopadajících na sítnici. Někdy se také mohou vzájemně překrývat. [17], [18]

2.4 Další vlastnosti oka

2.4.1 Reakce na pohled do blízka

Při pohledu do blízka se zornice smrští, propustí pouze paraxiální paprsky, oko tak vidí maximálně ostře. [58]

2.4.2 Fotoreakce

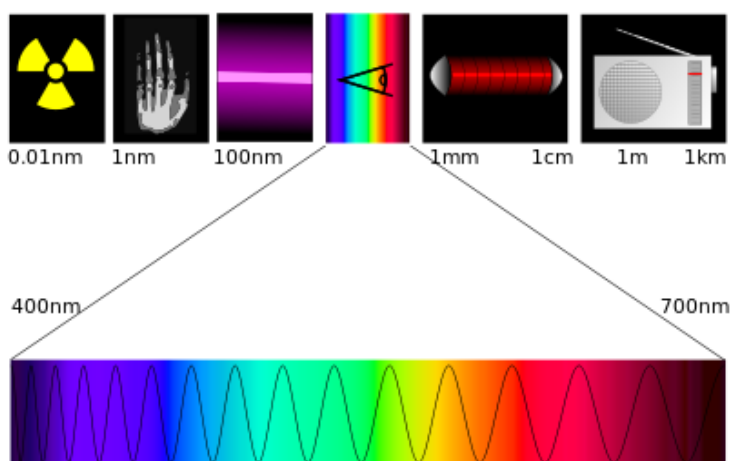
Lidské oko se dokáže adaptovat na různou světelnou intenzitu. Při ostrém světle se zornička smrští a dojde k prostupu minimálního množství světla. Naopak při horších světelných podmínkách dojde k opačnému efektu, kdy rozšířenou zorničkou projde maximum světla, které dopadem na sítnici vytvoří daný obraz. [58]

2.4.3 Zorné pole

Veškerý viděný prostor kolem nás při pohledu vpřed. Střední část obrazu je vidět s větším detailem, okrajové části – tzv. periferní vidění – vidíme méně ostře. Vnímáme obrysy a pohyb. Pokud něco zaznamenejme, pohneme okem a přesuneme objekt do centra vidění. [58]

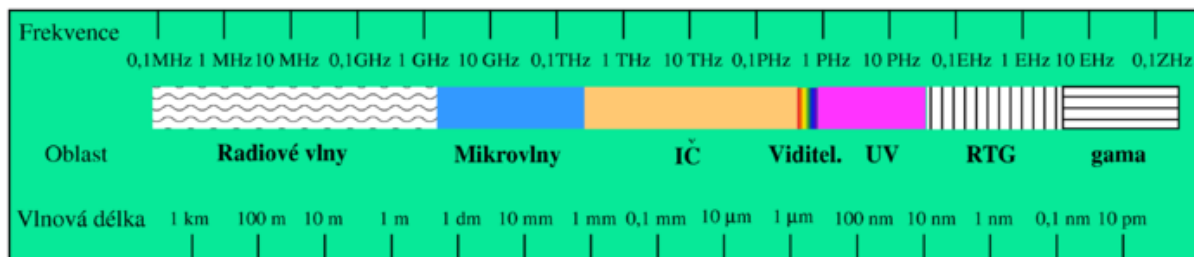
3. Elektromagnetické spektrum

Zahrnuje elektromagnetické záření všech vlnových délek.



Obr. 11 Spektrum vlnových délek [59]

Přestože je dělení téměř přesné, může občas dojít k překryvům sousedících typů. Například některé záření gama může mít delší vlnovou délku než některé rentgenové záření. Překryv nastává proto, že paprsky se určují dle původu nikoliv dle frekvence. [59]



Obr. 12 Oblasti elektromagnetického spektra [59]

Radiové vlny

Jsou vyzařovány anténami, jejichž délka je úměrná délce nosné vlny, takže jejich rozměry jsou v rozmezí milimetrů až několika stovek metrů. [59]

Mikrovlny

Jsou absorbovány molekulami tekutin, jež mají dipólový moment, zvláště vody. Toho se využívá k ohřívání v mikrovlnné troubě. Mikrovlny se rovněž využívají pro bezdrátovou komunikaci WI-FI. [59]

Infračervené záření

Pokrývá frekvence 300 GHz a 400 THz, má vlnovou délku 760 nm a 1 mm). Dělí se na blízké IČ, střední IČ, vzdálené IČ. [59]

Viditelné světlo

Je ta část spektra, na kterou je citlivé lidské oko. Jednotlivé barvy, vyskytující se ve světelném spektru se nazývají spektrální barvy a odpovídají jim určité intervaly vlnových délek elektromagnetického záření. [59]

Barva	Vlnová délka	Frekvence
červená	~ 625 až 740 nm	~ 480 až 405 THz
oranžová	~ 590 až 625 nm	~ 510 až 480 THz
žlutá	~ 565 až 590 nm	~ 530 až 510 THz
zelená	~ 520 až 565 nm	~ 580 až 530 THz
indigová	~ 500 až 520 nm	~ 600 až 580 THz
modrá	~ 430 až 500 nm	~ 700 až 600 THz
fialová	~ 380 až 430 nm	~ 790 až 700 THz

Obr. 13 Tabulka hodnot viditelného světla [59]

Ultrafialové záření

O vlnových délkách 400 – 10 nm a frekvenci 10^{15} – 10^{17} Hz. Fotony tohoto záření mají vysokou energii a mohou štěpit chemické vazby. Fotony UV záření

mohou také poškodit DNA, což může způsobit ve spojitosti s dalším poškozením závislosti na závažnosti postižení, až prosté odumření poškozené buňky. [59]

Rentgenové záření

O vlnových délkách 10 – 0,1 nm a frekvenci $10^{17} - 10^{20}$ Hz. V praxi se využívá především schopnost pronikat řadou materiálů a jen slabě se v nich absorbovat. V lékařství se využívá především v diagnostice, v průmyslu pak k defektoskopii. [59]

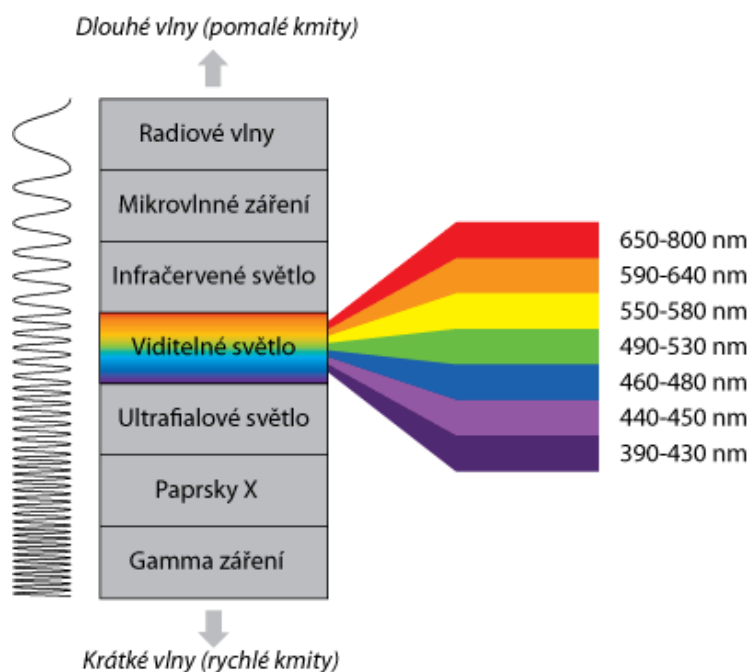
Gama záření

Vzniká při radioaktivních a jiných jaderných a subjaderných dějích. Název vychází ze značení ionizujícího záření. Využívá se v neurochirurgii. [59]

3.2 Spektrální citlivost lidského oka

Lidské oko je schopno vnímat pouze malou část elektromagnetického záření. Při běžné intenzitě osvětlení je sítnice citlivá v oblasti záření o vlnové délce od 380 nm do 760 nm [Obr. 1]. Tato oblast se také kryje s jedním z pásem propustnosti zemské atmosféry. Dalším z důvodů, proč lidské oko nejvíc vnímá právě v této oblasti je fakt, že odpovídá maximu spektrálního vyzařování Slunce. Z grafu spektrální citlivosti lidského oka vyplývá, že lidské oko je citlivé i na červené světlo vlnové délky např. 760 nm. Aby však byl dosažen zrakový vjem stejné intenzity jako pro záření světla o vlnové délce 550 nm, musí být světelný tok ze stejné plochy 10 000 x větší. [17], [18]

V lidské sítnici je asi 6 milionů čípků. Existují tři funkční typy, obsahující různé druhy fotsopsinu. Každý z nich totiž má poněkud jiný jodopsin (specializace na zelenou, modrou a červenou barvu). Čípky potřebují ke své práci poměrně hodně velké osvětlení, ale na druhou stranu zajišťují preciznější vidění než tyčinky. [17], [18]



Obr. 14 Viditelné světlo

Na [Obr. 14] je vidět rozsah viditelnosti barevného světla pro lidské oko, který se pohybuje přibližně v rozmezí 380nm – 760nm. Dále nad horní hranici viditelnosti je infračervené světlo, mikrovlnné záření a radiové vlny. Pod dolní hranici se nachází ultrafialové světlo, paprsky X a gamma záření.

3.3 Světelný tok

Světelně technická veličina, která odpovídá zářivému toku a vyjadřuje schopnost způsobit zrakový vjem, se nazývá světelný tok. Jednotkou světelného toku je lumen (lm). Světelný tok Φ monochromatického záření vlnové délky λ , jehož zářivý tok je Φ_e se určí ze vztahu [17]

$$\Phi(\lambda) = K(\lambda)\Phi_e(\lambda) = K_m V(\lambda)\Phi_e(\lambda) \quad (lm; lmW^{-1}, -, W) \quad (3.1)$$

Veličina $K(\lambda)$ (lmW^{-1}) je světelný účinek monochromatického záření rovný poměru světelného toku a jemu odpovídajícího zářivého toku. Většinou se veličina $K(\lambda)$ vyjadřuje součinem maximální hodnoty K_m spektrálního průběhu veličiny $K(\lambda)$ a poměrné světelné účinnosti $V(\lambda)$ monochromatického záření, tj. vztahem [17]

$$K(\lambda) = K_m V(\lambda) \quad (3.2)$$

$V(\lambda)$ je poměrná světelná účinnost monochromatického záření definována vztahem [17]

$$V(\lambda) = \frac{K(\lambda)}{K_m} \quad (-; lmW^{-1}, lmW^{-1}) \quad (3.3)$$

Z hlediska individuálního pozorovatele je veličina $V(\lambda)$ totožná s poměrnou spektrální citlivostí pozorovatele (obvykle normálního fotometrického pozorovatele při fotopickém vidění). [17]

V soustavě SI se jednotky světelně technických veličin odvozují od základní jednotky svítivosti (1 kandela), tj. od svítivosti zdroje záření o jediné frekvenci $\nu = 540 \cdot 10^{12} \text{ Hz}$, při zářivosti zdroje v daném směru $\frac{1}{683} \text{ W} \cdot \text{sr}^{-1}$. [17]

Zmíněná frekvence odpovídá ve standardním ovzduší základní vlnové délce λ_m ,

$$\lambda_m = \frac{c}{\nu} = \frac{2,997\ 086\ 40 \cdot 10^8}{540 \cdot 10^{12}} = 555,015\ 5 \text{ nm} \approx 555 \text{ nm} \quad (3.4)$$

kde c je rychlost světla v uvažovaném standardním prostředí. [17]

Mezinárodní orgány CIE a ISO v souladu s definicí kandely schválily, že maximum světelné účinnosti záření odpovídající monofrekvenčnímu záření základní vlnové délky dosahuje u normálního fotometrického pozorovatele při fotopickém vidění hodnoty. Jde o důležitou konstantu, která spojuje fyzikální fotometrii a optickou radiometrii. [17]

Důležitým důsledkem definice kandely je, že pro záření základní vlnové délky $555,0155 \text{ nm}$ je světelný účinek záření, tj. také spektrální citlivost zraku normálního fotometrického pozorovatele při fotopickém vidění $K(555,0155)$ i při skotopickém vidění $K'(555,0155)$ shodná a rovná $683 \text{ lm} \cdot \text{W}^{-1}$, tzn., platí rovnice [17]

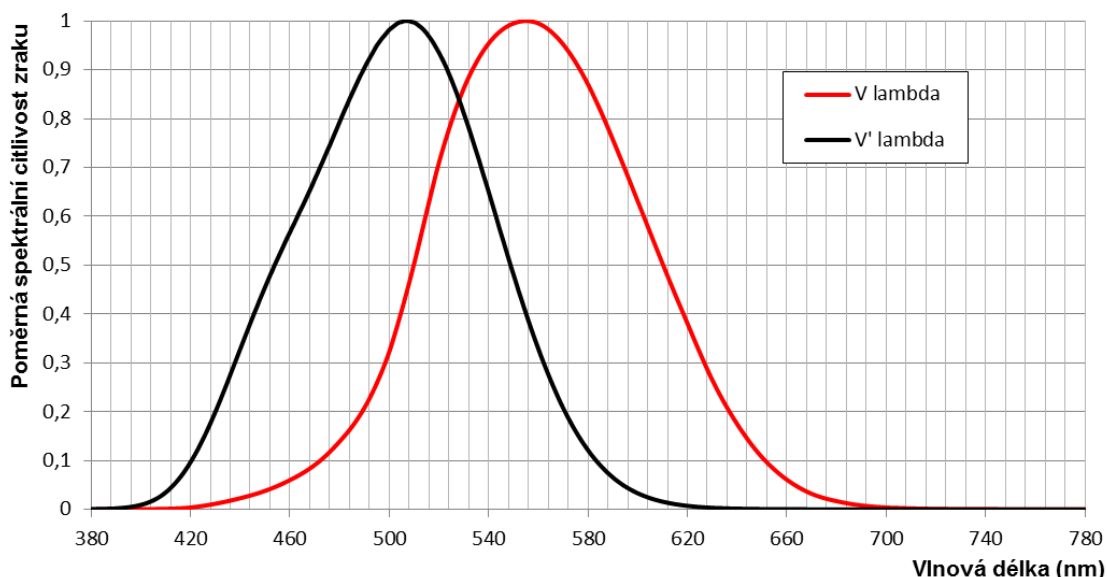
$$K(555,0155) = K'(555,0155) = 683 \text{ lm} \cdot \text{W}^{-1} \quad (3.5)$$

Proto lze v těchto stavech vidění pracovat se světelnými toky udávanými v lumenech. Při stanovování maximálních hodnot (K_m, K'_m) spektrálních průběhů světelných účinků záření $K(\lambda)$ a $K'(\lambda)$ se vychází z rovnice (3.4), z níž vyplývá pro záření libovolné vlnové délky λ (tedy i pro $\lambda_m = 555,0155 \text{ nm}$ obecný vztah [17]

$$K_m = \frac{K(\lambda)}{V(\lambda)} = \frac{K(555,0155)}{V(555,0155)} = \frac{683}{V(555,0155)} = \frac{683}{V(555)} \quad (3.6)$$

3.4 Poměrná spektrální citlivost zraku

Na [Obr. 15] lze pozorovat průběh poměrné spektrální citlivosti oka. Ke zkoumání postačí pouze křivka pro fotopické (denní) vidění (adaptační jas $L_a = 100 \text{ cd} \cdot \text{m}^{-2}$, max. při $\lambda = 555 \text{ nm}$), ale pro srovnání je přidána křivka pro skotopické (noční) vidění (adaptační jas $L_a = 10^{-5} \text{ cd} \cdot \text{m}^{-2}$, max. při $\lambda = 507 \text{ nm}$).



Obr. 15 $V(\lambda)$ pro fotopické vidění a $V'(\lambda)$ skotopické vidění

Na [Obr. 14] je viděn průběh poměrné spektrální citlivosti oka po fotopické vidění, popř. poměrné spektrální účinnosti záření pro adaptační jas $L_a = 100 \text{ cd} \cdot \text{m}^{-2}$. Maximum nalezeno při vlnové délce $\lambda = 555 \text{ nm}$, které je rovno 1. Dále zde lze

vidět křivku pro skotopické vidění, kde je adaptační jas $L_a = 10^{-5} \text{ cd} \cdot \text{m}^{-2}$ a maximum je nalezeno při vlnové délce $\lambda = 507 \text{ nm}$, které je rovno 1.

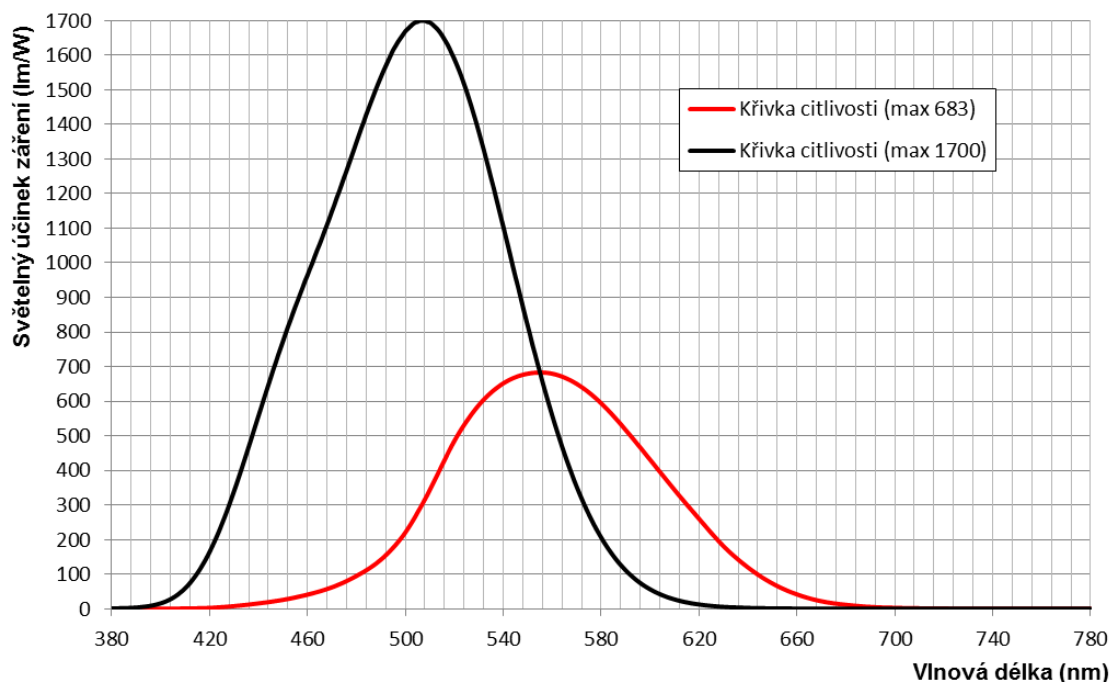
Ze vztahu (3.6) vyplývají pak po dosažení hledaná maxima, a to pro fotopické vidění

$$K_m = \frac{683}{V(555,0155)} = \frac{683}{0,999\,997\,1} = 683,002 \approx 683 \text{ lm} \cdot \text{W}^{-1} \quad (3.7)$$

A pro skotopické vidění

$$K_m = \frac{683}{V(555,0155)} = \frac{683}{0,401\,752\,9} = 1700,05 \approx 1700 \text{ lm} \cdot \text{W}^{-1} \quad (3.8)$$

Nyní podle (3.7) jsou dopočítány jednotlivé hodnoty tak, aby mohl být sestaven průběh absolutních hodnot světelných účinků záření pro fotopické vidění. Dále podle (3.8) jsou dopočítány hodnoty pro skotopické vidění.



Obr. 16 průběh absolutních hodnot světelných účinků záření

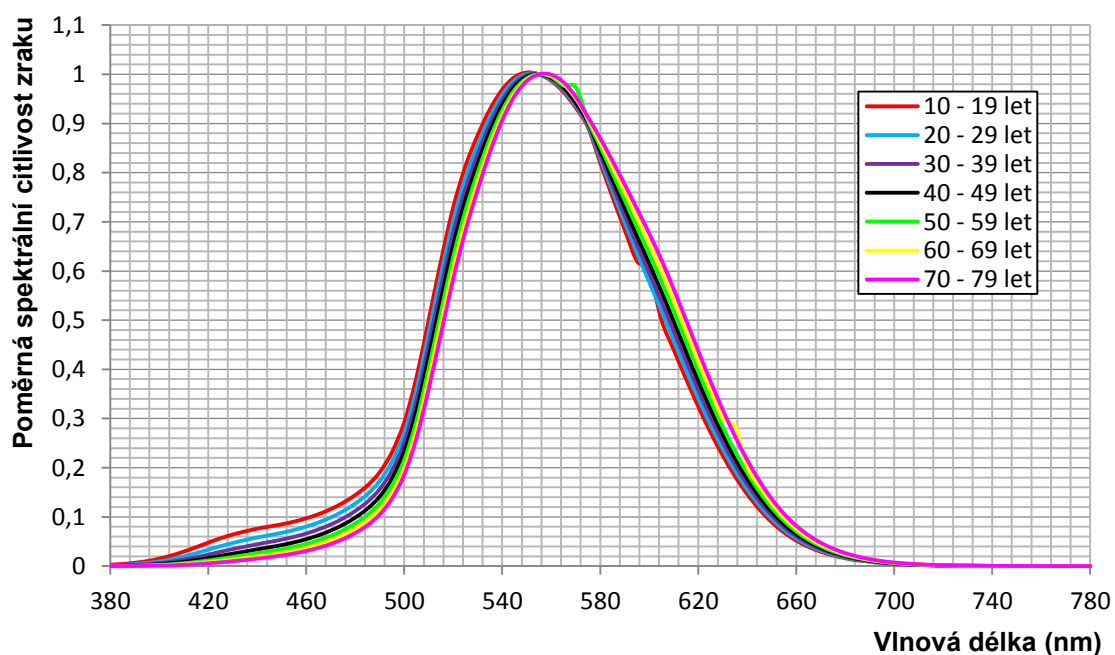
Na [Obr. 16] je vidět průběh pro fotopické vidění, kde lze vyčíst vypočítané maximum $683 \text{ lm} \cdot \text{W}^{-1}$ dle vztahu (3.6). Dále lze postupně vypočítat stejným způsobem zbytek hodnot tak, aby vyšla křivka citlivosti pro fotopické vidění. Druhá křivka je průběh pro skotopické vidění. Při výpočtu se postupuje stejným způsobem jako u fotopického vidění. Pro skotopické vidění se maximum nachází v hodnotě $1700 \text{ lm} \cdot \text{W}^{-1}$.

3.5 Věkové skupiny pozorovatelů

Tato práce částečně vychází z normy ČSN EN ISO 24502:2010, která se zabývá ergonomií funkčnosti navrhování – Specifikací kontrastu jasu závislého na věku pro barevné světlo. Tato mezinárodní norma specifikuje na věku závislý kontrast jasu jakýchkoliv dvou světel různé barvy, které jsou viděny osobou jakéhokoliv věku, s ohledem na změnu poměrné spektrální světelné účinnosti oka.

Tato mezinárodní norma specifikuje kontrast jasu pro osoby ve věku od 10 – 79 let, které neměly žádné lékařské ošetření nebo operaci očí, která by mohla ovlivnit jejich poměrnou spektrální světelnou účinnost.

V [Tab. 50, Příloha A] podle normy ČSN EN ISO 24502:2010 lze vidět jednotlivé věkové skupiny, u kterých byla naměřena spektrální světelná účinnost při fotopickém vidění. Dále lze pozorovat, že u věkových skupin 10 – 19 a 20 – 29 let je přesaženo dané maximum při vlnové délce $\lambda = 555 \text{ nm}$. V neposlední řadě je z naměřených hodnot vidět, že se spektrální světelná účinnost s věkem postupně snižuje. U hodnot jednotlivých věkových skupin není tak markantní rozdíl, ale pro lidské zrakové ústrojí jsou rozdíly těchto hodnot obrovské.

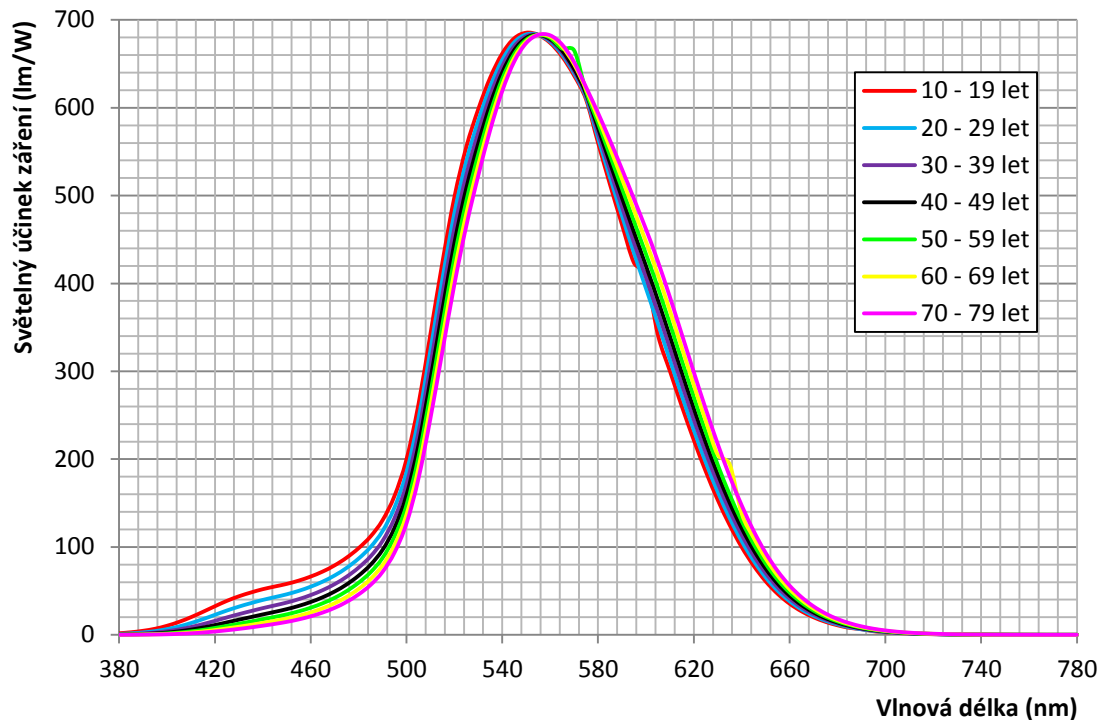


Obr. 17 Průběhy poměrné spektrální citlivosti zraku rozdílných věkových skupin

Na [Obr. 17] lze vidět jednotlivé průběhy světelné účinnosti pro různé věkové skupiny. Grafy jsou vytvořeny podle [Tab. 50, Příloha A], ve které je vše lépe znázorněno, jak už bylo naznačeno výše.

Dále byla pro fotopické vidění ze vztahu (3.6) vypočítána jednotlivá hledaná maxima. Pro všechny věkové skupiny je pro vlnovou délku $\lambda = 555 \text{ nm}$ světelná účinnost rovna 1.

$$K_m = \frac{683}{V(555)} = \frac{683}{1} = 683 \text{ lm} \cdot \text{W}^{-1} \quad (3.9)$$



Obr. 18 průběh absolutních hodnot světelných účinků záření

Po kompletním přepočtu na světelný účinek záření jsem sestavil graf [Obr. 18], ve kterém lze vidět, že u skupin ⟨10,19⟩, ⟨20,29⟩ jsou maxima větší než $K_m = 683 \text{ lm} \cdot \text{W}^{-1}$. Pro věkovou skupinu ⟨10,19⟩ dané maximum lze najít v hodnotě $K_m = 685,4588 \text{ lm} \cdot \text{W}^{-1}$ a pro skupinu ⟨20,29⟩ hledané maximum je v $K_m = 683,4781 \text{ lm} \cdot \text{W}^{-1}$. U dalších věkových skupin je již maximum ve známé hodnotě $K_m = 683 \text{ lm} \cdot \text{W}^{-1}$.

4. Vnímání světla

4.1 Vliv světla na biologické rytmy

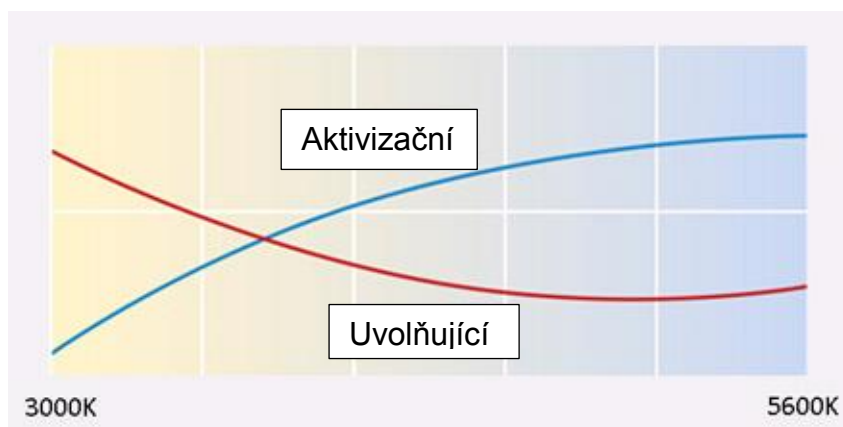
Mimo aspektů vizuálního vnímání má kvalita osvětlení rovněž důležitý nepřímý dopad na cirkadiální fyziologické procesy. Kvalita světla ovlivňuje metabolismus a hormonální rovnováhu v lidském těle. Cirkadiální rytmus především ovlivňuje denní světlo. Světlo určitých barevných vlastností může zamezit brzké únavě i v případě činnosti, která nevyžaduje plnění konkrétních úkolů. Níže jsou uvedeny obecné vlivy kvality osvětlení, které byly dosud prokázány: [61]

- Vliv na délku a hloubku spánku
- Řízení fází spánku a činnosti

- Nárůst výkonu

Obvyklými cirkadiánními rytmy se řídí tělesné funkce. Veškeré biochemické procesy dosahují v rámci cirkadiánního rytmu určitých minimálních a maximálních hodnot a jsou řízeny hormony a enzymy. Melatonin vyprodukovaný večer způsobuje únavu. Z různých pokusů vyplývá, že modré světlo (přibližně 480 nm) může potlačit tvorbu melatoninu. Modré světlo má aktivující vliv na lidské tělo, zatímco červené světlo spíše uvolňuje [Obr. 19]. [61]

Biologický vliv modrého světla se v současnosti používá při doplnění denního světla umělým osvětlením. Moderní osvětlovací systémy umožňují dynamické přizpůsobení teploty chromatičnosti a množství světla. Tyto systémy se v současnosti používají především v kancelářích, ale lze je použít rovněž v domácnostech, například v bytech s malým množstvím denního světla nebo během ročního období s menším množstvím denního světla. [61]



Obr. 19 Aktivizační a uvolňující vliv různých barev světla [61]

Typický cirkadiánní rytmus fyziologických procesů u člověka, který vstává brzy ráno, obědvá okolo poledne a v noci spí (rytmus může být ovšem v konkrétních případech ovlivněn různými okolnostmi, jako je teplota prostředí, doba jídla, stres, cvičení aj.) probíhá zpravidla takto: [60]

- 2:00 hod – nejhlubší spánek
- 4:30 hod – nejnižší tělesná teplota
- 6:45 hod – nejprudší vzestup tlaku krve
- 7:30 hod – končí vylučování melatoninu
- 10:00 hod – největší čilost
- 14:30 hod – nejlepší koordinace
- 15:30 hod – nejkratší doba reakce
- 17:00 hod – největší kardiovaskulární účinnost a svalová síla
- 18:30 hod – nejvyšší tlak krve
- 19:00 hod – nejvyšší tělesná teplota
- 21:00 hod – začíná vylučování melatoninu
- 22:30 hod – jsou potlačeny pohyby střev [60]

4.2 Poruchy biologických rytmů

Nesoulad mezi průběhem střídání světla a tmy a denním režimem může vyvolávat lehčí nebo i velmi závažné poruchy. Takové poruchy a nutnost vyrovnávat narušení cirkadiánního rytmu vyvolává náhlé přemístění člověka do jiného časového pásma, například při cestách na jiné kontinenty. Proto třeba sportovci při účasti na světových soutěžích cestují ze vzdálených zemí buď bezprostředně před závodem, nebo lépe s takovým časovým předstihem, aby se jejich cirkadiánní rytmus mohl plně vyrovnat s místními podmínkami. [60]

Velmi nepříznivě se mohou na člověka projevit rozdíly v synchronizaci biologických rytmů zejména v případech, kdy vznikají časové posuny jednotlivých činností proti dennímu rytmu, jako tomu je u pracovníků s posunem směn, při práci v noci (například i studium), kdy se sice aktivity posunují do noční doby, ale není možné přitom ovlivňovat produkci hormonů (melatonin či kortizol), tělesnou teplotu atd. U takových osob se časem zvyšuje výskyt srdečních chorob, potíží se zažívacím traktem, poruch spánku i jiných obtíží. [60]

Narušení cirkadiánních rytmů se objevuje ve velké míře právě v takových případech, kdy nejsou úroveň a trvání denního osvětlení v dostatečné synchronizaci. Toto lze pozorovat zejména v zimním období s krátkým dnem a v krajinách s vyšší zeměpisnou šířkou. K tomu ještě mohou přispívat místní podmínky, například vysoká a hustá zástavba omezující přístup denního světla, celodenní pobyt v místnostech s nedostatečným denním osvětlením nebo s pouze umělým osvětlením a podobně. [60]

U významné části populace při takovém deficitu světla vznikají charakteristické příznaky a obtíže, jako zvýšená únava, ospalost, snížená aktivita a výkonnost, apatie, růst tělesné hmotnosti, bolesti hlavy atd. [60]

Tyto příznaky se označují jako syndrom SAD (seasonal affective disorder), který je možno popsat jako sezónní rozladění organismu. Například v USA celkem postihuje podle odborných podkladů tento syndrom v období od října do března v průměru přibližně 5% obyvatelstva, ale v New Yorku vzhledem k nepříznivým podmínkám (velmi vysoká zástavba) a větší zeměpisné šířce je tento podíl asi 10%. [60]

Obtíže vznikající při tomto syndromu je možné odstranit nebo alespoň zmírnit pravidelným působením umělého osvětlení s vysokou úrovní a po přiměřeně dlouhou dobu (jde o intenzity osvětlení v tisících luxů a potřebná doba pobytu při tomto osvětlení je závislá na jeho úrovni). [60]

Z uvedených údajů je zřejmé, že při návrhu všech druhů osvětlení – umělého, denního i sdruženého, je nezbytné vždy posuzovat nejen vlastní podmínky vidění pro dané zrakové úkoly podle příslušné normy, ale hodnotit komplexně celkový vliv všech druhů osvětlení na člověka v jejich vzájemné návaznosti a překrývání se během celého dne i roku. Jen tak je možné vytvořit pro uživatele vnitřních prostorů budov nejen dobré podmínky osvětlení nezbytné pro vidění, ale také optimální životní

prostředí během celého života od nejranějšího věku, důležitého pro zdravý vývoj, až po pokročilý věk se stoupajícími nároky na úroveň a kvalitu osvětlení při snižujících se schopnostech zrakového orgánu. [60]

To ovšem předpokládá důslednou koordinaci a součinnost všech druhů osvětlení již od počátku projektového řešení budovy až po realizaci i správné užívání při provozu budovy v souladu s charakterem a časovým i místním rozložením všech činností uživatelů jednotlivých vnitřních prostorů. [60]

4.3 Denní osvětlení

Denní neboli přirozené osvětlení je všechno sluneční světlo, které se dělí na dvě části. Jedna část dopadá na Zemi jako přímé sluneční světlo a druhá část je rozptýlena v atmosféře. Při přímém slunečním záření mohou hodnoty intenzity osvětlenosti v teplý letní den dosahovat až 100 000 lx. Spektrální složení denního světla je v průběhu dne proměnlivé, záleží na výšce Slunce nad obzorem a na stavu oblačnosti. Kvůli proměnlivosti denního osvětlení je intenzita vyjádřena pomocí relativní veličiny, tzv. činitele denní osvětlenosti e [%]. Je definován jako poměr osvětlenosti denním světlem v daném bodě dané roviny E_{intr} [lx] k současné srovnávací osvětlenosti venkovní nezacloněné roviny E_{extr} [lx]. Toto platí za předpokládaného nebo známého rozložení jasu oblohy. Přímé sluneční světlo je při obou měřeních vyloučeno. [62]

$$e = \frac{E_{intr}}{E_{extr}} * 100 \quad (\%) \quad (4.1)$$

Činitel denní osvětlenosti neudává intenzitu osvětlení v daném okamžiku, ale pouze procento osvětlenosti, které se z celkového denního oblohového záření dostane osvětlovacími otvory do měřeného místa v místnosti. Je tedy kritériem kvality osvětlovacích otvorů. Pro osvětlení vlastního zrakového úkolu je uvažováno o světle pronikající do osvětlovaného prostoru z oblohy, o světle odraženého od venkovních objektů a o světle odraženého od vnitřních povrchů v místnosti. Člověk je z přírody adaptován na světlo přicházející shora, to obvykle zaručuje dostatečnou intenzitu osvětlení na daném pracovním místě. Pro obytné prostory by ale horní osvětlení působilo psychicky negativně, proto je pro člověka lepší boční okenní osvětlení. [62]

4.3.1 Měření a hodnocení denního osvětlení

Měření může být realizováno jako měření celkového osvětlení místnosti na srovnávací rovině (vodorovná rovina, ve výšce 0,85 m nad podlahou) v předem stanovených kontrolních místech tvořících pravouhlou síť bodů, nebo jako měření osvětlení pracovní plochy na jednotlivých pracovních místech v rovině zrakového úkolu. Hodnocení denního osvětlení vychází z maximálních, minimálních, popř. průměrných hodnot činitele denní osvětlenosti a tzv. rovnoměrnost osvětlení, která je

definována jako poměr minima a maxima změřených hodnot činitele denní osvětlenosti. [62]

$$r = \frac{e_{min}}{e_{max}} \quad (4.2)$$

Rozhodujícím kritériem pro určení nároků na denní osvětlenost uzavřených prostorů je zraková náročnost trvale vykonávané činnosti v tomto prostředí. Minimální povolené hodnoty činitele denní osvětlenosti jsou stanoveny tak, aby při srovnávací osvětlenosti 5000 lx byla intenzita osvětlení vnitřního prostoru dostačující pro předpokládanou činnost. Pro trvalý pobyt lidí ve vnitřním prostoru by mělo být zajištěno vyhovující denní osvětlení. Minimální hodnota činitele denní osvětlenosti e_{min} nejméně 1,5%, popř. průměrná hodnota e_{prum} nejméně 3%. I když pro danou zrakovou činnost stačí nižší hodnoty. Vhodná rovnoměrnost se podle náročnosti práce pohybuje od 0,15 do 0,3. [62]

4.4 Umělé osvětlení

Umělé osvětlení není přirozenou složkou životního prostředí, a tedy nevyhovuje zcela fyziologické potřebě zrakového vjemu. Vývoj zrakového systému od světločivných skvrn u primitivních živočichů až po zrakový vjem člověka probíhal za pravidelných podmínek (střídání den a noc) i nepravidelných (počasí) střídání intenzity i kvality osvětlení. Zdroje umělého světla, které jsou v současnosti k dispozici, nedokáží zcela nahradit svou kvalitou denní světlo. Přes značný technický pokrok chybí umělému osvětlení většinou právě dynamika denního světla a jeho spektrální složení je pro člověka obvykle méně příznivé. Umělé osvětlení nelze pro dlouhodobý pobyt považovat za zcela rovnocenné dennímu. Byly prováděny pokusy na zrakovou činnost, při které byly vyhledávány číslíce v souvislém textu, a prokázalo se, že i při neměnném osvětlení je za jinak stejných podmínek zrakový výkon výrazně vyšší při denním osvětlení, než při umělém. Při umělém osvětlení byl pozorován rychlejší nástup únavy a větší růst počtu chyb. [63]

4.4.1 Měření a hodnocení umělého osvětlení

Neměnnost umělého osvětlení umožňuje provést měření osvětlenosti v absolutních jednotkách luxech. Denní světlo musí být během měření zcela vyloučeno. Vlastní měření je voleno podle konkrétních podmínek jako měření prázdné místnosti (v kontrolních bodech srovnávací roviny daných příslušnou technickou normou), nebo měření ve vybavené místnosti. Na základě měření je stanovena průměrná hodnota osvětlenosti E_p a minimální hodnoty E_{min} a též rovnoměrnost umělého osvětlení r . [63]

$$r = \frac{E_{min}}{E_p} \quad (4.3)$$

Podle druhu zrakové činnosti rozlišuje norma kategorie osvětlení A, B, C, D (s postupně nižšími nároky na zrakovou činnost). V kategoriích A, B a C je rozhodujícím kritériem zrakový výkon před zrakovou pohodou, v kategorii D naopak zraková pohoda předchází požadavky na zrakový výkon. Požadavky na zrakový výkon se staví podle charakteristiky činností a podle kontrastu barev a jasů kritického detailu a jeho okolí (kritický detail je velikost nejmenší nutně rozlišitelné podrobnosti nutné pro uvažovaný zrakový výkon). Bez ohledu na zrakovou činnost udává norma nejmenší přípustné hodnoty průměrné osvětlenosti E_p a rovnoměrnosti r pro celkové osvětlení podle délky pobytu osob v místnosti. [63]

4.5 Zásady dobrého vidění

Člověk již dlouhou dobu ví, že světlo je základ života, pohody a zdraví. Dostatečně osvětlený prostor motivuje člověka k činnosti, k práci, povzbuzuje jeho náladu a vytváří příjemnou atmosféru. Nedostatek světla naopak snižuje pracovní nasazení a bezpečnost. Zvyšuje se tím riziko chyb v práci a různých pracovních úrazů. Vnitřní prostory bývají osvětleny světlem denním, umělým nebo oběma současně (osvětlení sdružené). [64]

Umělé osvětlení slouží k vytvoření světelného klimatu v době, kdy denní osvětlení není dostatečné (stmívání, velká oblačnost) nebo je nelze využít (noc, prostory bez oken a světlíků). Osvětlení umělými zdroji světla musí respektovat kvalitativní a kvantitativní parametry světla a vytvořit podmínky pro zrakovou pohodu, která ve značné míře ovlivňuje pracovní výkon. Problematikou osvětlení se zabývá stále větší počet odborníků z různých oblastí – architektů, světelných techniků, hygieniků, fyziologů a psychologů. Jejich pohled může být rozdílný, ale cíl je pro všechny společný, a to dosáhnout dobrého světelného prostředí. [64]

Charakteristickou vlastností umělého světla je relativní stálost v čase. Výhodou je, že ho můžeme různě upravovat a využívat podle potřeby daného prostoru. Nevýhodou je odlišnost spektrálního složení od denního světla, a tím vliv na vnímání barev. [64]

4.6 Zásady umělého osvětlení

Celkové osvětlení může být přímé (všechno světlo od zdroje dopadá na pracovní plochu nebo podlahu), polopřímé (část světla dopadá na stěny a strop), smíšené (světelný tok je rozptýlen do prostoru všemi směry) a nepřímé (všechno světlo dopadá na strop a prostor je osvětlen odraženým světlem). Polopřímé osvětlení působí na člověka příznivě a je proto nejvíce užíváno. [64]

V našich podmínkách je tradičně obvyklé osvětlení celkové. S celkovým osvětlením vystačíme však pouze v některých obytných a bytových interiérech. I zde je vykonávána celá řada činností, při kterých je nezbytné místní osvětlení. Na pracovištích se setkáváme často s osvětlením sdruženým, kdy umělé osvětlení doplňuje osvětlení denní. V průmyslu, je sdružené osvětlení obvyklé např.

jednopodlažních hal se střešními, zejména lucernovými světlíky, ale také dnes v mnoha obchodech a nákupních centrech. Každý typ osvětlení má své výhody a nevýhody, proto by volba osvětlovacího systému měla být řešena především se znalostí práce, která bude na daném místě vykonávána. Umělé osvětlení se navrhuje a posuzuje tak, aby vyhovovalo všem zrakovým úkolům v daném prostoru. [64]

Musí být dodrženy tyto požadavky:

Odpovídající úroveň osvětlení podle druhu práce

- Rovnoměrnost osvětlení
- Přiměřené rozložení jasů ploch v zorném poli
- Vhodný převažující směr osvětlení a svítivost
- Omezení oslnění
- Vhodné spektrální složení světla zdroje a přiměřené podání barev
- Možnost použití místního přisvětlení a regulace celkového osvětlení
- Údržba a pravidelná kontrola osvětlovací soustavy
- Intenzita osvětlení musí být tím větší, čím menší detaily musí člověk okem rozeznávat

4.7 Návrh osvětlovací soustavy vnitřních prostor

Na základě parametrů osvětlení se nejprve provede výběr použitelných světelných zdrojů. Světelné zdroje by měly odpovídat různým požadavkům, jak z hlediska světelných vlastností, tak i místu, kde světelný zdroj bude umístěn. Přitom je třeba přihlídnout i k ekonomickým ukazatelům (měrný výkon, cena). [17]

4.7.1 Volba světelného zdroje

Při výběru světelného zdroje a odpovídajícího svítidla pro osvětlení vnitřního prostoru se posuzují jeho světelně technické a technickoekonomické parametry v souvislosti s výchozími podklady pro návrh osvětlení, s požadavky na osvětlení, s druhem osvětlovací soustavy apod. Obecně se při volbě světelného zdroje posuzují tyto vlastnosti: [17]

- Měrný výkon (lm/W)
- Světelný tok (lm)
- Výkonová řada
- Život (h) a stabilita světelného toku během života
- Jakost podání barev a barevná tón světla
- Jas z hlediska oslnění
- Provozní vlastnosti tzn. funkční spolehlivost, poloha při svícení, povrchová teplota, vliv teploty okolí, vliv kolísání napětí, odolnost vůči otřesům, doba náběhu, doba znovuzapálení, odborná a časová náročnost obsluhy
- Rozměry a hmotnost (včetně předřadných přístrojů a dalšího příslušenství)
- Zvláštní vlastnosti, jako možnost regulace výkonu (stmívání), vliv frekvence spínání [17]

4.7.2 Volba svítidla

Volba svítidla úzce souvisí s výběrem světelného zdroje a druhu osvětlovací soustavy s ohledem na účel a charakteristiku prostoru a požadavky na osvětlení. Přitom se posuzují zejména tyto vlastnosti svítidla: [17]

- Světelný výkon (celkový světelný tok zdrojů ve svítidle)
- Rozložení svítivosti a jasu z hlediska zvoleného rozmístění, požadavků na osvětlení a omezení oslnivosti soustavy
- Provozní světelná účinnost, její časová stálost (charakteristika znečištění) z hlediska dosažení maximálního činitele využití při požadovaném rozmístění svítidel
- Elektrické krytí a konstrukční provedení se zřetelem k prostředí a podkladu pro montáž svítidla, odolnost v agresivním prostředí a požadovaná provozní poloha
- Rozměry, hmotnost, tvarové řešení
- Snadnost montáže, čištění a výměny světelných zdrojů
- Náběhový proud, kompenzace účinníku a míhání světla
- Doba znovuzapálení (u výbojových zdrojů)
- Možnost regulace světelného výkonu

Použití svítidla je více než u světelného zdroje předurčeno jeho konstrukcí a provedením, to znamená, že svítidla jsou vyvíjena k určitému účelu a jejich sortiment by měl všechny potřebné oblasti použití pokrývat. Varianty světelně technických vlastností svítidel se dosahuje stavebnicovým řešením a unifikací konstrukčních dílů. [17]

Provedení ekonomického rozboru je v kmenové normě předepsáno pro všechny kategorie osvětlení. V případě, že je návrh osvětlovacích soustav prováděn v několika variantách, umožňuje ekonomický výběr varianty ekonomicky nejvýhodnější za předpokladu, že všechny porovnávané návrhy splňují kvantitativní a kvalitativní požadavky na umělé osvětlení. [17]

5. Osvětlování vnitřních prostorů

Základním požadavkem je, že osvětlení (denní, umělé i sdružené) musí odpovídat nárokům vykonávané práce na zrakovou činnost, pohodu vidění a bezpečnost zaměstnanců v souladu s normovými hodnotami. Normovou hodnotou se rozumí konkrétní technický požadavek obsažený v příslušné české technické normě. Vládní nařízení ukládá pouze pravidelné čištění osvětlovacích soustav ve lhůtách odpovídajících nejméně normovým hodnotám, trvalou údržbu a instalaci nouzového osvětlení tam, kde při výpadku umělého osvětlení hrozí zvýšené riziko úrazů. [64]

5.1 Administrativní budovy

Administrativní budovy v současné době již neslouží pouze ke čtení a psaní papírových dokumentů, ale také k práci s počítači a komunikaci s okolím. Vzhledem k velkým rozměrům dnešních kancelářských prostorů je důležitou aktivitou pohyb a dobrá orientace v prostoru. Všechny uvedené činnosti mají rozdílné požadavky na osvětlení. Vedle zrakových úkolů je důležitým aspektem pro práci v administrativních budovách také pocit zrakové pohody. [17]

Při řešení osvětlení v administrativních budovách je potřeba dbát na to, že se nejedná pouze o osvětlení běžných kanceláří, ale o prostory, které se mohou různě prolínat a proměňovat v čase. Vzhledem k tomu, že v administrativních budovách pracuje široká skupina zaměstnanců s rozdílnými požadavky na osvětlení, je vhodné, aby osvětlovací soustava umožňovala individuální nastavení světelných podmínek. [17]

5.1.1 Požadavky na osvětlení

V kancelářích se nejčastěji vykonávají dva základní zrakové úkoly. Jedná se o psaní a čtení textových dokumentů na papíře a práce na počítači. Z těchto podmínek je třeba vycházet při samotném návrhu osvětlení. [17]

Pro samotné čtení a psaní papírových dokumentů je podstatné řešit, jak horizontální osvětlenost v místě zrakového úkolu tak směr dopadu samotného světla. Nevhodné nastavení osvětlení má vliv na zrakový výkon zaměstnanců. Práce na počítači se od práce s papírovými dokumenty liší. Obrazovka počítače je sama o sobě zdroj světla, tudíž nevyžaduje samostatné osvětlení, kdežto např. klávesnice osvětlení vyžaduje. U řešení světelných zdrojů se musí dbát na zabránění přímého oslnění od zdrojů (svítidla, okna). [17]

Jelikož je kancelářská práce kombinace dvou základních zrakových úkolů, je třeba je respektovat již při samotném návrhu vnitřního prostoru tzn., je třeba kontrolovat oslnění oblohou a přímým slunečním zářením, přímé oslnění od svítidel a nepřímé oslnění odrazem. [17]

5.1.2 Osvětlovací soustavy

Jedním z důležitých požadavků při návrhu administrativních budov je využití denního světla. Většina kancelářských budov využívají boční denní osvětlení, pokud jsou potřeba vyšší hladiny osvětlení, používá se kombinované osvětlení (boční a horní). Celkové osvětlení v administrativních budovách je prováděno pravidelným rozmístěním svítidel do prostoru. Tato svítidla zajišťují rovnoměrné osvětlení v celé místnosti, ale je osvětlena i ta část prostoru, která není využívána ke zrakovým úkolům. Velkým nedostatkem tohoto způsobu osvětlování je velká energetická náročnost a nemožnost individuálního přizpůsobení světelných podmínek na jednotlivých pracovištích. [17]

5.2 Průmyslové budovy

Průmyslové budovy mohou být jednopodlažní výrobní haly s různou výškou nebo vícepodlažní, kdy se charakterem blíží kancelářským prostorům. Podle stavebního řešení budovy je ovlivněna možnost využití denního světla, ale i volba umělého osvětlení. Do této oblasti jsou zahrnuty různé pracovní prostory a zrakové úkoly. Řešení osvětlení jednotlivých pracovišť jsou dělána dle charakteru prostoru a činnosti zde vykonávané. Může se jednat o malé dílny či velké průmyslové haly, od jemné práce až po hrubé práce v těžkém průmyslu. [17]

Osvětlení průmyslových hal může být zajištěno soustavou rovnoměrně rozmístěných svítidel, nebo přisvětlením daného zrakového úkolu (kontrola povrchové úpravy). Dále se v průmyslových budovách mohou nacházet velká zařízení, která mohou omezit přístup světla ke zrakovému úkolu. Při návrhu osvětlení je nutné vzít v potaz velké rozměry zařízení. Některé průmyslové budovy mají specifické podmínky, jako je zvýšená prašnost, vlhkost, nízké teploty atd., je tedy nutné použít speciální svítidla. [17]

Dobré je v průmyslových prostorech využít denního osvětlení, pokud to však nelze, tak je třeba zvolit kvalitní umělé osvětlení. Dobré světelné podmínky značně ovlivňují pracovní výkony. [17]

5.2.1 Požadavky na osvětlení

Rozsahy hodnot udržované osvětlenosti, indexu podání barev, indexu oslnění pro průmyslové prostory jsou uvedeny v ČSN EN 12464-1 (Světlo a osvětlení – Osvětlení pracovních prostorů). Je nutno zabránit přímému oslnění, které můžeme dosáhnout těmito způsoby: volba svítidel s menším jasnem v kritických úhlech, zvětšením úhlu mezi zdrojem oslnění a směrem pohledu a zvětšení jasů pozadí, proti kterému je zdroj oslnění pozorován. [17]

5.2.2 Osvětlovací soustavy

Vzhledem k pracovní době v průmyslových halách, je při návrhu osvětlení dobré využití denního světla. V průmyslových prostorách se využívají celkové, odstupňované i kombinované osvětlovací soustavy. [17]

5.3 Školní a vzdělávací zařízení

Hlavními zrakovými úkoly ve školních a vzdělávacích zařízeních jsou sledování, příjem a zaznamenávání informací. Osvětlení v tomto prostoru značně ovlivňuje zrakový výkon. Výzkumy účinků zvýšení kvality osvětlení ukázaly, že mají vliv na zlepšení činností v těchto prostorách vykonávaných. Světelné podmínky značně ovlivňují kvalitu příjmu a zpracování informací, protože světelné prostředí, kde se dotyční necítí dobře, velmi narušuje jejich koncentraci a snižuje schopnost

soustředit se. Prostory můžeme dělit podle funkce: běžné učebny, zvláštní učebny, dílny a laboratoře a přednáškové sály. [17]

5.3.1 Požadavky na osvětlení

Ve školních a vzdělávacích zařízeních je třeba zajistit vyhovující světelné podmínky, jak pro studenty tak jejich učitele (přednášející). Ze světelného hlediska je důležité, že během přednášek dochází ke střídání pozorovací vzdálenosti (pohled na tabuli a do sešitu), tyto vzdálenosti sebou nesou neustálou změnu zaostření a adaptace oka. Všem zrakovým úkolům, které se v těchto zařízeních dějí, je nutné přizpůsobit požadavky na osvětlení. Požadované hodnoty osvětleností jsou uvedeny v normě ČSN EN 12464-1. Velice důležité je ve školních zařízeních používání osvětleností, jak vertikálních, tak horizontálních. Je třeba posoudit, zda zvolit hodnoty osvětleností dle normy nebo přejít k vyšším hodnotám. Pro některé osoby je příjemnější vyšší intenzita osvětlenosti a nutí je k lepším výkonům. Dále je nutno řešit nároky pro osvětlení, kde se sdružují rozdílné generace. [17]

5.3.2 Osvětlovací soustavy

Je třeba využívat denního osvětlení, protože značně ovlivňuje pracovní výkon studentů a reguluje jejich únavu. Zvláště je dobré využití denního osvětlení u mladších věkových skupin, protože jejich zrakové ústrojí se rychle vyvíjí. V mladém věku při špatném osvětlení vnitřních prostor může docházet ke vzniku zrakových vad. [17]

Základním osvětlením ve školních a vzdělávacích zařízeních je soustava celkového osvětlení, možno doplnit místním osvětlením (osvětlení tabule). Nejčastěji se k osvětlení v učebně s pevným uspořádáním lavic využívá lineární svítidla umístěná do souvislých nebo přerušovaných řad. [17]

5.4 Zdravotnická zařízení

Ve zdravotnických zařízeních je mnoho prostorů, které jsou shodné s prostory v jiných objektech (recepce, komunikační prostory, denní místnosti atd.). Požadavky na osvětlení ve zdravotnických zařízeních lze dělit na dvě části: do první jsou zařazeni uživatelé, jako zdravotnický personál, lékaři, pacienti a servisní personál. Druhou částí potom jsou samotné prostory, jako lůžkové pokoje, vyšetřovny, jednotky intenzivní péče, operační sály a komunikační prostory. [17]

5.4.1 Požadavky na osvětlení

Požadavky na osvětlení se liší podle typů prostorů a jejich účelu. Ze strany lékařů musí osvětlení splňovat vysoké nároky na mnohdy těžké zákroky, proto je třeba volit vysoké intenzity osvětlenosti a také podání barev. Kdežto pacientům na lůžkových pokojích je třeba zajistit dobré světelné prostředí na čtení,

psaní a odpočinek. Na lůžkových pokojích je dobré osvětlením vytvořit příjemnou atmosféru, která má velký psychologický vliv. Pokoje pacientů jsou přes den osvětleny denním světlem, chodby a komunikace navazující na pokoje potom světlem umělým. Je nutné v těchto prostorách rozlišovat osvětlení pro denní a noční žití. [17]

5.4.2 Osvětlovací soustavy

Lékařské ordinace, se často nacházejí v obytné zástavbě, kde je přístup běžného denního světla. Zatímco nemocnice jsou rozsáhlé celky, kde není v celém prostoru možnost využít denního světla. Denním světlem jsou tedy osvětleny nemocniční pokoje. Jiné je to u jednotek intenzivní péče, kde je nutné přímé denní světlo eliminovat. [17]

Ve zdravotnických zařízeních je využíváno celkové a místní umělé osvětlení. Místní osvětlení se používá při osvětlení jednotlivých lůžek, vyšetřování a různých lékařských úkonech. [17]

5.5 Kvalita osvětlovací soustavy

Kvalita osvětlovací soustavy je chápána v několika úrovních a každý na ní nahlíží z jiného pohledu. Je závislá například na zkušenostech a profesi navrhovatele. Osvětlený prostor vyvolává v člověku různý vizuální zážitek, který zprostředkovává světelné záření. Vjem těchto zážitků souvisí s charakteristikou prostoru, povrchů, prostředí a charakterem osvětlení. Popis kvality osvětlovací soustavy vychází z výsledného vizuálního účinku osvětlení a zahrnuje parametry použitých technických prostředků. Kvalita je založena na třech základních projevech osvětlovací soustavy, kterými ji lze charakterizovat. Jedná se o zjevné projevy, skryté projevy a parametry technických zařízení. [65]

5.5.1 Zjevné projevy

Tento základní projev přímo souvisí s osvětlením nebo osvětlovací soustavou. Pozorovatel, který se nachází v osvětleném prostoru, je schopen tyto projevy popsat slovně. Tyto projevy lze rozdělit do následujících skupin. [65]

- Osvětlení je dostatečné/nedostatečné (týká se zřetelnosti úkolu)
- Prostor je potmělý/prosvětlený (celková úroveň osvětlení)
- Osvětlení je s rušivými prvky, bez rušivých prvků (oslnění, odlesky)
- Osvětlení je chladné/teplé (teplota chromatičnosti)
- Osvětlení je dramatické/klidné (směrové vlastnosti osvětlení)
- Osvětlení je přiměřené/nepřiměřené (estetický účinek)
- Světla vizuálně ruší/neruší (estetický účinek)

5.5.2 Skryté projevy

Tento projev osvětlovací soustavy souvisí s optickým zářením, ale přímo neovlivňuje vizuální vjem pozorovatele v rámci hodnoceného prostoru. Lze rozlišit dva základní případy. V prvním případě tyto projevy působí mimo daný prostor, a ve druhém případě nejsou vizuální povahy. Skryté projevy již může posoudit pouze odborná veřejnost. [65]

- Biologické účinky světla na člověka (biologické hodiny)
- Účinky optického záření na citlivé materiály (výstavní prostor)
- Účinky světla dopadající mimo osvětlovací prostor (obtěžující světlo)
- Tepelné zatížení prostoru

5.5.3 Parametry technických zařízení

Mezi technická zařízení lze považovat svítidla, světelné zdroje, řídicí systémy atd. Technické parametry je schopna posoudit opět pouze odborná veřejnost. Lze je pozorovat v těchto oblastech. [65]

- Bezpečnost
- Energetická náročnost
- Náročnost údržby
- Elektrické, akustické a teplotní parametry

5.6 Základy kvality osvětlovacích soustav

Je již uvedeno, z jakých pohledů může laická a odborná veřejnost hodnotit kvalitu osvětlovacích soustav, ale aby bylo možné kvalitu osvětlovacích soustav ovlivnit je třeba popsat příčiny, které se podílejí na vytváření třech základních projevů. Příčiny ovlivňující kvalitu osvětlení lze dělit: [65]

- Světelnětechnické hledisko
- Architektonické hledisko
- Provoznětechnické hledisko
- Hledisko sekundárních jevů

5.6.1 Světelnětechnické hledisko

Do této skupiny patří světelnětechnické veličiny. Lze je dělit do dvou skupin: normativní a doporučené veličiny. Normativní veličiny jsou základní světelnětechnické veličiny, které souvisí s bezpečností a zrakovým výkonem. Doporučené souvisí s kvalitativními charakteristikami osvětlení. [65]

5.6.2 Architektonické hledisko

Architektonické hledisko souvisí s estetikou a vjemem prostoru. Je vyjadřováno slovně nebo graficky. Lze rozlišovat přímé světelné účinky osvětlení a vizuální působení technických prostředků (svítidel). Toto hledisko nepodléhá žádným doporučením ani normám, avšak výrazně ovlivňuje výsledný charakter prostoru. [65]

5.6.3 Provoznětechnické hledisko

Mezi toto hledisko lze zařadit parametry a provozní vlastnosti svítidel, světelných zdrojů a technických zařízení, které se nacházejí v osvětlovacích soustavách. Určitá část těchto parametrů je řízena normou (krytí svítidel, třída izolace). [65]

5.6.4 Hledisko sekundárních vlivů

Do této skupiny můžeme zařadit projevy osvětlovacích soustav, které nesouvisí s vlastním osvětlením v prostoru. První příčinou je viditelné záření, které dopadá mimo osvětlovaný prostor a negativně ovlivňuje okolí. Druhou příčinou jsou nevizuální účinky osvětlovacích soustav. Může ovlivňovat tepelné zatížení prostoru, vliv osvětlení na biorytmy člověka atd. [65]

5.7 Zvýšení kvality osvětlovacích soustav

Z předchozích kapitol lze sepsat několik pravidel, která ovlivňují kvalitu osvětlovacích soustav: [65]

- Návrh osvětlení se řídí podle požadavků norem (částečně respektovány jen dvě hlediska)
- Kvalitu osvětlovacích soustav lze zvyšovat využitím doporučených parametrů, ale také lze využít nových výsledků ve výzkumech v oblasti světelné techniky
- Osvětlovací soustavy nelze pouze řídit podle energetické náročnosti nebo vizuálního vjemu
- Důležitá je při návrhu mezioborová spolupráce

5.8 Světlo a zdraví

Světlo je nejdůležitější podmínkou pro to, aby člověk dobře viděl. Pokud se po dlouhou dobu zabýváme intenzivní zrakovou činností (četbou ve špatných světelných podmínkách), zrak se velmi rychle unaví. Projevuje se to většinou pálením a bolestmi očí a hlavy, nepřesným viděním, podrážděním a celkovou únavou. Proto by péče o dobré světlo měla být součástí o naše celkové zdraví.

Je obecně známo, že zrak starších osob s pokročilým věkem slábne a toto je i nutné vzít v úvahu při navrhování správného osvětlení. Výzkumy prováděné v zahraničí prokázaly, že zrak starších osob potřebuje pro vykonání stejné práce a pro zachování stejné úrovně spolehlivosti rozlišování vyšší hladiny osvětlenosti. V tabulce je porovnána potřebnost intenzity osvětlení pro mladé okolo 20 let a pro starší osoby ve věku cca 60 let. [66]

Tabulka závislosti hladiny osvětlenosti na věku						
Stáří (roky)	Potřebná hladina osvětlenosti					
	lx	%	lx	%	lx	%
20	100	100	300	100	900	100
60	210	209	550	183	1100	122

Zdroj: Prof. Ing. Jiří Habel, DrSc. Vysokoškolská učebnice: Osvětlování, vydavatelství ČVUT, 1998, str. 161

Tab. 2 Hladiny osvětlenosti v závislosti na věku [66]

5.8.1 Využití světla

Světlo se využívá v mnoha oborech, mezi ně patří například komunikace, zdravotnictví a výrobní technologie. Dále se využívá v mnoha přístrojích, jako jsou LCD obrazovky, DVD přehrávače a mobily. S použitím světla se svařuje, řeže, ale i operuje. Pomocí světla pozorují lidé i vzdálená vesmírná tělesa, která vyzařují, odrážejí nebo jsou jiným způsobem ovlivněna světlem. Ve zdravotnictví se světlo využívá pro všechny možné účely, jako je léčba spánkových poruch, depresí, neonatologie, hojení ran, rehabilitace, lázeňství. Ze známých oborů se jedná o fototerapii (kap. 5.8.2) a fotonovou terapii (5.8.3). [56]

5.8.2 Fototerapie

Fototerapie je vědecky uznávaný obor, určený zejména k léčbě depresí a s ní spojených poruch spánku. Je používána i v jiných oborech, jako je neonatologie, hojení ran, rehabilitace, lázeňství. Tato léčba obvykle probíhá ambulantně u psychiatra nebo psychologa. Fototerapie se dá využít také k předejítí Jet-lagu, což je únava a porucha spánku plynoucí z narušení biorytmů po rychlém leteckém překonání několika časových pásem. Letecké společnosti při dlouhých přeletech nabízejí pasažérům speciální příkrývky hlavy, které v sobě mají zabudovaný světelný zdroj. Tímto má cestující možnost předejít při přeletu do jiného časového pásma únavě, dezorientaci, nevolnosti, bolesti hlavy a podrážděnosti. [42]



Obr. 20 Lampa pro léčbu Fototerapií [42]

Na [Obr. 20] lze vidět lampu pro léčbu fototerapií. Tato Lampa se dá využít pro domácí užití, ale je doporučeno vždy podstupovat kompletní léčbu ambulantně.

5.8.3 Fotonová terapie

Při fotonové terapii je používán ruční fotonový stimulátor (fotonová žehlička, biolampa), který vyzařuje infračervené světlo přímo na potřebné oblasti těla. Infračervené světlo vniká do pokožky a tak v ní pomáhá zlepšit krevní oběh. Fotonová terapie není invazivní metoda a navíc je bezpečná a bezbolestná. [45]

Přístroje pro fotonovou terapii navržené pro ošetření a zkrášlení pleti využívají přirozených světelných vln specifických délek, které jsou prostřednictvím LED diod předávány do kůže. Přístroje fotonové terapie jsou používány pro ošetřování poškození měkkých tkání a odstraňování kožních problémů, jako jsou prašivina, lišeje, opary, vředy, popáleniny a akné. Široká škála světla je obzvláště efektivní pro léčbu řezných poranění, jizev a dalších záležitostí spojených s povrchem kůže. Fotonová terapie vyrovnává odstíny kůže, podporuje cirkulaci krve a brzdí tvorbu melaninového pigmentu, bojuje proti akné a zánětům kůže, vyhlazuje droličky, jizvy a vrásky. [45]

Výhodou fotonové terapie je, že je používána přímo na problémová místa, čímž je zabráněno nežádoucím účinkům, které vznikají při léčbě léky. Naopak někdy se stává, že pacient se cítí uvolněnější i na neléčených místech, protože terapie změnila příznaky onemocnění. [45]



Obr. 21 Modré světlo – Fotonová terapie [45]

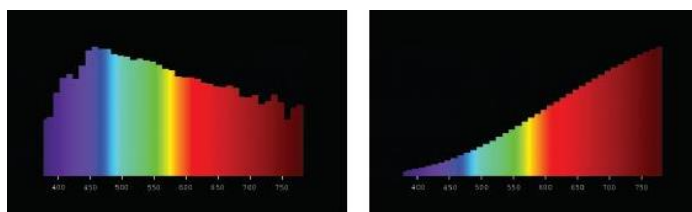
Na [Obr. 21] je znázorněná fotonová žehlička s modrým světlem, která je primárně určena na odstraňování poruch pokožky, jako jsou ucpané póry a pupínky. Dále se můžeme při léčbě fotonovou terapií setkat se zeleným světlem, které je zaměřeno na terapii kůže (poraněná pigmentová znaménka) a infračerveným světlem, které zvyšuje krevní oběh a zásobuje kůži kyslíkem.

6. Zdroje umělého osvětlení

Světelné zdroje se nazývají zařízení, která vyzařují optické, zpravidla viditelné záření. Mohou být přírodní, jako je měsíc, slunce apod. nebo umělé (svíčka, žárovka, zářivka apod. Strukturu třídění světelných zdrojů lze nalézt v [Příloze B]. [17]

6.1 Teplotní světelné zdroje

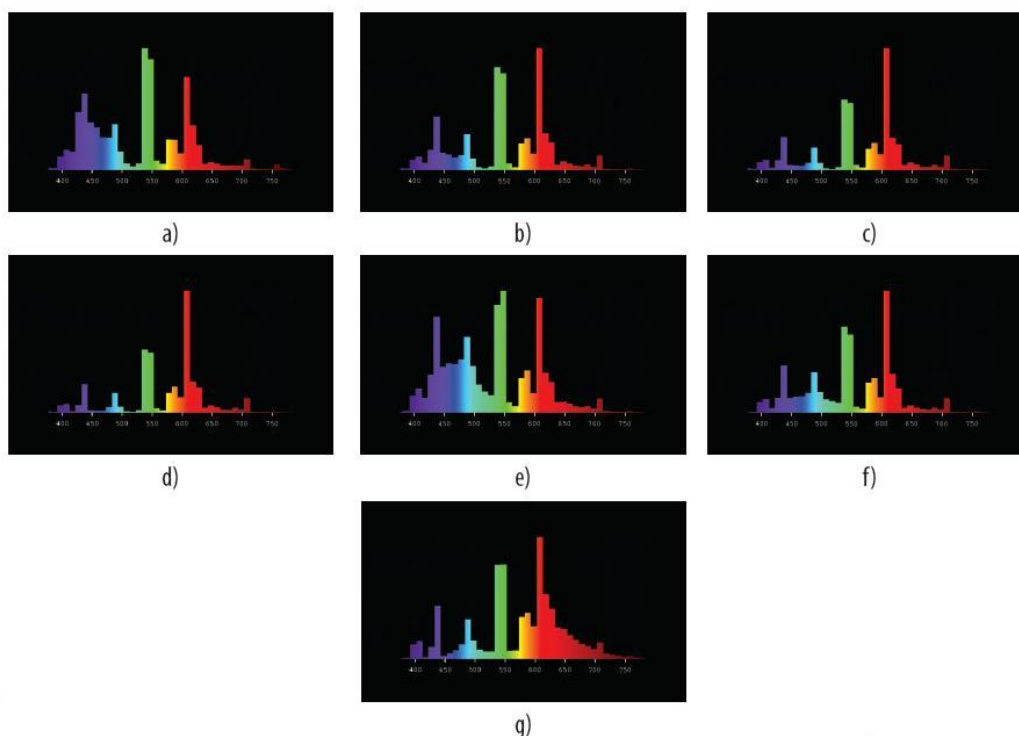
Základní funkcí teplotních světelných zdrojů je způsob ohřevu těles. K teplotním zdrojům patří nejen všechny druhy plamene, ale především žárovky. Ve všech případech je zdrojem záření rozžhavená pevná látka. U plamenných zdrojů jsou to drobné částičky uhlíků a u žárovek to je kovové vlákno rozžhavené na vysokou teplotu. Charakteristikou teplotních zdrojů je spojitě spektrum [Obr. 22] jim vyzařovaného světla, zároveň se však vyznačují velmi malou účinností přeměny elektrické energie na světelnou. [17]



Obr. 22 Poměrné spektrální složení denního světla D65 (1) a světla žárovek (2) [17]

6.2 Výbojkové světelné zdroje

Základní funkce výbojkových zdrojů jsou procesy související s průchodem elektrického proudu prostředím obsahujícím vhodné páry nebo plyny a jejich směsi. Jedná se zejména o páry rtuti, sodíku a halogenidů celé řady chemických prvků, zejména ze skupiny vzácných zemin, používané společně se vzácnými plyny (argon, krypton, xenon, neon). U výbojkových světelných zdrojů jsou jejich spektra nespojitá, jak je vidět na [Obr. 23], kde jako příklad jsou uvedena spektra nízkotlakých výbojkových zdrojů a to zářivek. [17]



Obr. 23 Poměrné spektrální složení světla vybraných typů zářivek [17]

- a) Zářivka chladně bílá s třípásmovým luminoforem
- b) Zářivka neutrálně bílá s třípásmovým luminoforem
- c) Zářivka teple bílá s třípásmovým luminoforem
- d) Zářivka typu Interna s třípásmovým luminoforem
- e) Zářivka chladně bílá (denní) de luxe
- f) Zářivka neutrálně bílá de luxe
- g) Zářivka teple bílá de luxe

6.3 Elektroluminiscenční světelné zdroje

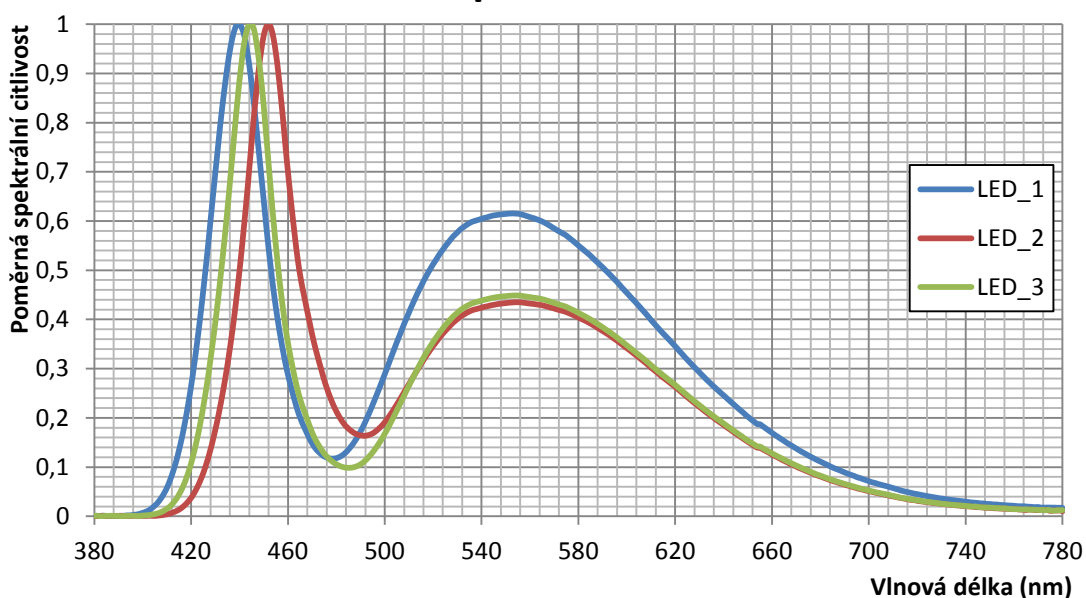
Do této skupiny světelných zdrojů patří světelné diody LED, laserové diody a elektroluminiscenční panely. Světelné a laserové diody jsou polovodičové součástky obsahující přechod PN, který emituje optické záření, je-li buzen průchodem elektrického proudu. V elektroluminiscenčních panelech je světlo buzeno elektrickým polem v pevné látce (luminoforu). Pro účely všeobecného, ale i speciálního osvětlení, jsou nejvýznamnější především světelné diody LED. [17]

7. Spektra světelných zdrojů

Bylo získáno několik spekter pro různé světelné zdroje (LED, Sodíková výbojka a různé typy zářivek), které bylo možné porovnat s poměrnou spektrální citlivostí lidského oka pro fotonické (denní) vidění. Jednotlivé získané průběhy spekter různých světelných zdrojů lze pozorovat na [Obr 24, 25, 26].

První diody vyzařovaly pouze světlo červené barvy, po nich přišly diody se zelenou, oranžovou, žlutou a nakonec modrou barvou. Tyto typy diod se vyznačují úzkou křivkou spektrálního složení. Na stupnici vlnové délky obsazují pouze několik desítek nanometrů. Až teprve příchod modré diody umožnilo vyvinutí diody bílé barvy zářící v celé oblasti viditelného spektra [Obr 24]. Tímto se výrazně rozšířila oblast použití světelných diod.

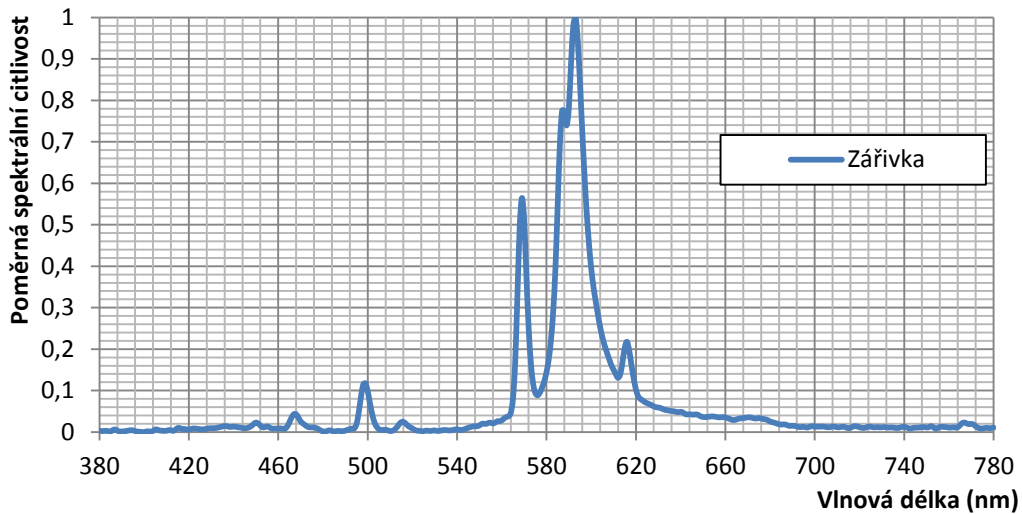
Spektra LED



Obr. 24 Spektrum vybraných LED

Na [Obr. 24] lze pozorovat typické spektrum několika typů bílého světla LED. Z principu funkce LED nelze získat bílé světlo. Toto bylo umožněno až s příchodem modrých LED. Bílé světlo LED lze získat dvěma způsoby. První spočívá v míšení světla červené, zelené a modré LED, u těchto postupů je však nutno využívat náročných hardware a software. Druhý způsob spočívá ve fosforescenci luminoforů. Tento princip se podobá principu vzniku světla v klasických zářivkách.

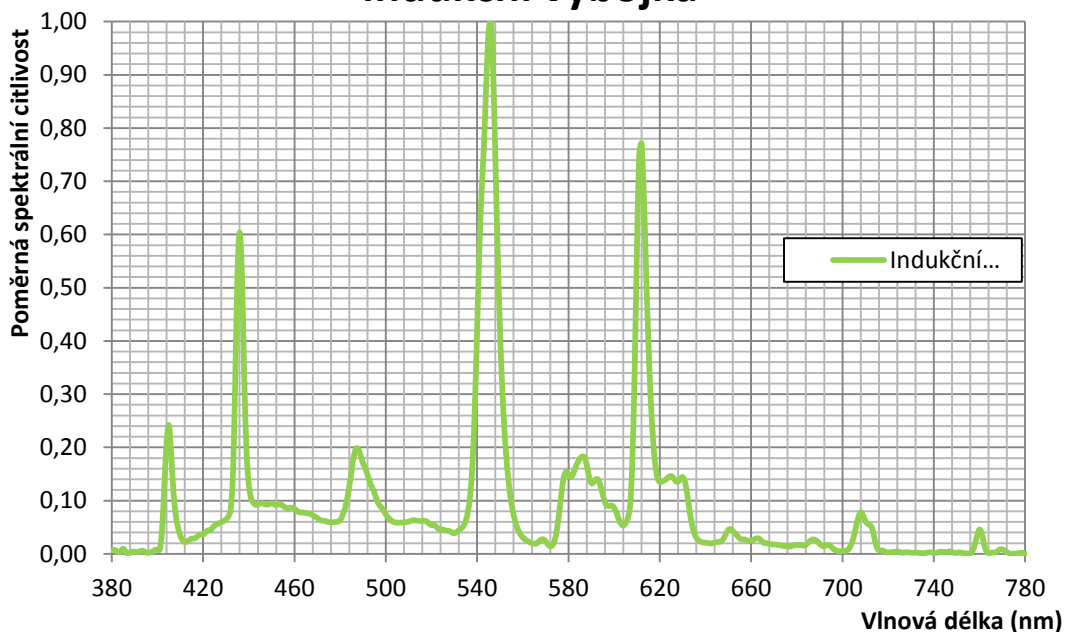
Zářivka



Obr. 25 Spektrum zářivky

Spektrum zářivky [Obr. 25] vykazuje celkem čtyři zřetelné spektrální čáry. Podle jejich vlnových délek lze určit i složení luminoforu na stěně zářivky. Nízký vrchol v oblasti žlutého světla například odpovídá sodíku, vrchol v oblasti tyrkysové barvy odpovídá vodíku. Zářivky se nejvíce používají pro vnitřní osvětlovací soustavy. Zejména v průmyslu, kancelářských prostorách, školách, obchodech, v restauracích, v nemocnicích, ale i v domácnostech.

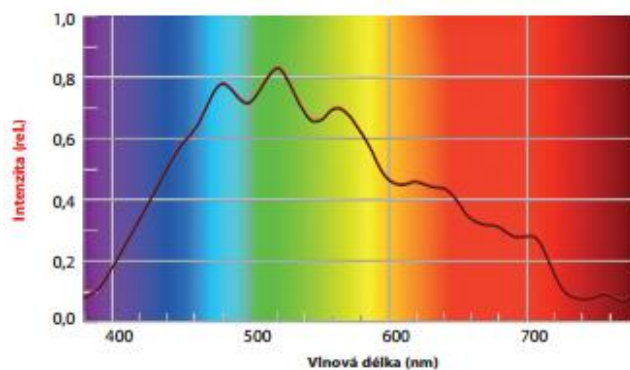
Indukční výbojka



Obr. 26 Spektrum indukční výbojky

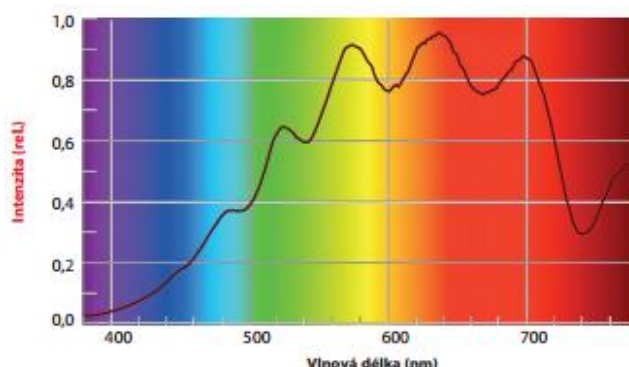
Na [Obr. 26] je vidět spektrum indukční výbojky s neutrální bílou barvou. S výbojkami se člověk může setkat ve venkovních, ale i ve vnitřních osvětlovacích soustavách.

Spektrum denního světla [Obr. 27] je spojité, nevykazuje žádná výrazná maxima. Nejintenzivnější světlo má vlnovou délku 522 nm, což dobře odpovídá maximu záření Slunce. Červené odstíny jsou co do intenzity poměrně slabé, což je způsobeno konstrukcí samotného spektroskopu a jeho předpokládaným použitím (absorpční spektra). [67]



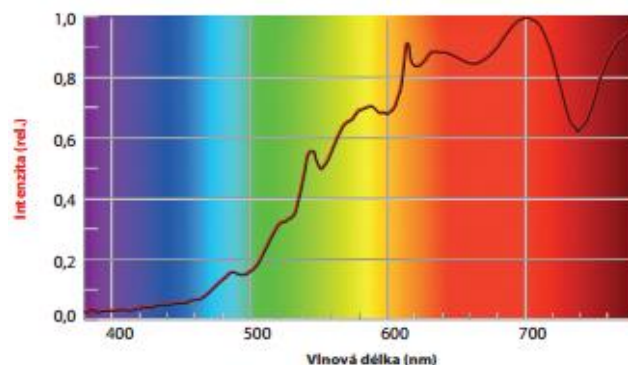
Obr. 27 Emisní spektrum denního světla [67]

Spektrum žárovky [Obr. 28] (plný svit) je spojité, obsahuje všechny barvy od fialové po červenou, byť různých intenzit. [67]



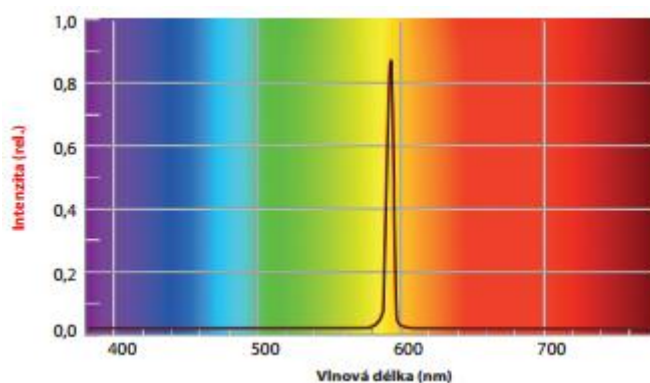
Obr. 28 Emisní spektrum žárovky (plný svit) [67]

Spektrum žárovky (slabě žhnoucí) [Obr. 29] je spojité. Obsahuje prakticky všechny barvy, při nižší teplotě (zde asi 1300 °C) je však chudší o odstíny fialové a modré barvy. Toto spektrum potvrzuje Wiennův posunovací zákon popisující záření absolutně černého tělesa. Čím je vyšší teplota tělesa vydávajícího světlo (nebo elektromagnetické záření), tím více se maximum křivky znázorňující intenzitu záření v závislosti na vlnové délce posunuje doleva, směrem k nižším vlnovým délkám. [67]



Obr. 29 Emisní spektrum žárovky (slabě žhnoucí) [67]

Spektrum sodíkové výbojky [Obr. 30] vykazuje jedno maximum o vlnové délce 592,6 nm. Jedná se o spektrum čárové. Světlo tvořené sodíkovou výbojkou je světlo monochromatické, neboť obsahuje pouze jednu barvu. Jeho odstín při pozorování okem je žlutooranžový. [67]



Obr. 30 Emisní spektrum sodíkové výbojky [67]

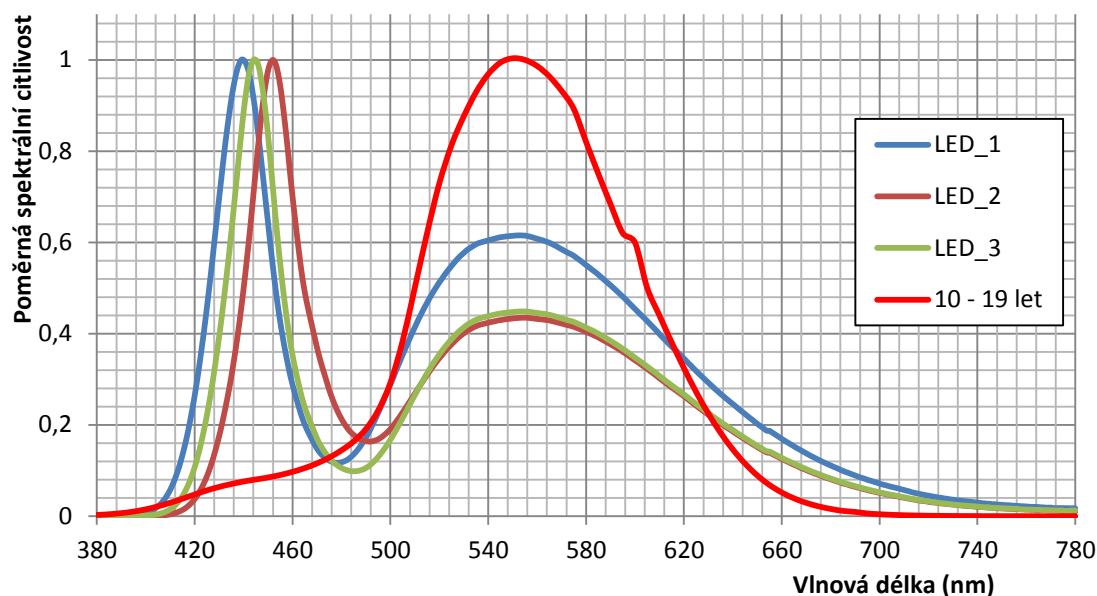
O emisním spektru se hovoří, pokud záření vzniká v určité látce (zahřátá kapalina). Emisní spektra prvků a jednoduchých látek jsou obvykle tvořena sadou spektrálních čar na tmavém pozadí. Pokud je pozorováno spektrum, které vzniklo průchodem bílého světla určitou látkou, je mluveno o spektru absorpčním. [59]

Emisní spektrum vzniká tak, že světlo, které vydává světelný zdroj, je rozloženo optickým hranolem (popřípadě mřížkou) a poté promítnuto na stínítko nebo přímo do oka pozorovatele. [67]

7.1 Rozdílné potřeby uživatelů

Tato kapitola se zabývá rozdílnou potřebou osvětlení různých věkových skupin. Je zde uvedeno několik srovnání věkových skupin s naměřenými emisními spektry světelných zdrojů. Jako ukázka je zde uvedena křivka pro fotopické vidění pro věkovou skupinu 10 – 19 let. Je srovnávána s několika světelnými zdroji, jako jsou bílé diody [Obr. 31], zářivky [Obr. 32] a indukční výbojky [Obr. 33].

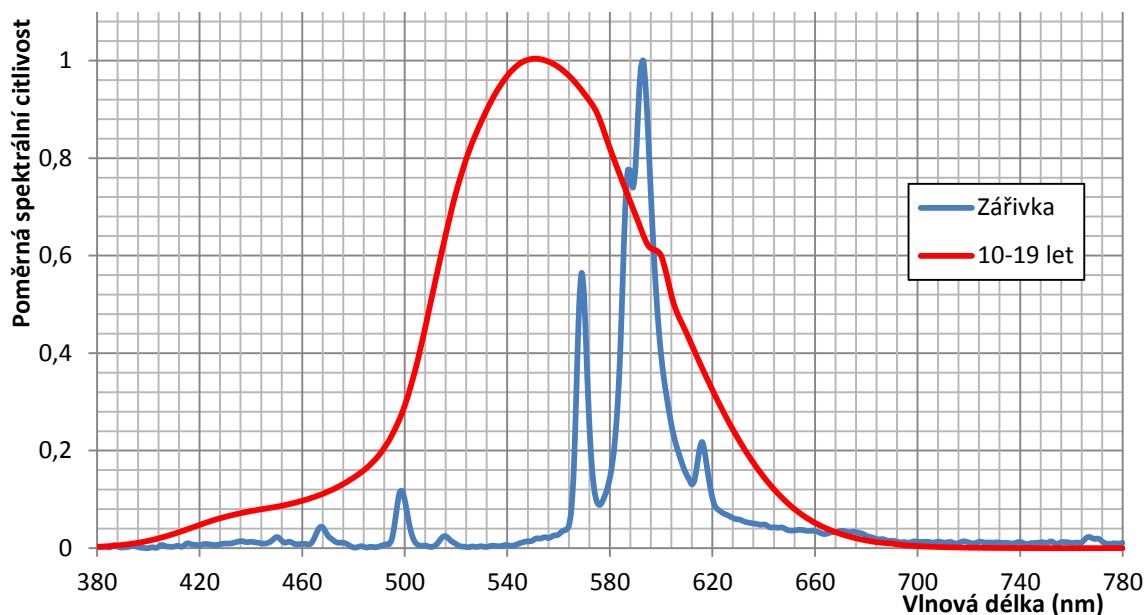
Spektra LED



Obr. 31 Spektrum vybraných LED s věkovou skupinou 10 – 19 let

Na [Obr. 31] je vidět, že bílé světlo LED má spojité spektrum, které se prolíná po celém spektru fotopického vidění. Je zde uvedeno pro srovnání několik druhů bílých LED. Špička průběhu LED v hodnotách okolo 450 nm je modrá barva elektromagnetického záření. Tato barva ovlivňuje tvorbu hormonu melatonin, který zabraňuje člověku proti únavě, proto by si neměl nikdo před spaním svítit LED světlem. Naopak tyto diody jsou výborné do provozoven se směnnou pracovní dobou. Když porovnáme průběhy hodnot s ostatními věkovými skupinami, viz [Příloha C], lze pozorovat nepatrné rozdíly v potřebě světla. Oproti ostatním spektrům světelných zdrojů bílé světlo zaujímá necelých 65% fotopického vidění věkových skupin.

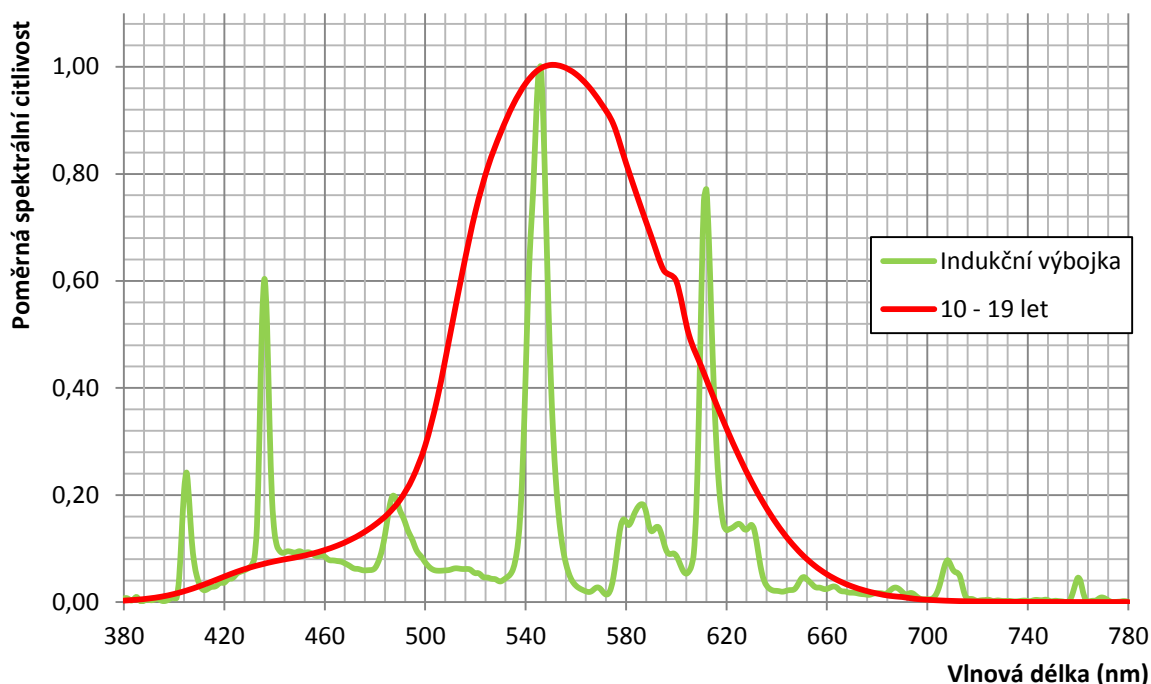
Zářivka



Obr. 32 Spektrum zářivky s věkovou skupinou 10 – 19 let

Zářivka [Obr. 32] má nespojité spektrum a s porovnáním s bílým světlem LED lze říci, že nezaujímá takovou procentuální část jako LED osvětlení. Špička zářivky, která se nachází v hodnotě přibližně na 590 nm (žlutá barva viditelného světla), je již mimo fotopické vidění věkových skupin. Zářivky zaujímají oproti LED podstatně méně viditelného elektromagnetického spektra. Je to přibližně 25%, což je oproti diodám značný posun směrem dolů. Zářivky se běžně využívají v průmyslových halách, administrativních budovách, školách atd., ale z vlastních průzkumů lze říci, že jejich pozici ve značné míře již zaujímají právě LED. Porovnání s dalšími věkovými skupinami lze nalézt v [Příloze C], kde lze pozorovat, jak se liší jednotlivé průběhy fotopických křivek vůči získaným emisním spektrům různých světelných zdrojů.

Indukční výbojka



Obr. 33 Spektrum indukční výbojky s věkovou skupinou 10 – 19 let

Spektrum indukční výbojky [Obr. 33] je nespojité. Opět oproti diodám zaujímá menší procentuální část v křivce pro fotopické vidění. Hodnota je přibližně stejná jako u zářivek asi 35%. Špičky maxim se nacházejí v modrém, zeleném a oranžovém elektromagnetickém spektru viditelného vidění. Indukční výbojky se využívají pro venkovní osvětlovací soustavy. Indukční výbojky a zářivky jsou tytéž zdroje, ale jejich odlišnost je v rozdílu teploty chromatičnosti, proto naměřená spektra vypadají odlišně.

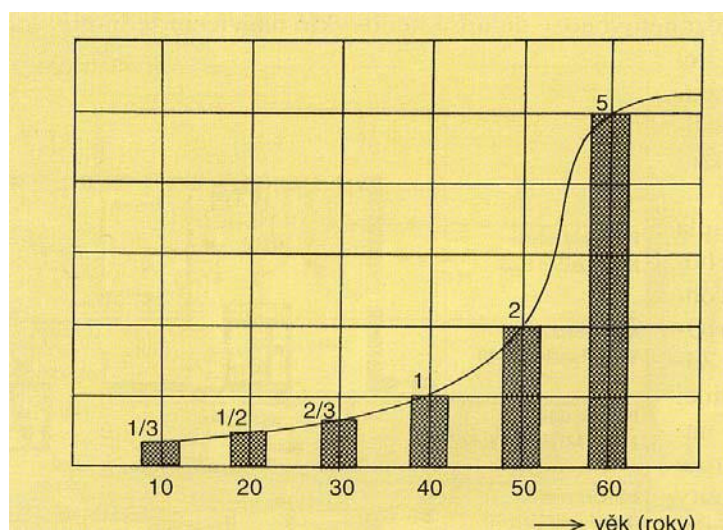
7.2 Požadavky na osvětlení

Intenzita umělého osvětlení je navrhována na požadovaný zrakový výkon. Požadované intenzity na osvětlení jsou uvedené v ČSN EN 12464-1, zabývající se osvětlením vnitřních pracovních prostorů. Přiřazené pracovní činnosti jsou uvedeny v [Tab. 3]. [16]

Doporučené rozsahy osvětlenosti podle CIE	
Osvětlenost [lx]	prostor, místo, druh činnosti
20-30-50	základní jednoduchá orientace v prostředí
50-75-100	jednoduchá orientace, kratší doba jednoduché činnosti
100-150-200	prostory, které nejsou dlouhodobě užívány pro pracovní účely
100-150-200	prostory obytné a společenské
200-300-500	zraková místa pro jednodušší, běžné pracovní úkoly (kanceláře, školy)
500-750-1000	zraková místa pro vizuálně náročnější déle trvající pracovní úkony
1000-1500-2000	zvláště náročné zrakové úkoly
více než 2000	velmi náročné zrakové úkoly

Tab. 3 Rozsahy osvětlenosti [16]

Z [Tab. 3] plyne skutečnost, že čím je obtížnější zrakový výkon, tím je vyšší intenzita osvětlení. Používají se vyšší hladiny osvětlenosti, protože při těžších úkonech lidské oko musí pozorovat větší detaily. Potřebná intenzita se zvyšuje s délkou zrakové činnosti, s rychlostí změn pozorovaného detailu a s menšími kontrasty pozorovaných ploch. Hodnota intenzity osvětlení pro stejný zrakový výkon se rovněž zvyšuje s věkem.



Obr. 34 Potřebná intenzita osvětlení pro stejný zrakový výkon při různém věku pozorovatele [57]

Na [Obr. 34] je graf znázorňující rozdílné věkové nároky na intenzitu osvětlenosti pro stejný zrakový výkon. Můžeme pozorovat, že s narůstajícím věkem se zhoršuje ostrost vidění.

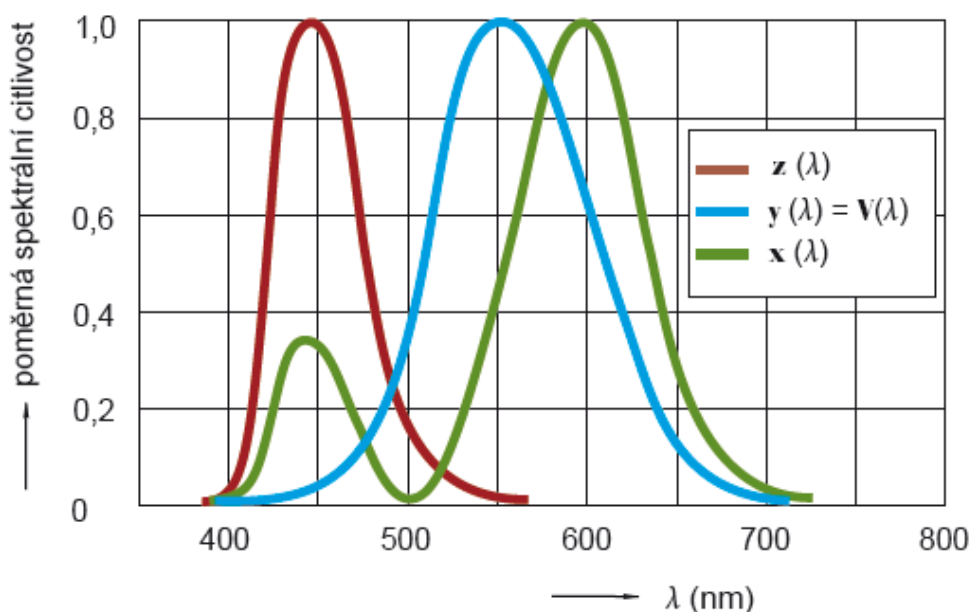
7.3 Trichromatické soustavy

K popisu barev se používají kolorimetrické soustavy [Obr. 35]. Pro přesné charakterizování barvy jsou potřeba tři údaje. Proto se kolorimetrické soustavy také nazývají trichromatické soustavy. Libovolný barevný podnět lze nahradit ediční směsí tří vhodně zvolených měrných barevných podnětů. [17]

Vizuální vnímání barev je zprostředkované třemi receptory se spektrální citlivostí ke krátkým, středním a dlouhým vlnovým délkám a je zhruba u 90 % populace shodné. [68]

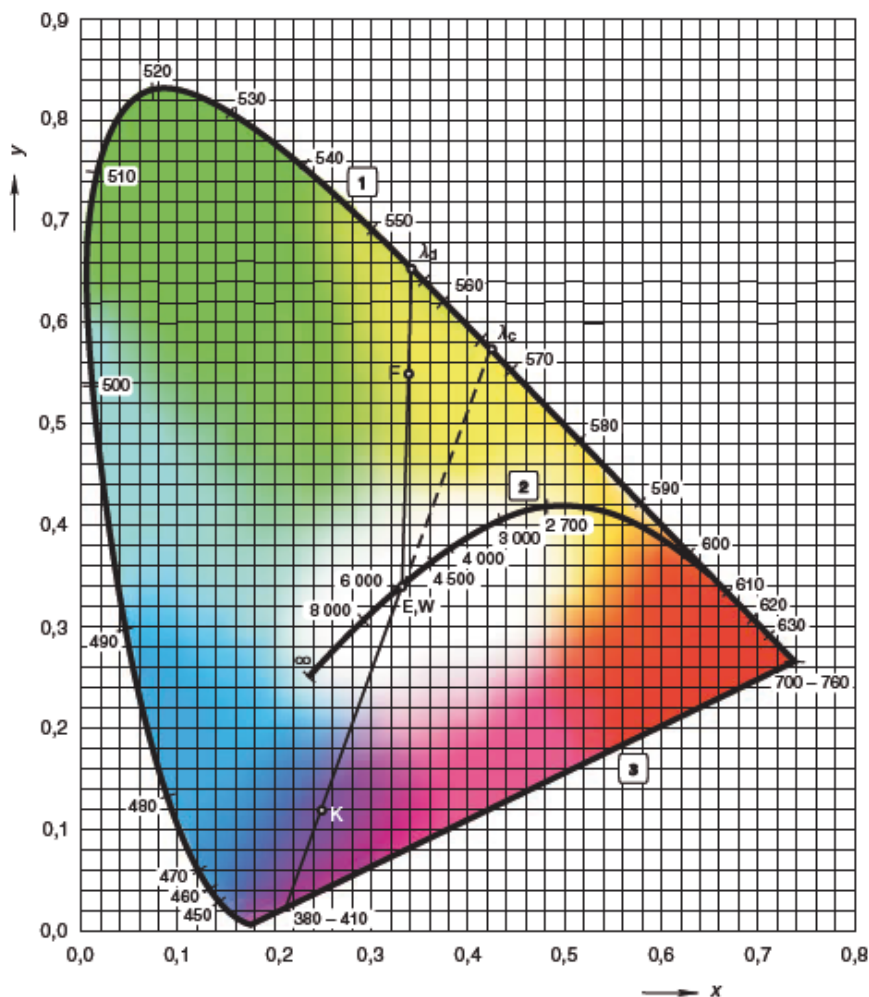
Ve 20. letech minulého století byla provedena řada experimentů, při kterých měli nezávislí pozorovatelé pomocí míšení tří barevných světel (stimulů) modelovat barvu referenčního zdroje. Tyto testy prokázaly, že výsledné receptury jednotlivých pozorovatelů byly velmi podobné. [68]

Z výsledků získaných u skupiny 17 britských pozorovatelů byl stanoven průměr a definovány tzv. trichromatičtí členitelé standardního pozorovatele. Trichromatičtí členitelé vyjadřují množství červeného, zeleného a modrého stimulu, které je potřeba k simulaci jakékoliv vlnové délky viditelného spektra. [68]



Obr. 35 Spektrální průběhy kolorimetrických koeficientů trichromatické soustavy XYZ [17]

K hodnocení barev se nejčastěji používá systém definovaný v roce 1931 mezinárodní komisí pro osvětlení CIE (Commission Internationale de l'Éclairage), který byl později doplněn a rozšířen. Systém, někdy označovaný také jako trichromatická soustava, je založen na skutečnosti, že vjem jakékoliv barvy je možné simulovat pomocí tří vhodně zvolených základních světel. Systém je definován hodnotami trichromatických členitelů $x(\lambda)$, $y(\lambda)$, $z(\lambda)$, které byly získány experimentálně. [68]



Obr. 36 Diagram chromatičnosti mezinárodní kolorimetrické soustavy XYZ v pravouhlých souřadnicích x , y [17]

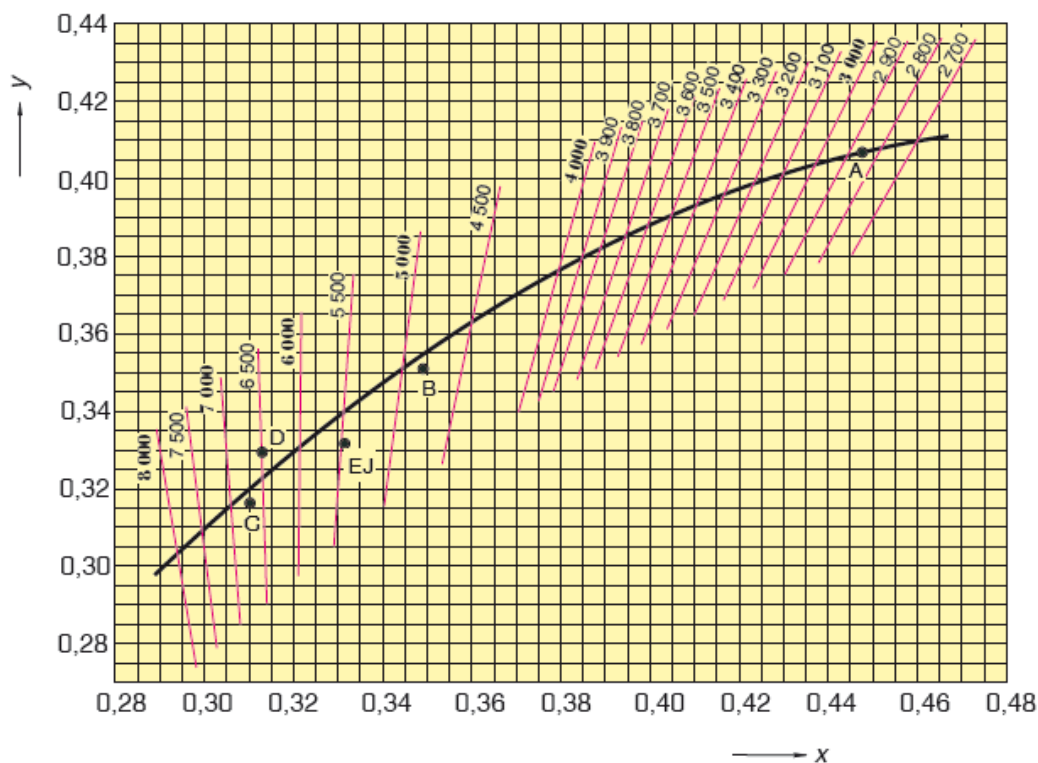
1. křivka spektrálních světél s vyznačenými vlnovými délkami v nanometrech
2. čára teplotních zářičů se stupnicí v kelvinech
3. přímka purpurů

λ_d náhradní vlnová délka k záření charakterizovanému bodem F

λ_c doplňková vlnová délka k záření k charakterizovanému bodem K v oblasti purpurů

Čára teplotních zářičů je s vyznačenými hodnotami teploty chromatičnosti T_c zakreslena na [Obr. 36] a podrobněji na [Obr. 37]. [17]

Barvu světla zdrojů, jejichž záření co do spektrálního složení odpovídá teplotnímu zářiči jen přibližně, lze popsat ekvivalentní teplotou chromatičnosti T_e . Pro zdroje, jejichž křivka spektrálního složení vykazuje prudké změny, je možné k přibližnému popsání barvy využít pojem náhradní teplota chromatičnosti T_n . Náhradní teplota chromatičnosti je definována teplotou chromatičnosti odpovídající bodu, který leží na čáře teplotních zářičů nejbližše bodu, jenž znázorňuje chromatičnost uvažovaného světla [Obr. 37]. [17]



Obr. 37 Čára teplotních zářičů v souřadnicích x, y s vyznačenými čarami konstantních teplot chromatičnosti (K) [17]

7.4 Teplota chromatičnosti

Teplota chromatičnosti [Tab. 4] charakterizuje spektrum bílého světla. Teplota chromatičnosti T_c je rovna teplotě černého zářiče, jehož záření má tutéž chromatičnost jako uvažované záření. Udává se v kelvinech (K). Zrak člověka má schopnost barevnou teplotu subjektivně přizpůsobovat světelným podmínkám (bílý papír vnímá jako bílý), i když je vlivem osvětlení zabarvený. Lidské oko dokáže takto adaptovat i obraz silně ovlivněný barevným světlem. To je způsobeno tím, že v lidském mozku je oblast, která si barvy pamatuje (jakou barvu by měl mít jaký předmět, se kterým přichází do styku). [54][2]

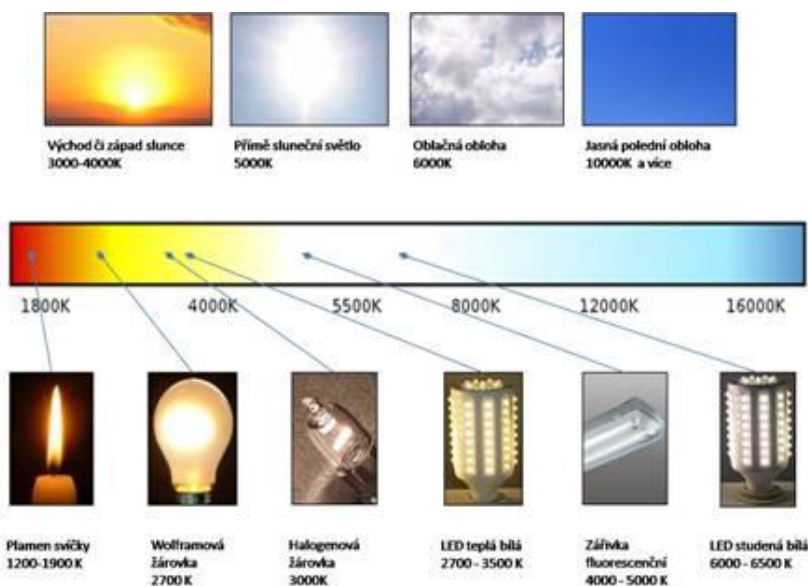
Teplota Slunce činí asi 5800 K, proto ho lidé vnímají jako žluté, i když jeho maximum vyzařování se nachází v zelené části viditelného spektra. Slunce je viděno ze Země jako červené jen při východu a západu. Tedy tehdy, kdy je nízko nad obzorem a sluneční světlo na Zemi dorazí až poté co vykonalo dlouhou cestu nižší a hustší vrstvou atmosféry. Molekuly vzduchu rozptylují více kratší vlnové délky světla (modré světlo), takže pozorovateli zůstane převážně červená. Díky rozptýlenému světlu se jeví obloha jako modrá. Obsahuje-li ovšem atmosféra velké množství vodních par, dojde k absorpci i vlnových délek odpovídajících modré barvě a na obloze tak vznikají mraky, které mají šedou až černou barvu. Dále například fotoaparáty se na barevnou teplotu musí nastavovat. [54][2]

Příklady teploty chromatičnosti:

Teplota	Příklad výskytu
1200 K	svíčka
2800 K	běžná žárovka
3000 K	studiové osvětlení, halogenová žárovka
5000 K	obvyklé denní světlo, zářivky
5500 K	fotografické blesky
6000 K	jasné polední světlo, oblačná obloha
7000 K	lehce zamračená obloha
8000 K	oblačno, mlhavo
10 000 K	silně zamračená obloha, jasná polední obloha

Tab. 4 Teplota chromatičnosti

V [Tab. 4] je znázorněno několik příkladů teplot chromatičnosti pro různé zdroje světla. Existují i vyšší teploty chromatičnosti, jako například při sváření elektrickým obloukem nebo modrá obloha v zenitu, kdy je teplota chromatičnosti až 12 000K.



Obr. 38 Teplota chromatičnosti různých zdrojů světla [54]

Na [Obr. 38] lze vidět teplotu chromatičnosti několika příkladů známých zdrojů světla. Vidíme zde například plamen svíčky, žárovky, zářivky a LED. U každého zdroje na stupnici je patrné, jaký má světelný zdroj barvu.

8. Zrakové testy

V současné době existuje již několik desítek zrakových testů na zjištění různých zrakových onemocnění a vad. Zrakové testy si každý člověk může vyzkoušet sám doma, ale slouží pouze pro orientační představu. Proto by měl každý jedinec, který má zrakový problém, absolvovat odborné vyšetření u příslušného odborníka. [53]

Pro vyšetření zraku se používají následující sady základních testů. Jsou to sady základních testů, do nichž spadají Snellenovy znaky a Jaegerovy čtecí tabulky. Druhou sadou jsou testy nadstavbové, které slouží k jemnějšímu dokorigování oční vady, vyšetření heteroforií, binokulární rovnováhy, kontrastní citlivosti, poruchy barvocitu. Poslední sadou jsou testy na vyšetření krátkozrakosti, které se mohou prolínat se základní sadou testů. [53]

Snellenovy znaky [kap 8.1] slouží k vyšetření zrakové ostrosti na dálku. Čtecí testy potom k diagnostice a korekce oční vady na čtení. Dále se provádějí speciální testy, kam spadá Astigmatický čtvercový [Obr 39e] a astigmatický vějířový test [Obr 39f], které diagnostikují orientaci astigmatismu. Dalšími testy na orientaci astigmatismu, které slouží už pro přesnou korekci velikosti, je astigmatický Brokův test [Obr 39g] a astigmatický znak [Obr 39h]. [53]

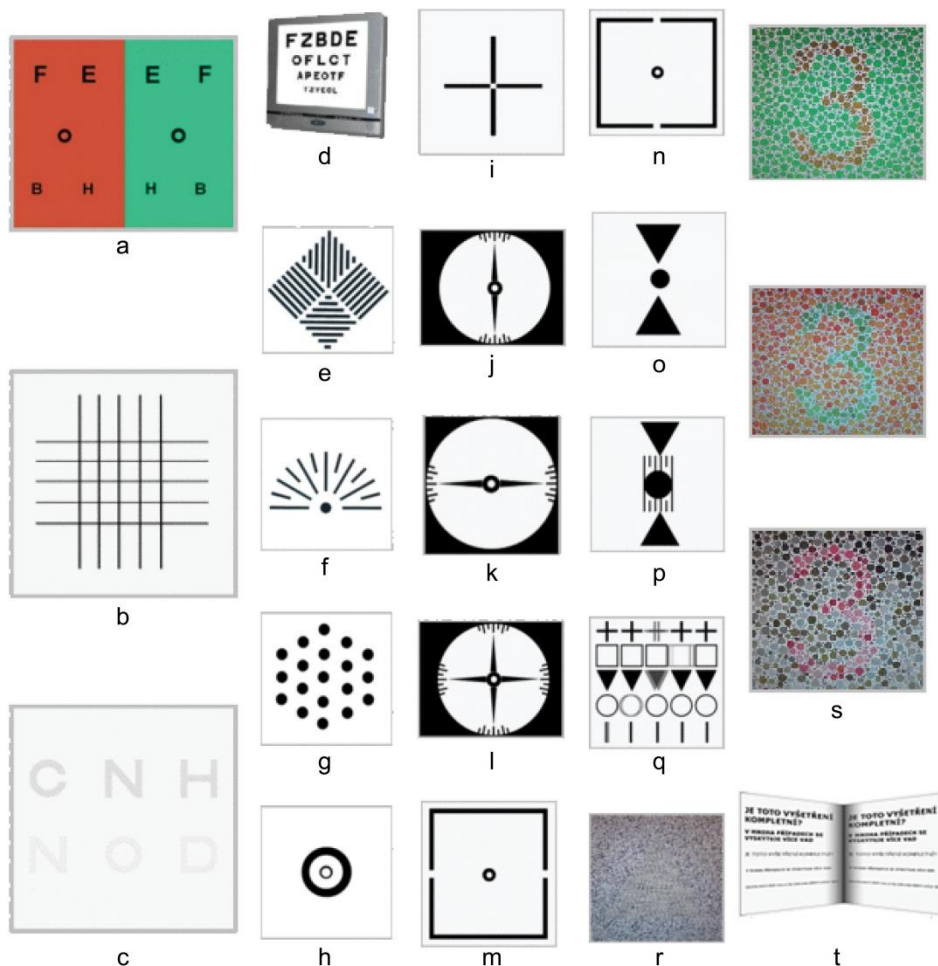
Mezi testy pro jemné dokorigování, které slouží k určení jemné hodnoty vady (+- 0,25 dioptrie) zařazujeme červeno-zelený [Obr 39a], mřížkový [Obr 39b] a kontrastní test [Obr 39c]. Červeno-zelený test funguje na principu odlišné lámavosti barev. Mřížkový test se využívá pomocí zkřížených cylindrů a kontrastní test pracuje na principu sníženého kontrastu předložené tabulky. [53]

Pro vyšetření heteroforií jsou známy tyto testy. Test křížový sloužící pro vyšetření skrytého šilhání. Dále existuje ručičkový horizontální [Obr 39j] a ručičkový vertikální [Obr 39k], který vyšetřuje vyšší stupně skrytého šilhání. Z této sady testů je dobré připomenout ještě dvouručičkový test [Obr 39l] sloužící pro vyšetření skrytého šilhání a odlišení cykloforií od zkreslení vlivem astigmatismu, hákový horizontální [Obr 39m] a hákový vertikální test [Obr 39n], stereotest [Obr 38o] a stereovalenční test [Obr 39p] a jako poslední testy z této skupiny jsou diferencovaný pětiřadý test [Obr 39q] a random-dot stereotest [Obr 39r]. Tyto testy slouží zejména k určení kvality prostorového vidění a jemné korekci skrytého šilhání. [53]

Další sadou pro vyšetření oční vady je vyšetření na binokulární rovnováhu, kam spadají dva základní testy. Test dvojřádkový a Cowenův slouží k jemné korekci obou očí při současném pohledu. U těchto testů se využívá polarizace a odlišného lomu barevného světla v oku. [53]

Důležitou sadou jsou testy pro vyšetření kontrastní citlivosti a poruchy barvocitu. Do této skupiny spadají dva důležité testy první z nich je Pelli-robsonův kontrastní test a druhým jsou Pseudoisochromatické ishiharovy tabulky [kap. 8.2]. [53]

Poslední sadou obsáhlého měření očních vad jsou testy na krátkozrakost, kde se můžeme setkat, s testy čtecími, které slouží k diagnostice a korekci oční vady na čtení. Tyto testy se mohou využít i pro ostatní sady vyšetření oční vady. Vůbec posledním známým testem, který se provádí je Amslerův test sloužící pro vyšetření patologie v zorném poli (tzn., může odhalit onemocnění sítnice už v jeho prvopočátcích. [53]



Obr. 39 Jednotlivé zrakové testy **a)** Červeno-zelený test **b)** Mřížkový test **c)** Kontrastní test **d)** Snellenovy znaky **e)** Astigmatický čtvercový test **f)** Astigmatický vějířový test **g)** Astigmatický Brokův test **h)** Astigmatický znak **i)** Křížový test **j)** Ručičkový horizontální test **k)** Ručičkový vertikální test **l)** Dvojrúčičkový test **m)** Hákový horizontální test **n)** Hákový vertikální test **o)** Stereotest **p)** Stereovalenční test **q)** Diferencovaný pětiřadý test **r)** Random-dot stereotest **s)** Pseudoisochromatické Ishiharovy tabulky **t)** čtecí test [53]

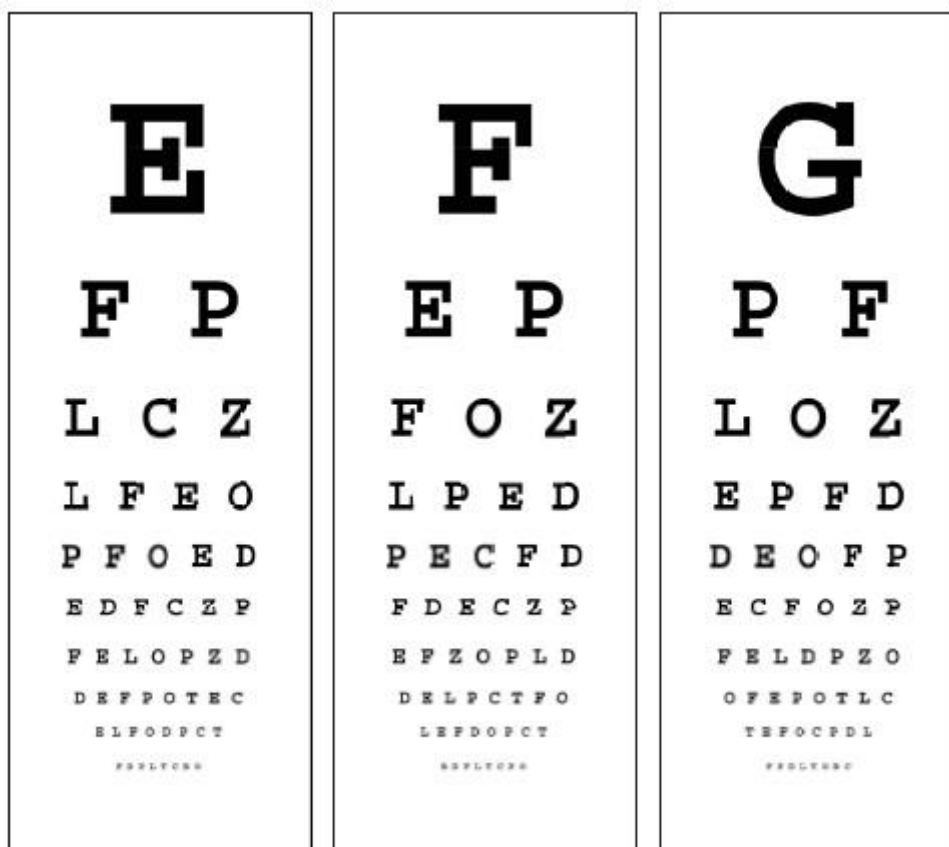
Na [Obr. 39] jsou znázorněny jednotlivé zrakové testy, které jsou popsány výše. Jedná se o testy na dalekozrakost, astigmatismus, krátkozrakost a poruchy barvocitu.

8.1 Snellenova tabule

Snellenova tabule [Obr. 40, Příloha D] se používá k určení diagnostiky ostrosti zraku. Byla navržena v roce 1862 holandským oftalmologem dr. Herrmanem Snellenem. Dnešní standartní tabulka obsahuje 11 řádků písmen definované znakové sady optotyp. Největší písmeno na vrcholu tabulky je vysoké 88 mm. Písmena na každém dalším řádku se zmenšují podle Snellenova zlomku. Nejdůležitějším řádkem na zkoušku zraku je řádek, kde jsou písmena vysoká 8,8 mm. Osoby, které největší písmeno nedokážou přečíst ani s brýlemi, jsou považovány za slepé. Například silná slabozrakost se definuje jako kvalita vidění udaná Snellenovým zlomkem 1/10 nebo méně (ve zdravějším oku, s nejlepší dostupnou korekcí). To značí, že silně slabozraký jednotlivec musí stát 6 metrů od objektu, aby ho viděl stejně jasně, jako normálně vidící osoba ze vzdálenosti asi 60 metrů. [55]

Průběh vyšetření u odborného lékaře probíhá následovně. Pozorovatel se postaví na vyznačené místo, kde si na vyzvání zakryje nejprve jedno oko, posléze může být zahájen test na Snellenově tabuli. Pozorovatel je postupně vyzván číst řádek s největším písmenem, až se dostane k již zmíněnému důležitému řádku, kde je velikost písmen 8,8 mm. Pokud pozorovatel není schopen tento řádek rozlišit, tak se jedná o zrakovou vadu. Tento postup probíhá i pro zakrytí druhého oka. Pokud test neproběhne v pořádku, může se přejít na další testy pro jemné dokorigování dioptrií.

Velkým nedostatkem této metody je, že není určena požadovaná osvětlenost Snellenovy tabule. Pouze norma Britského standardizačního institutu BS 4274:1968 uvádí 480 lx rovnoměrně rozložených na tabuli. Z průzkumů je ovšem zjištěno, že se hladiny osvětlenosti tabule pohybují v ordinacích v rozmezí od 60 do 1600 lx (průměr 447 lx). Z toho plyne, že mnohá měření jsou dosti pochybná. Pokud se při vyšetření dostáváme k takovým rozdílům hladin osvětlenosti, tak můžeme dostat značné rozdíly ve výsledcích, což zpochybňuje výstupy testování a znevýhodňuje některé pozorovatele. [55]



Obr. 40 Snellenova tabule

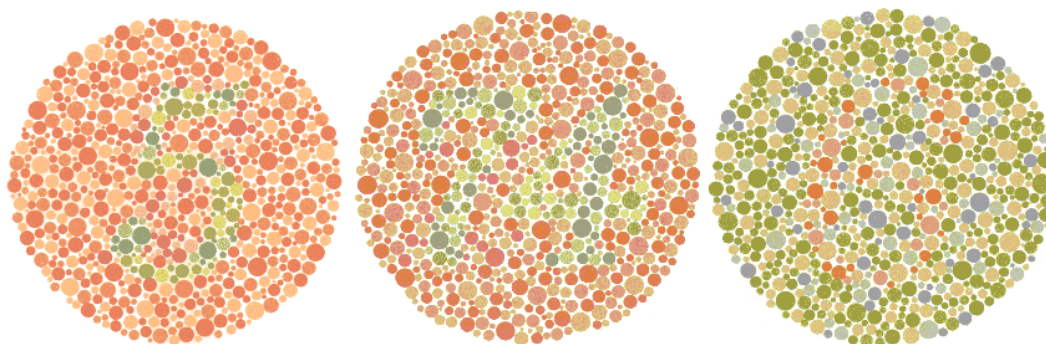
Na [Obr. 10] lze vidět Snellenovu tabuli s 10 řádky, které byly sestaveny ze získaných informací z těchto tabulí. U odborného lékaře se může pozorovatel setkat se Snellenovou tabulí, která obsahuje 11 řádků, ovšem pro účely výzkumu postačil pouze zvolený počet.

8.1.1 Snellenův zlomek

Snellenův zlomek je poměr vzdáleností. Čítec Snellenova zlomku je konstanta a ukazuje nám vzdálenost, v jaké by se měl pozorovatel od samotné tabule nacházet. Jmenovatel se pak odvozuje od velikosti řádku, který pacient dokáže přečíst. Udává vzdálenost, v jaké by stál člověk s průměrným zrakem. Například zlomek 20/40 znamená, že osoba dokázala přečíst ze vzdálenosti 20 stop řádek, který by člověk s průměrným zrakem přečetl ze vzdálenosti 40 stop. Slepota je v USA definována pro Snellenův zlomek 20/200. Kdežto zlomek 20/20 určuje dobrou kvalitu zraku. [47]

8.2 Pseudoisochromatické Ishiharovy tabulky

Testy mají za úkol odhalit druh a rozsah poruchy barvocitu, k testování se používají obrazy složené z teček různých barevných odstínů. Běžný Ishiharův test [Obr. 41, Příloha D] je složen až z 38 různých obrazců. Pokud se za denního světla dívá na obrázky zdravý člověk, měl by vidět správné číslice, ale člověk s poruchou barvocitu tyto obrazce nerozpozná.



Obr. 41 Pseudoisochromatické Ishiharovy tabulky [44]

Barvoslepost je porucha vnímání barev, člověk nemá schopnost rozlišit barvy a odstíny základních předmětů, které běžně vídá. Porucha barvocitu, barvoslepost – daltonismus je ve většině případů vrozená, genetická vada. Jen vzácně se u člověka může objevit během života, a to hned z několika důvodů. Například působením toxických látek v zaměstnání, vliv některých antibiotik a barbiturátů. [44]

Existuje několik druhů poruch barvocitu. Dělí se podle stupně poruchy barevného vidění.

Anomální trichromazie

Snížení schopnosti vnímat jednu ze základních barev (všechny ostatní barvy jsou kombinací těchto barev). Jde o poruchu jednoho ze tří druhů vjemových čípků, kdy jeden z nich nefunguje správně, čímž vytváří barevný vjem v jiném poměru. Často se vyskytuje porucha vnímání zelené a červené barvy. Velmi vzácný, téměř nulový je výskyt poruchy vnímání modré barvy. [44]

Dichromazie

Tento typ poruchy barvocitu se vyskytuje nejčastěji. V tomto případě je jeden z vjemových čípků zcela nefunkční a jednu ze základních barev tak postižený vůbec není schopen rozlišit. Dva zbylé funkční čípky se snaží vytvářet vnímání všech barev, z některých však zůstanou pouze odstíny. Podle jasu těchto odstínů se pak

postižený snaží orientovat v barvách. Barvoslepost se může také vyskytnout pouze v jednom oku. [44]

Monochromazie

Monochromazie znamená naprostou, úplnou barvoslepost, tzv. černobílé vidění. Vyskytuje se vzácně. Vjemové čípky se v tomto případě v sítnici oka někdy ani nevyskytují, pacient tak rozlišuje barvy předmětů jen podle jasů. Tato vada je obvykle provázána dalšími poruchami zraku, jako je např.

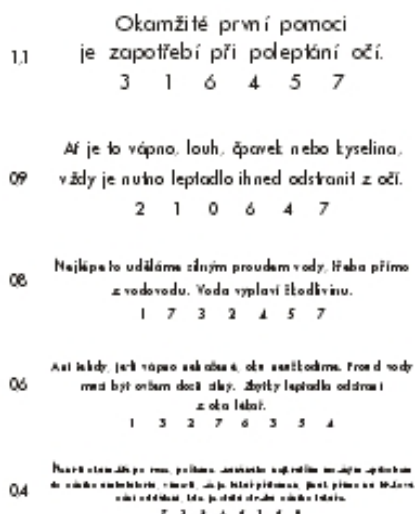
nystagmus – nekontrolovatelné rytmické pohyby oka,

astigmatismus – porucha očního cylindru, způsobující nepřesné zaostření světla na sítnici. [44]

8.3 Jaegerovy čtecí testy

Jaegerovy čtecí testy [Obr. 42, Příloha D] jsou pro zkoušku vidění do blízka. Tento test je tvořen souvislými větami, které jsou odstupňovány velikostí písma. Velikosti znaků v těchto testech nejsou standardizovány.

Vyšetření u odborníka probíhá tak, že pozorovatel dostane tabulku s textem a ze vzdálenosti 40 cm se postupně snaží přečíst zmenšující se text. Dále se těmito testy dá měřit také akomodace a to tak, že dotyčný si přibližuje předložený text k obličeji, ale pouze do té doby dokud se mu text nerozmaže. Poté je přibližování zastaveno a zkouší se, zda se pozorovateli ještě podaří text zaostřit. Pokud ne, tak test končí a změří se vzdálenost, do jaké měl pozorovatel ještě ostré vidění.



Obr. 42 Jaegerovy čtecí testy [69]

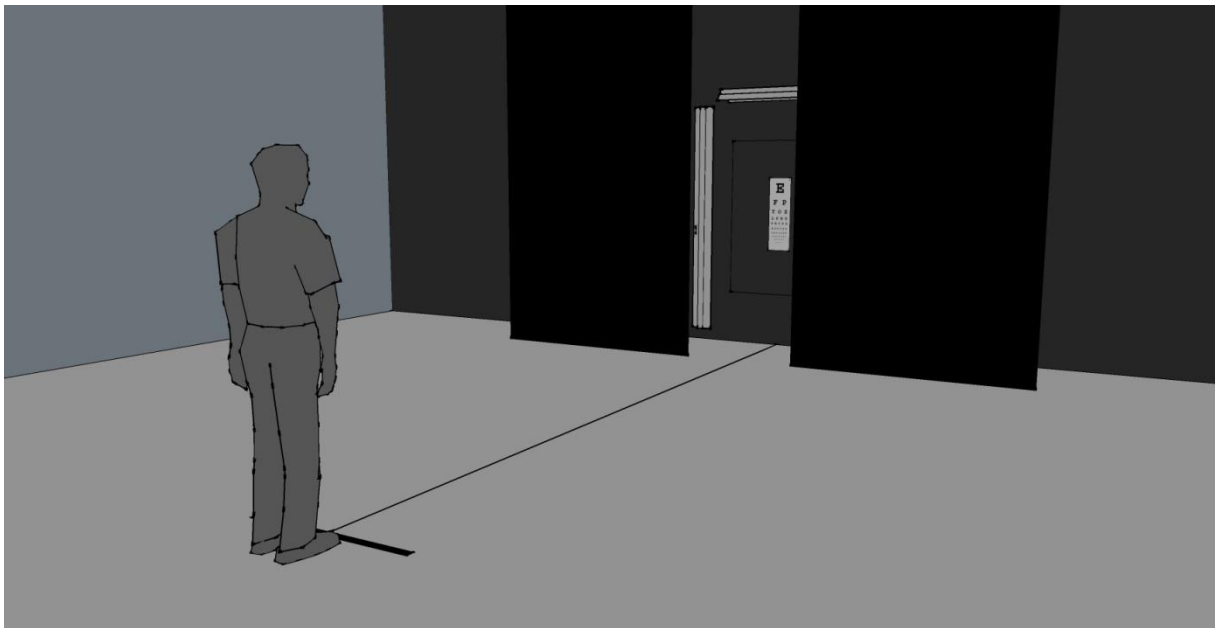
9. Příprava pracoviště

Měření proběhlo ve dvou fázích. První bylo měření při různých hladinách osvětlenosti na dálku pomocí Snellenovy tabule [kap. 8.1]. Druhé měření bylo na blízko pomocí Pseudoisochromatických Ishiharových tabulek [kap. 8.2] a Jaegerových čtecích testů [kap. 8.3]. Pro obě měření byly zvoleny čtyři měřené intenzity osvětlenosti. První měření proběhlo pro minimální hodnotu osvětlenosti 50 - 100 lx, druhé měření bylo provedeno pro takovou intenzitu osvětlenosti, se kterou se člověk setkává nejčastěji, tj. 500 lx. Třetí testovanou intenzitou osvětlenosti byla zvolena hodnota 1500 lx. Čtvrtou intenzitou byla nejvyšší naměřená intenzita osvětlenosti, která se podařila naměřit. U každého měřeného testovaného světelného zdroje byla vždy odlišná maximální hodnota intenzity osvětlenosti.

Měření na prvním pracovišti probíhá tímto způsobem. Pozorovatel se postaví na vyznačený bod, ze kterého přečte jasně viditelný řádek a zapíše si jej do předpřipravených dotazníků [Příloha E]. Vyznačené území se nachází podle standartu čtení Snellenových tabulí 6 m od pozorovaného místa. Test neprobíhá stejně jako u klasického vyšetření u lékaře, protože zde si musí pozorovatel zakrýt nejprve jedno oko a až přečte řádek, který je po něm žádán, přejde na zakrytí oka druhého a celý cyklus se opakuje znovu. Jelikož tato práce řeší osvětlení pracovišť je tedy nezbytné, aby pozorovatel na připravenou tabuli hleděl oběma očima zároveň.

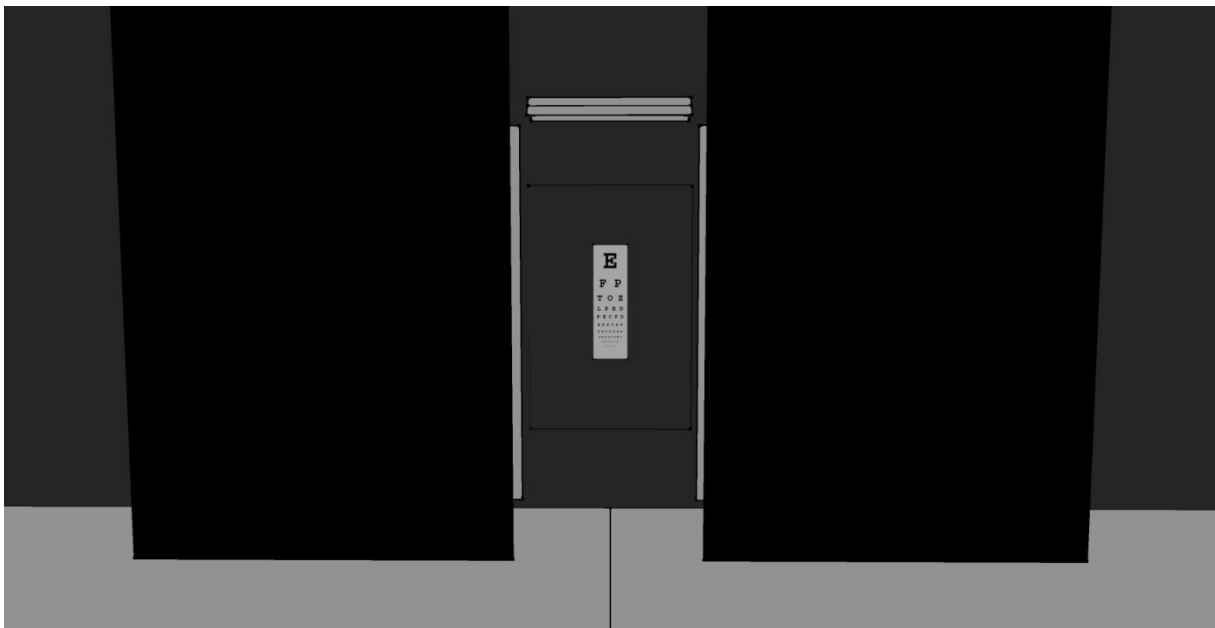
V dotazníku [Příloha E] pozorovatel vyplní několik základních informací, které jsou v následném výzkumu zohledňovány. Vyplní svou věkovou skupinu, zda nosí či nenosí dioptrické brýle a popřípadě kolik dioptrií má. Další důležitou informací je, zda pozorovatel nemá nějakou oční vadu, která by celé měření mohla ovlivnit. Poté co pozorovatel splnil tyto základní kroky, mohlo začít samotné měření. Nejprve byly měřeny nejnižší intenzity osvětlenosti a postupně bylo přecházeno k vyšším intenzitám osvětlenosti. Byla potřeba od pozorovatelů zapisovat pouze jasně viditelný řádek, protože jakákoliv odchylka by mohla při konečném hodnocení hrát obrovskou roli. Dále celé výsledky mohly být poškozeny tím, že pozorovatel byl nervózní, nebo měl špatnou náladu apod. Sestavené pracoviště pro první měření lze pozorovat na následující 3D dokumentaci.

Pracoviště je sestaveno pro laboratorní měření. Pracoviště pro tuto metodu testování lze vidět na následujících snímcích [Obr. 43 – 45], které bylo vytvořeno pomocí 3D programu. Reálné snímky zhotovených pracovišť lze vidět v [Příloze F].



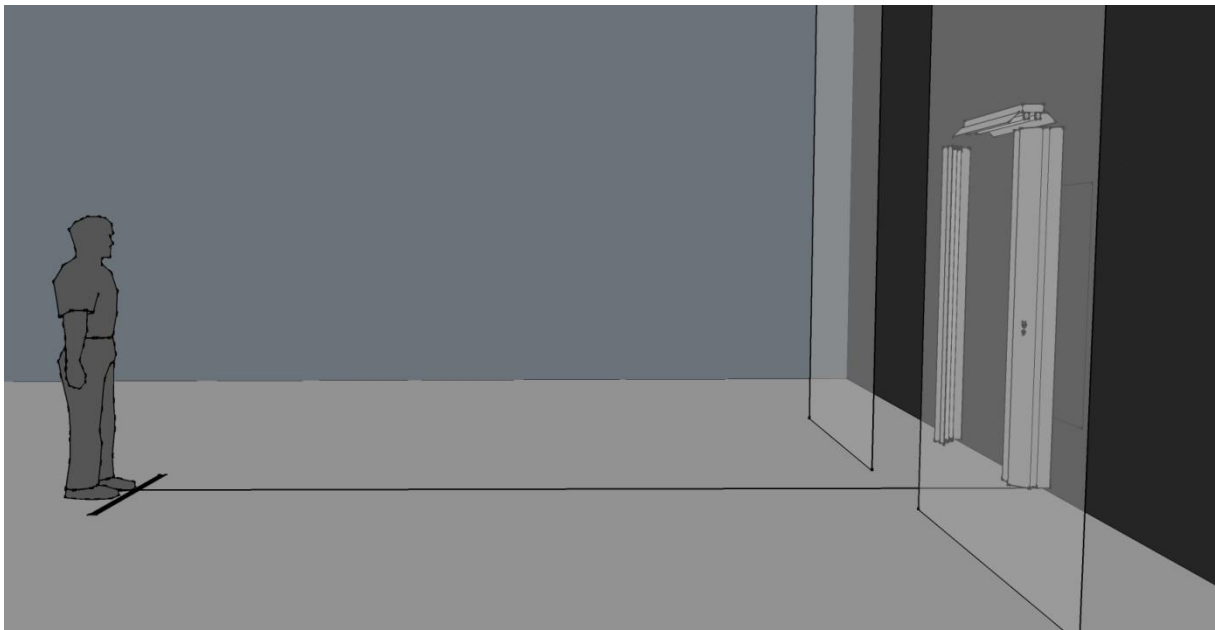
Obr. 43 Přední pohled na pracoviště

Na [Obr. 43] lze vidět pracoviště z přední strany, jak jsou umístěné světelné zdroje, které jsou schované za oponou, aby pozorovatel nebyl ničím rozptylován. Dále můžeme pozorovat, jak by měl pozorovatel stát před tabulí.



Obr. 44 Pohled z oka pozorovatele

[Obr. 44] ukazuje pohled z oka pozorovatele. Přesně takto pozorovatel vidí před sebou Snellenovu tabuli.



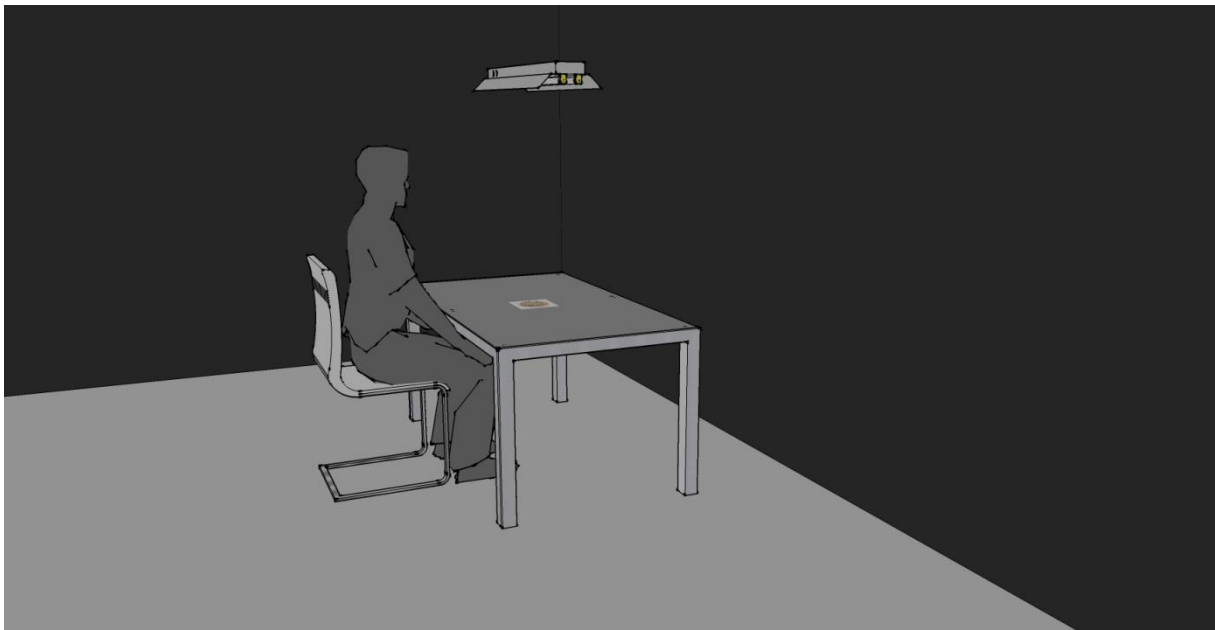
Obr. 45 Pohled z boku

[Obr. 45] nabízí pohled z boku, kde lze pozorovat rozmístění a umístění jednotlivých světelných zdrojů v laboratoři.

Postup měření pro pozorovatele:

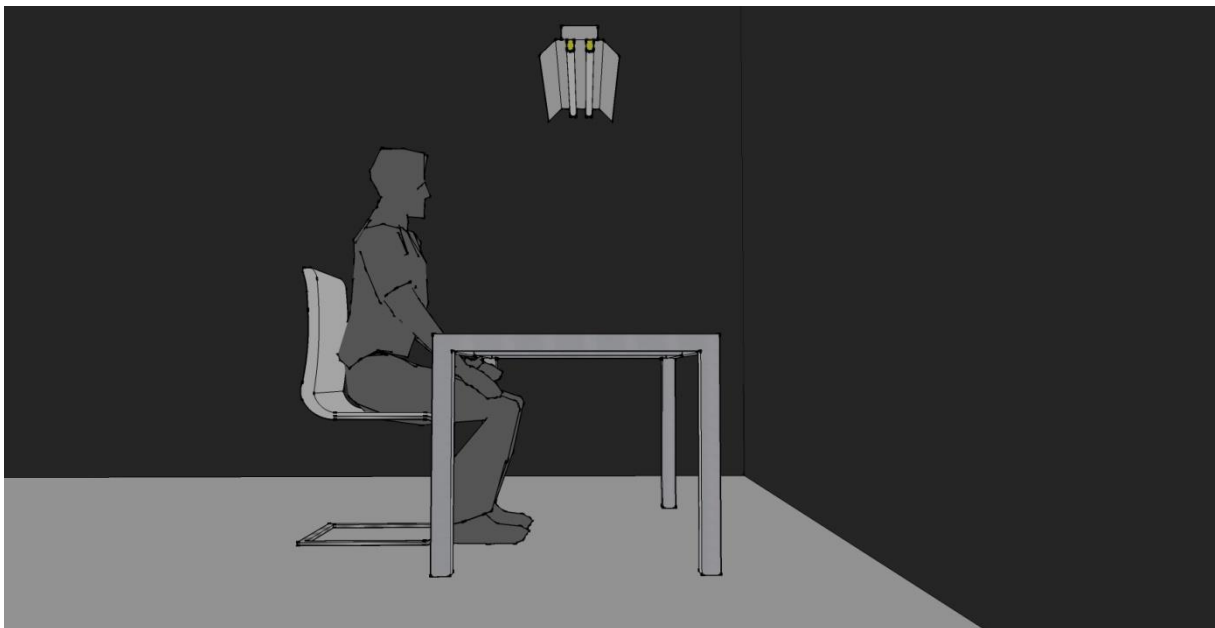
1. Pozorovatel si vezme dotazník [Příloha E]
2. Vyplní základní údaje
3. Postaví se na vyznačené místo (6 metrů od pracoviště)
4. Z připraveného pracoviště přečte řádek, který při dané intenzitě osvětlenosti zřetelně vidí
5. Zapiše do dotazníku
6. Probíhá nastavení další intenzity osvětlenosti
7. Opakuje se bod 3-6, dokud nejsou vyčerpána všechna nastavení různých intenzit osvětlenosti
8. Probíhá výměna světelného zdroje (celkem 3x)
9. Opakují se postupně body 3 - 7

Pro druhou měřicí metodu byly použity Pseudoisochromatické Ishiharovy obrazce [Obr. 41] a Jaegerovy čtecí testy [Obr. 42]. Test probíhá tímto způsobem. Pozorovatel je usazen na židli ke stolu, kde mu jsou postupně pokládány na lavici jednotlivé obrazce a pozorovatel postupně zapisuje, co na jednotlivých obrázcích vidí [Příloha D]. Pozorovateli jsou opět jako v prvním měření měněny postupně rozdílné intenzity osvětlenosti. Důležitým faktem je i to, že postupným zvyšováním/tlumením světelných zdrojů se mění i jejich teplota chromatičnosti T_c [Obr. 37], která se již nenachází na čáře teplotních zářičů v souřadnicích x, y , kde jsou vyznačené čáry konstantních teplot chromatičnosti (K). Tato teplota chromatičnosti je nazývána jako náhradní teplota chromatičnosti T_n . Účelem je zjistit, jaká je odezva lidského zraku a vnímání. Pro toto měření bylo navrženo pracovní prostředí v laboratoři, které lze pozorovat na následujících snímcích [Obr. 46 – 48].

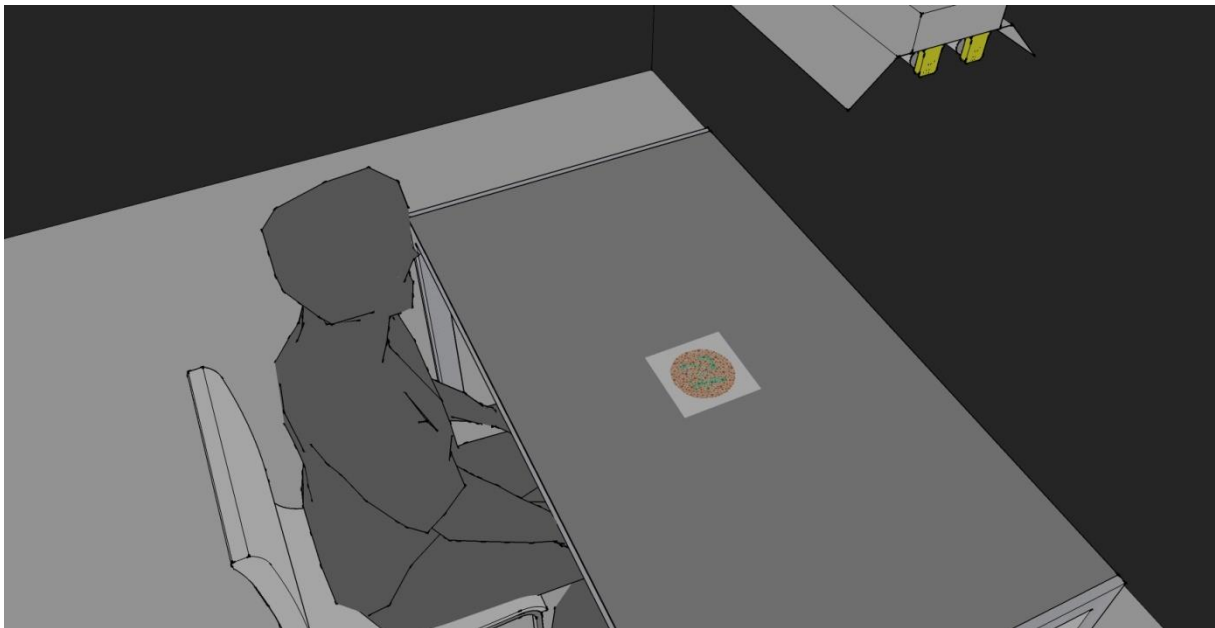


Obr. 46 Perspektivní pohled

Na [Obr. 46] lze vidět zjednodušené pracoviště pro měření pomocí Pseudoisochromatických Ishiharových tabulek. Je vidět umístění pozorovatele u stolu a zavěšení světelného zdroje nad stolem.



Obr. 47 Pohled ze strany



Obr. 48 Pohled shora na tabulku s číslem

Na [Obr. 47, Obr. 48] je vidět pohled z boku a částečně pohled shora, na kterém je vidět umístění samotné tabulky s číslicí. Tyto tabulky jsou vždy po krátkém intervalu měněny za jinou, dokud neproběhne celé měření.

Postup měření pro pozorovatele:

Toto měření probíhalo jako dvoufázové, tedy byly připraveny dva dotazníky. První byl pro měření s Ishiharovými tabulkami a druhý pro měření pomocí Jaegerových čtecích testů.

Pozorovatel si vezme dotazník [Příloha E]

1. Vyplní základní údaje
2. Posadí se na židli v připraveném pracovišti (na pracovišti nalezne papír s Ishiharovými tabulkami (5 obrazců) a list s Jaegerovým čtecím testem)
3. Pozorovatel postupně projde 5 obrazců a jednotlivé číslice zapisuje do prvního dotazníku
4. Pozorovatel přečte nejmenší možný řádek, který je pro něj jasně viditelným a poté zapíše do druhého dotazníku
5. Probíhá nastavení další intenzity osvětlenosti
6. Opakuje se bod 3-6 dokud nejsou vyčerpána všechna nastavení různých intenzit osvětlenosti
7. Probíhá výměna světelného zdroje (celkem 3x)
8. Opakují se postupně body 3 - 7

Pro měření s pozorovateli mi bylo poskytnuto zázemí ve firmě ZKL Klášterec nad Ohří, a.s.

9.1 Použité osvětlení

Při výzkumech bylo používáno zářivkové osvětlení s různými T_c . Z dostupných světelných zdrojů byly použity lineární zářivky od firmy OSRAM s příkonem 80 W, s indexem podání barev ≥ 80 a teplotou chromatičnosti 2700 K. (OSRAM FQ 80W/827 HO – Teplá bílá)

Jako dalšími světelnými zdroji byly lineární zářivky od firmy OSRAM s příkonem 80 W, indexem podání barev ≥ 80 a teplotou chromatičnosti 4000 K. (OSRAM HO 80W/840 – studená bílá)

Dále byly použity lineární zářivky OSRAM s příkonem 80 W, indexem podání barev ≥ 80 a teplotou chromatičnosti 6500 K. (OSRAM FQ 80W/865 HO – studené denní světlo)

Než mohlo započít samotné měření na pracovišti, bylo nutné ověřit, jak se s postupným ztlumováním/zesilováním osvětlení mění hodnoty teploty chromatičnosti [Tab. 5 - 7].

OSRAM FQ 80W/827 HO – Teplá bílá			
[%]	x	y	T_c [K]
100	0,449	0,4258	2975,9
90	0,4531	0,427	2923
80	0,4562	0,4281	2885,7
70	0,4595	0,4293	2847,3
60	0,463	0,4305	2847,3
50	0,4656	0,4316	2806,8
40	0,4686	0,4329	2779,1
30	0,4709	0,4338	2724,4
20	0,4725	0,4336	2702,1
10	0,473	0,432	2684,2
5	0,4721	0,4306	2685,7
1	0,4745	0,435	2686,5

Tab. 5 Teploty chromatičnosti se souřadnicemi v jednotlivých módech osvětlení (teple bílá)

OSRAM HO 80W/840 – studená bílá			
[%]	x	y	T _c [K]
100	0,383	0,399	4085,3
90	0,385	0,401	4048,8
80	0,3874	0,402	3997,4
70	0,3894	0,4031	3956,6
60	0,3908	0,404	3929,4
50	0,3922	0,4052	3904,7
40	0,3936	0,4058	3876,4
30	0,3936	0,4043	3866,1
20	0,3928	0,4035	3879,2
10	0,3925	0,4025	3873,3
1	0,3943	0,4084	3877,9

Tab. 6 Teploty chromatičnosti se souřadnicemi v jednotlivých módech osvětlení (studená bílá)

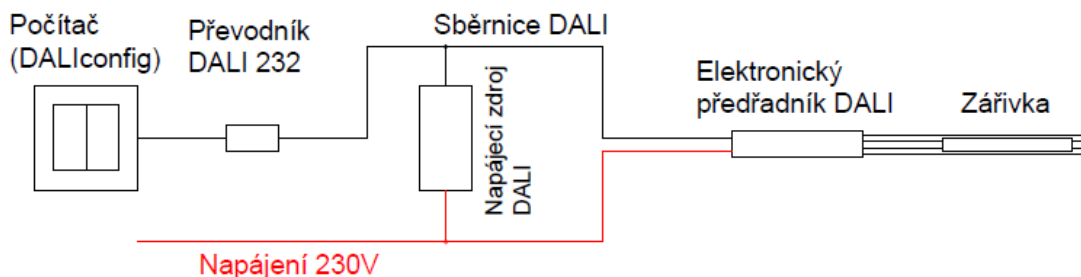
OSRAM FQ 80W/865 HO – studené denní světlo			
[%]	x	y	T _c [K]
100	0,3105	0,3493	6473,8
90	0,3116	0,3502	6416,8
80	0,3125	0,3508	6371,7
70	0,3135	0,3514	6322,7
60	0,3145	0,3526	6271,4
50	0,3151	0,353	6242,6
40	0,3156	0,352	6224,8
30	0,316	0,3524	6205,1
20	0,3166	0,3526	6177,5
10	0,3174	0,3531	6140,1
5	0,3172	0,3537	6146,6
1	0,3172	0,3578	6088,3

Tab. 7 Teploty chromatičnosti se souřadnicemi v jednotlivých módech osvětlení (studené denní světlo)

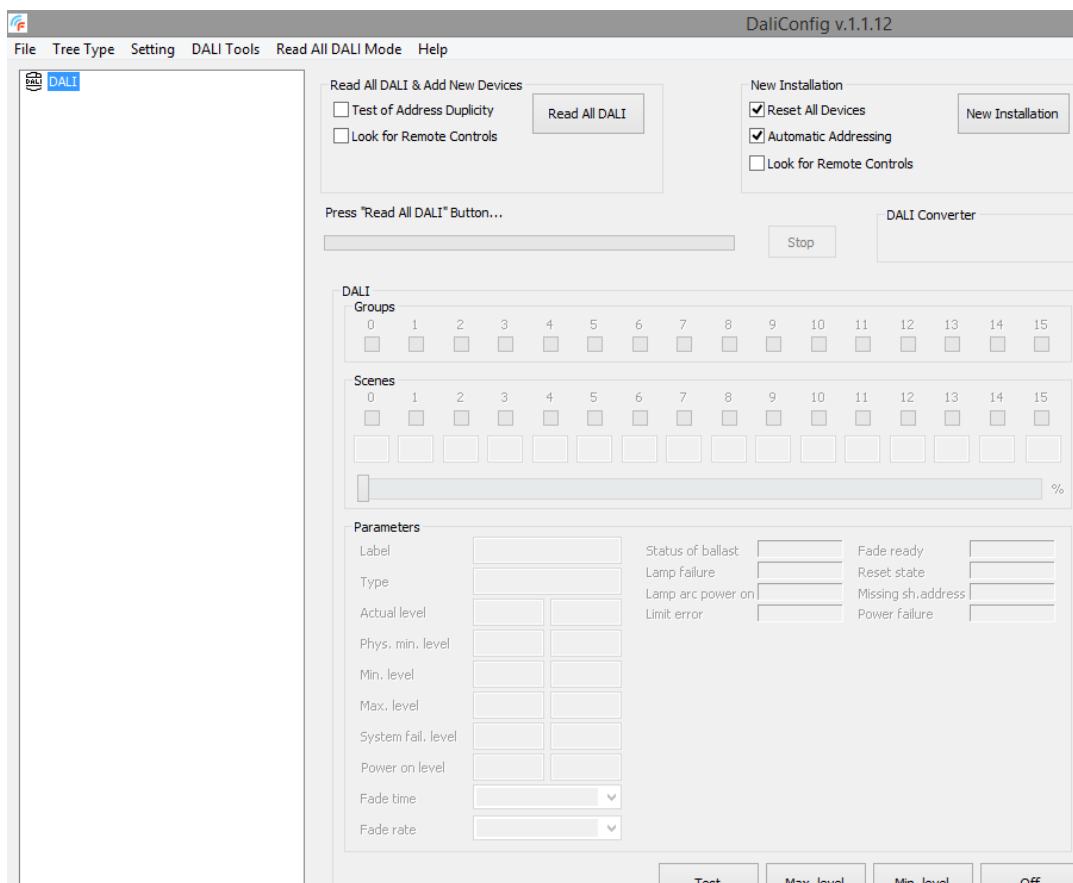
V jednotlivých tabulkách lze pozorovat, jak se s postupným ztlumováním lineárních zářivek mění jejich teplota chromatičnosti. Jednotlivé T_c měřených lineárních zářivek se nenacházejí na standardní čáře teplotních zdrojů, ale jejich teploty se protínají na čárách původní čáry, tato teplota chromatičnosti se nazývá náhradní teplota chromatičnosti T_n. [Obr. 36]. K přepočtu naměřených souřadnic byl posloužit CEI Color Calculator.

9.2 Ovládání a řízení osvětlovacích soustav

K řízení osvětlovacích soustav, bylo využito elektronických předřadníků DALI. Zapojení osvětlovací soustavy, které bylo použito, je uvedeno na [Obr. 49]. Ovládání bylo zajištěno pomocí programu Daliconfig [Obr. 50], který mohl být ovládán pomocí počítače. DALIconfig je program pro PC spolupracující s převodníkem DALI232 a DALI-net. Pomocí programu lze najít všechna zařízení na sběrnici DALI, provést jejich veškeré nastavení a zkušebně je ovládat. Program je určen pro OS Windows.



Obr. 49 Zapojení osvětlovací soustavy



Obr. 50 DALIconfig

10. Výsledky měření na dálku

První měření [kap. 9] bylo provedeno pro tři různé světelné zdroje při čtyřech rozdílných intenzitách osvětlenosti. Měření se celkově zúčastnilo 129 pozorovatelů, kteří se řadili do všech zvolených věkových skupin. Toto měření proběhlo jako měření na dálku pomocí Snellenovy tabule. Výsledné intenzity osvětlenosti jsou brány jako průměrné hodnoty změřených intenzit osvětlenosti na několika bodech osvětlené Snellenovy tabule. V následujících tabulkách a grafech lze nalézt dílčí výsledky. Podrobný přehled tabulek všech naměřených hodnot lze nalézt v [Příloze G].



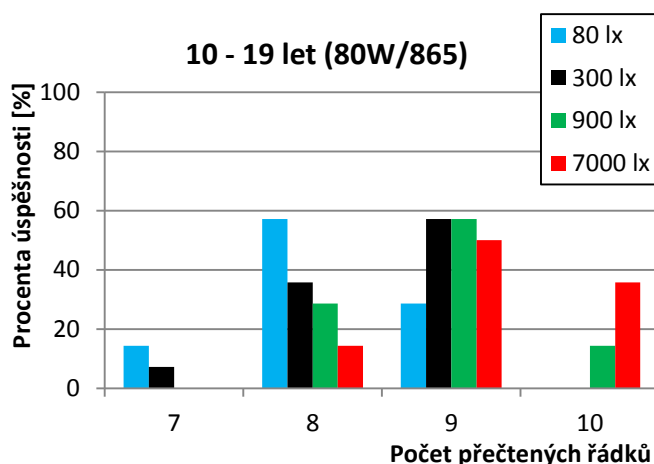
Obr. 51 Pracoviště pro měření na dálku

10.1 Věková skupina 10 – 19 let

věková skupina 10 - 19 let	1. měření 80W/865			
Intenzita osvětlenosti [lx]	80	300	900	7 000
Průměr	8,14	8,5	8,85	9,21

Tab. 8 Průměrné hodnoty měření

[Tab. 8] ukazuje průměrné hodnoty všech zúčastněných pozorovatelů ve věkové skupině 10 – 19 let. Lze vidět, že postupné zvyšování intenzity osvětlenosti bylo pro pozorovatele účinné. Jsou vidět velké rozdíly v počtu přečtených řádků. Podrobně rozepsanou tabulku lze nalézt v [Příloze G, Tab. 51].



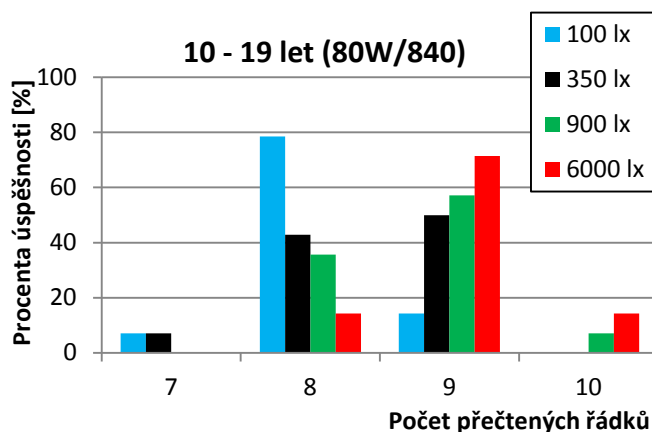
Obr. 52 Závislost procentuální úspěšnosti na počtu přečtených řádků

Na [Obr. 52] lze pozorovat, jak postupně se zvyšující intenzitou osvětlenosti roste počet jasně viditelných řádků. Zatímco u 80 lx pozorovatel přečetl v největší míře 8 řádek, tak již při druhé nastavené intenzitě osvětlenosti je vidět rapidní zlepšení.

věková skupina 10 - 19 let	2. měření 80W/840			
Intenzita osvětlenosti [lx]	100	350	900	6000
Průměr	8,07	8,43	8,71	9

Tab. 9 Průměrné hodnoty měření

Z [Tab. 9] lze pozorovat opět zlepšení viditelnosti při zvyšování intenzity, ovšem pozorovatelé již nedosahují tak kvalitních výsledků jako u lineárních zářivek simulující denní studené světlo. [Příloha G, Tab. 52]



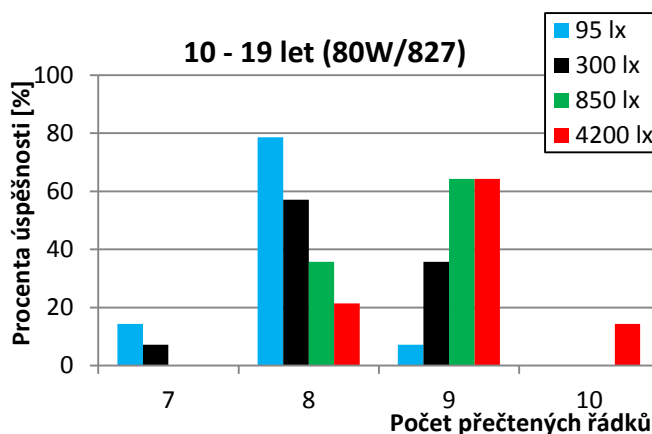
Obr. 53 Závislost procentuální úspěšnosti na počtu přečtených řádků

[Obr. 53] ukazuje, že při nízkých intenzitách osvětlenosti není pozorovatel schopen v žádném případě přečíst takový počet řádků na Snellenově tabuli, jako při vyšších intenzitách osvětlenosti.

věková skupina 10 - 19 let	3. měření 80W/827			
Intenzita osvětlenosti [lx]	95	300	850	4200
Průměr	7,93	8,28	8,64	8,93

Tab. 10 Průměrné hodnoty měření

Nejhorších výsledků bylo téměř u všech měření dosaženo při osvětlení, které mělo nízkou T_c (teplé bílá). Průměrné hodnoty se snížily o několik jednotek, jak lze podrobněji sledovat na [Obr. 52]. [Příloha G, Tab. 53]



Obr. 54 Závislost procentuální úspěšnosti na počtu přečtených řádků

U tohoto osvětlení bylo dosahováno horších výsledků, než u všech ostatních. Je patrné, že pozorovatelé, již měli větší problém rozpoznat poslední řádek na Snellenově tabuli.

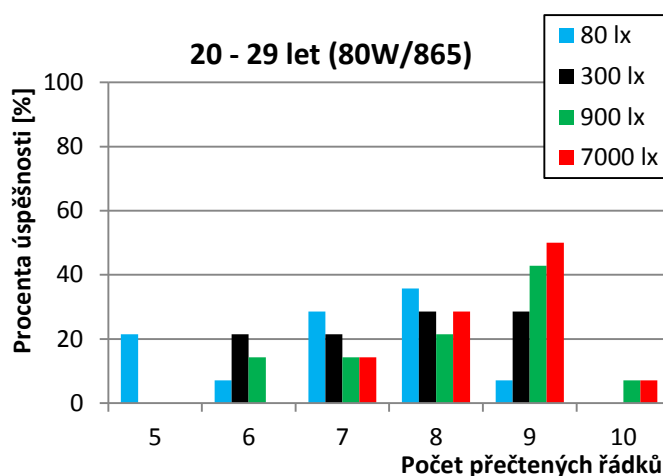
10.2 Věková skupina 20 – 29 let

věková skupina 20 - 29 let	1. měření 80W/865			
Intenzita osvětlenosti [lx]	80	300	900	7 000
Průměr	7	7,64	8,14	8,5

Tab. 11 Průměrné hodnoty měření

Se zvyšujícím se věkem pozorovatelů, lze vidět na průměrných hodnotách měření, že při stejném osvětlení vidí menší počet řádků. Opět se ale potvrdilo, že se zvyšující intenzitou osvětlenosti, bylo dosahováno lepších výsledků.

[Příloha G, Tab. 54]



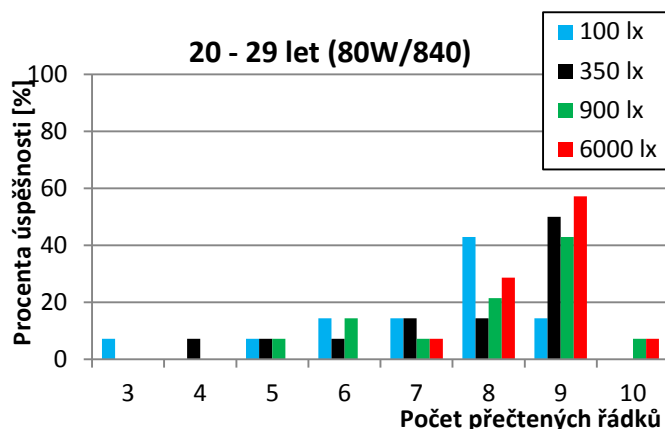
Obr. 55 Závislost procentuální úspěšnosti na počtu přečtených řádků

Osvětlení pracoviště velmi nízkou intenzitou osvětlenosti je nepřijatelné, protože pozorovatel by při této intenzitě osvětlenosti nebyl schopen podat takový pracovní výkon jako při vyšších intenzitách osvětlenosti.

věková skupina 20 - 29 let	2. měření 80W/840			
Intenzita osvětlenosti [lx]	100	350	900	6000
Průměr	7,14	7,71	8	8,64

Tab. 12 Průměrné hodnoty měření

Při osvětlení 80W/840 zářivkami bylo dosaženo podobných výsledků, jako u zářivek 80W/865. Tato věková skupina pozorovatelů při těchto osvětleních neměla problém číst i řádky s nejmenším písmem. [Příloha G, Tab. 55]



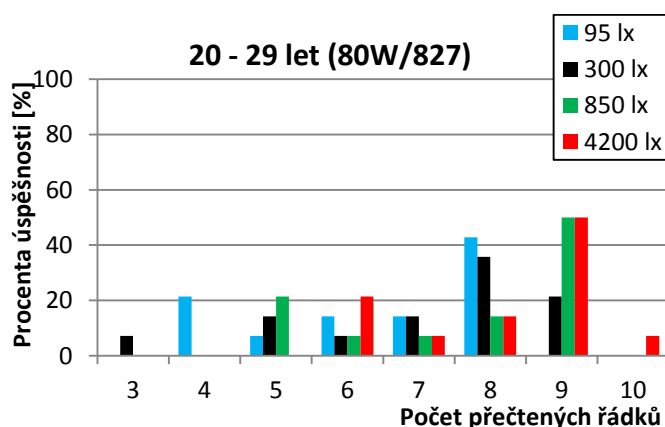
Obr. 56 Závislost procentuální úspěšnosti na počtu přečtených řádků

Věková skupina 20 – 29 let při nastavených vyšších intenzitách osvětlenosti, četla řádky s nejmenším zobrazením písmen. To znamená, že pro pracovní podmínky této věkové skupiny by stačilo pouze osvětlení nižších intenzit. Pokud by intenzity osvětlenosti dosahovaly maximálních hodnot, zrakový úkol by byl vykonán s větší přesností na detail.

věková skupina 20 - 29 let	3. měření 80W/827			
Intenzita osvětlenosti [lx]	95	300	850	4200
Průměr	6,5	7,14	7,64	8,14

Tab. 13 Průměrné hodnoty měření

Osvětlení s nízkou T_c činilo pozorovatelům značné problémy, bylo jim příjemné, avšak zrakový úkol nedosahoval takových kvalit jako u osvětlení s vyšší T_c . Průměrných hodnot, kterých bylo u tohoto osvětlení dosaženo až u vyšších hladin osvětlenosti, bylo u zářivek s vyšší T_c potřeba pouze nižší nastavení intenzit osvětlenosti. [Příloha G, Tab. 56]



Obr. 57 Závislost procentuální úspěšnosti na počtu přečtených řádků

Pozorovatelé s tímto osvětlením nebyli spokojeni. Může to být způsobeno také tím, že nejsou zvyklí na barvu (teple bílá) osvětlení. Ovšem z grafu je vidět,

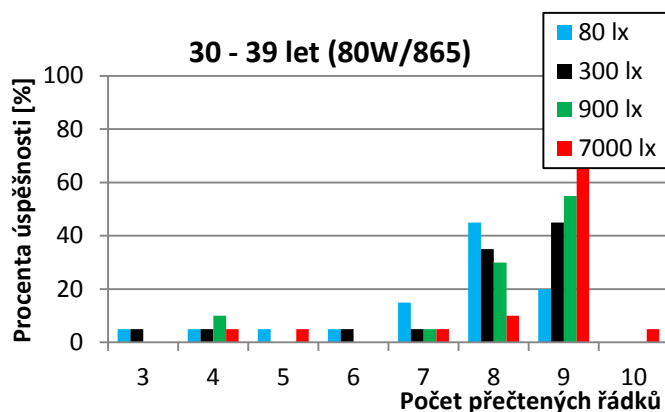
že si s tímto osvětlením je věková skupina 20 – 29 let schopna poradit i při čtení řádků s menším písmem.

10.3 Věková skupina 30 – 39 let

věková skupina 30 - 39 let	1. měření 80W/865			
Intenzita osvětlenosti [lx]	80	300	900	7 000
Průměr	7,35	7,85	8,1	8,4

Tab. 14 Průměrné hodnoty měření

U věkové skupiny 30 – 39 let lze pozorovat, že jejich zrak již nemá takovou kvalitu jako u nižších věkových skupin, ale byli schopni si poradit i nejhůře viditelnými písmeny. Proto jsou schopni stále provádět pracovní úkol pod nižšími intenzitami osvětlenosti. [Příloha G, Tab. 57]



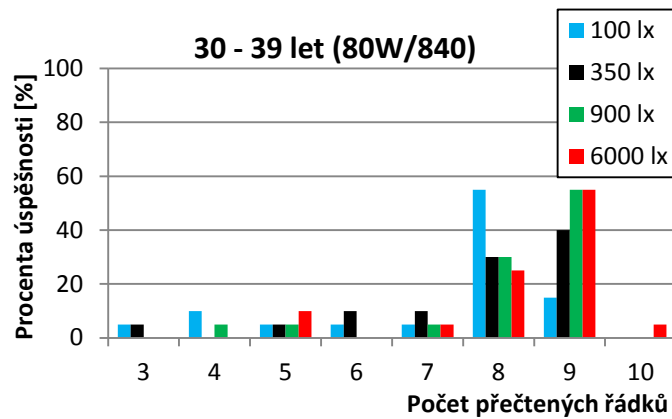
Obr. 58 Závislost procentuální úspěšnosti na počtu přečtených řádků

Tato věková skupina neměla problém se čtením velmi malých písmen na Snellenově tabuli. Jak lze pozorovat na grafu, tak při vyšších intenzitách osvětlenosti jsou schopni provést kvalitní pracovní výkon.

věková skupina 30 - 39 let	2. měření 80W/840			
Intenzita osvětlenosti [lx]	100	350	900	6000
Průměr	7,2	7,7	8,15	8,3

Tab. 15 Průměrné hodnoty měření

Průměrné hodnoty se snížily oproti zářivkovému osvětlení s vysokou T_c , ovšem i zde bylo dosahováno kvalitních výsledků i při nastavení nízkých hodnot intenzity osvětlenosti. [Příloha G, Tab. 58]



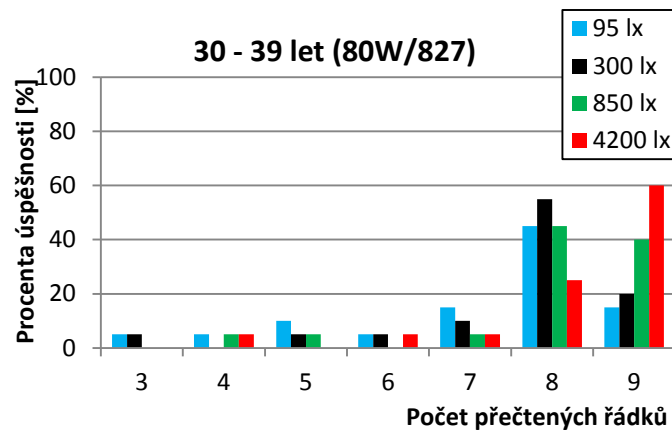
Obr. 59 Závislost procentuální úspěšnosti na počtu přečtených řádků

Pro tuto věkovou skupinu může být již spíše doporučeno osvětlení s vyšší T_c , ale i při tomto osvětlení jsou schopni pozorovatelé dosáhnout kvalitního zrakového výkonu.

věková skupina 30 - 39 let	3. měření 80W/827			
Intenzita osvětlení [lx]	95	300	850	4200
Průměr	7,15	7,6	8	8,25

Tab. 16 Průměrné hodnoty měření

Průměrné hodnoty při tomto měření se příliš neliší od hodnot předešlého měření. Pozorovatelům tedy nedělá problém pracovat i pod osvětlením s velmi nízkými hodnotami T_c . [Příloha G, Tab. 59]



Obr. 60 Závislost procentuální úspěšnosti na počtu přečtených řádků

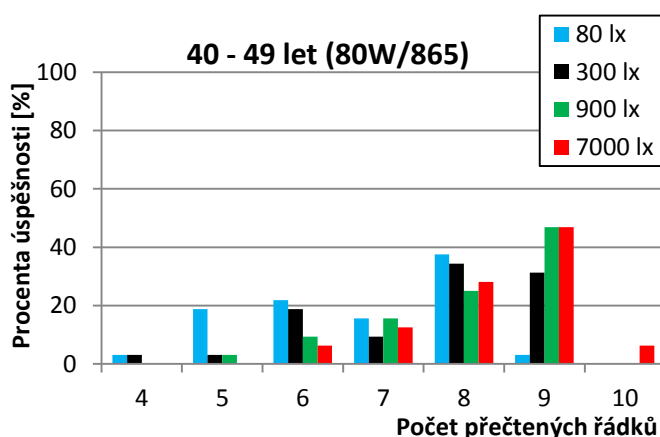
Při tomto osvětlení pozorovatelé nebyli schopni dosáhnout maximálních výsledků, ale pro potřebu při práci, kde není kladen důraz na detail, toto osvětlení postačí.

10.4 Věková skupina 40 – 49 let

věková skupina 40 - 49 let	1. měření 80W/865			
Intenzita osvětlenosti [lx]	80	300	900	7 000
Průměr	6,75	7,62	8,03	8,34

Tab. 17 Průměrné hodnoty měření

Pozorovatelé této věkové skupiny dosahovali téměř totožných výsledků, jako věková skupina 30 – 39 let. To znamená, že zrakové ústrojí je u těchto dvou věkových skupin podobné. [Příloha G, Tab. 60]



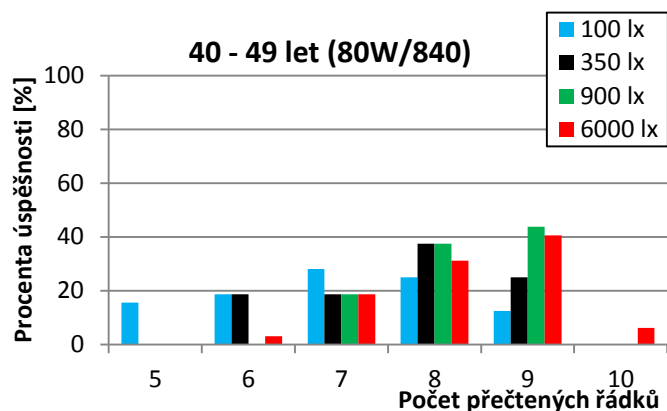
Obr. 61 Závislost procentuální úspěšnosti na počtu přečtených řádků

Z [Obr. 61] vyplývá, že někteří pozorovatelé měli problém s přečtením řádků s menším písmem. Ovšem toto měření mohlo být ovlivněno tím, že většina pozorovatelů měla nějakou zrakovou vadu a některý pozorovatel neměl správnou korekci zraku. Jinak se výsledky podobají výsledkům věkové skupiny 30 – 39 let.

věková skupina 40 - 49 let	2. měření 80W/840			
Intenzita osvětlenosti [lx]	100	350	900	6000
Průměr	7	7,68	8,25	8,28

Tab. 18 Průměrné hodnoty měření

Pozorovatelé měli při tomto osvětlení větší problém s rozpoznáváním znaků než u osvětlení s vyšší T_c . Ovšem bylo dosaženo stále kvalitních výsledků. [Příloha G, Tab. 61]



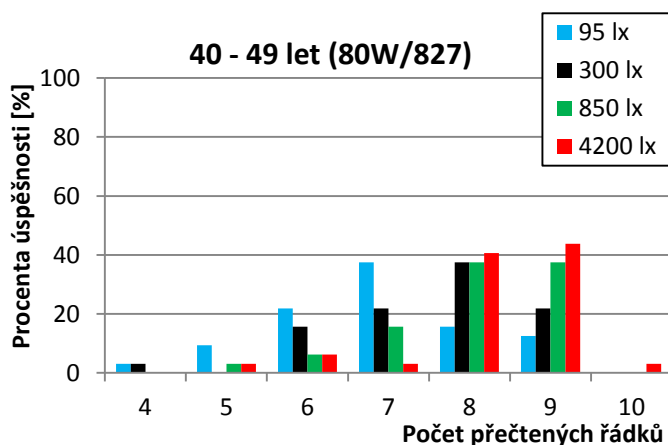
Obr. 62 Závislost procentuální úspěšnosti na počtu přečtených řádků

Z [Obr. 62] lze pozorovat, že pro kvalitní zrakový výkon stačí pozorovatelům nastavit nižší intenzity osvětlení. Již při 350 lx bylo dosahováno uspokojivých výsledků.

věková skupina 40 - 49 let	3. měření 80W/827			
Intenzita osvětlení [lx]	95	300	850	4200
Průměr	6,9	7,56	8	8,25

Tab. 19 Průměrné hodnoty měření

Nejhorších výsledků bylo u každé z věkových skupin dosaženo u osvětlení s nízkou T_c . Ovšem u starších věkových skupin se naměřené výsledky nelišily tak rapidně jako u mladších věkových skupin (10- 19, 20 – 29). [Příloha G, Tab. 62]



Obr. 63 Závislost procentuální úspěšnosti na počtu přečtených řádků

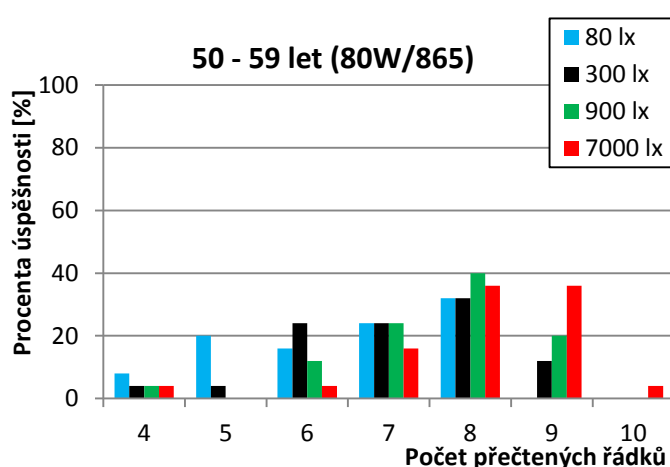
Pro kvalitní zrakový výkon při tomto osvětlení je nutné nastavit vyšší intenzity osvětlení. Doporučením by bylo využití celkového umělého osvětlení pracoviště s místním osvětlením zrakového úkolu.

10.5 Věková skupina 50 – 59 let

věková skupina 50 - 59 let	1. měření 80W/865			
Intenzita osvětlenosti [lx]	80	300	900	7 000
Průměr	6,52	7,12	7,56	8,04

Tab. 20 Průměrné hodnoty měření

S přibývajícím věkem je potřeba nastavení vyšších intenzit osvětlenosti na vykonávání pracovního úkolu a přesto již není dosaženo kvalitních výsledků. Výsledky dosažené při nízkých intenzitách osvětlenosti dosahovaly malých průměrných hodnot, proto by bylo nepřípustné pro tyto věkové skupiny užívat osvětlení s nastavením nízkých intenzit osvětlenosti. [Příloha G, Tab. 63]



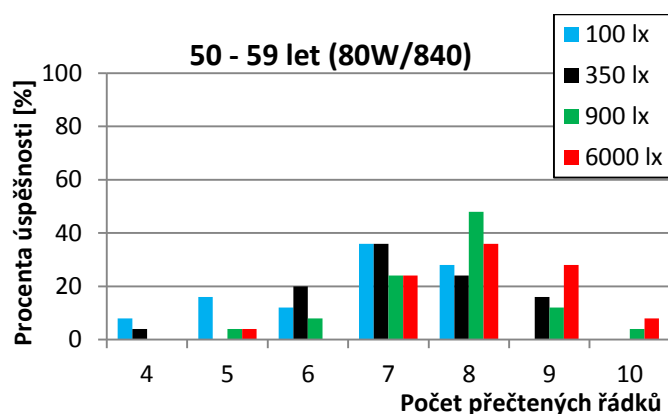
Obr. 64 Závislost procentuální úspěšnosti na počtu přečtených řádků

Na [Obr. 64] lze pozorovat, že výkonnost zrakového vjemu již není tak kvalitní jako u věkových skupin nižšího věku. Tito pozorovatelé by již neměli vykonávat pracovní úkol s přesností na detail, nebo využít osvětlení s vyššími intenzitami osvětlenosti.

věková skupina 50 - 59 let	2. měření 80W/840			
Intenzita osvětlenosti [lx]	100	350	900	6000
Průměr	6,6	7,24	7,68	8,08

Tab. 21 Průměrné hodnoty měření

Při tomto měření bylo dosaženo podobných výsledků jako u měření předešlého, proto je třeba využívat nastavení vyšších hodnot intenzit osvětlenosti než u nižších věkových skupin. [Příloha G, Tab. 64]



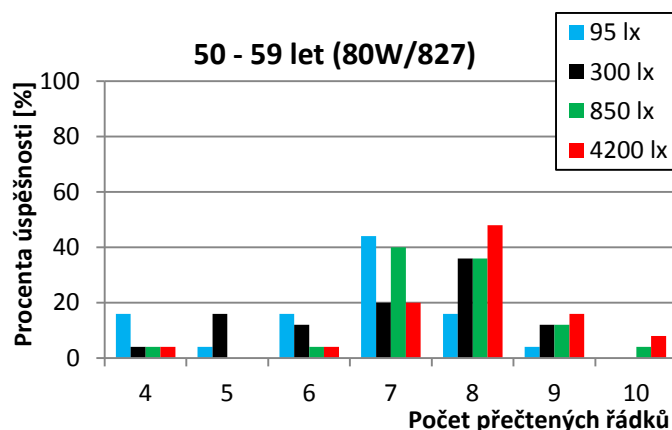
Obr. 65 Závislost procentuální úspěšnosti na počtu přečtených řádků

Kupodivu u této věkové skupiny bylo dosaženo nejlepšího pracovního výkonu při tomto osvětlení. Pozorovatelé si byli schopni poradit se čtením i řádků s nejmenšími písmeny.

věková skupina 50 - 59 let	3. měření 80W/827			
Intenzita osvětlení [lx]	95	300	850	4200
Průměr	6,52	7,04	7,56	7,88

Tab. 22 Průměrné hodnoty měření

Naměřené průměrné výsledky se nelišily od ostatních osvětlení, tak jako u předešlých věkových skupin. V této věkové kategorii bylo dosaženo nejpodobnějších průměrných výsledků u všech měřených druhů osvětlení. [Příloha G, Tab. 65]



Obr. 66 Závislost procentuální úspěšnosti na počtu přečtených řádků

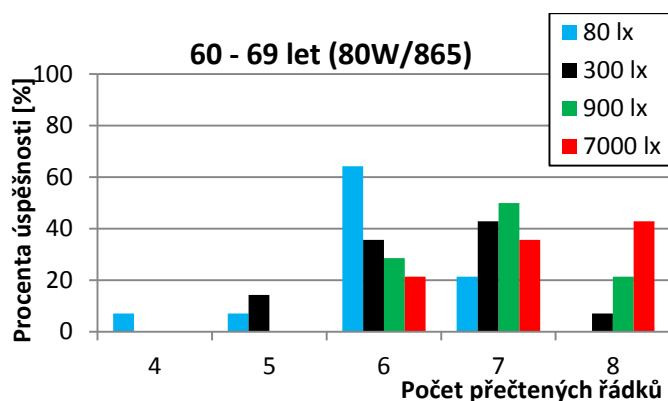
Na grafu lze pozorovat, že osoby z této věkové kategorie mají menší problém se zrakovým úkolem zaměřeným na detail, ale za určitých podmínek jsou schopni podat kvalitní pracovní výkon.

10.6 Věková skupina 60 – 69 let

věková skupina 60 - 69 let	1. měření 80W/865			
Intenzita osvětlenosti [lx]	80	300	900	7 000
Průměr	6	6,42	6,92	7,21

Tab. 23 Průměrné hodnoty měření

Věková skupina na přelomu důchodového věku, měla velký problém se čtením menších znaků na Snellenově tabuli, proto by v žádném případě neměli vykonávat pracovní úkol závislý na detailu. Pozorovatelé měli problémy i se znaky, které by se správnou korekcí zraku měli bez problémů přečíst. [Příloha G, Tab. 66]



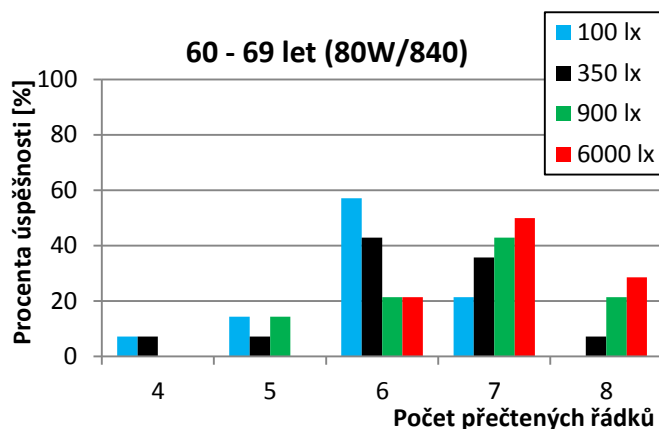
Obr. 67 Závislost procentuální úspěšnosti na počtu přečtených řádků

I při vysokých intenzitách osvětlenosti, již zrakový vjem není tak kvalitní jako u předešlých věkových skupin. Jako doporučení by mělo být vykonávání zrakového úkoly pod nastavením velmi vysokých intenzit osvětlenosti.

věková skupina 60 - 69 let	2. měření 80W/840			
Intenzita osvětlenosti [lx]	100	350	900	6000
Průměr	5,92	6,28	6,71	7,07

Tab. 24 Průměrné hodnoty měření

Velmi špatných výsledků bylo dosaženo i u tohoto druhu osvětlení. Osoby této věkové skupiny mají již často velmi unavený zrak, proto by již neměli vykonávat složitý zrakový úkol. [Příloha G, Tab. 67]



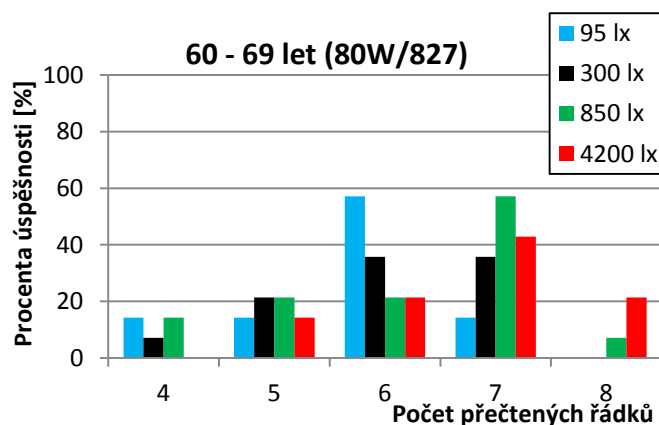
Obr. 68 Závislost procentuální úspěšnosti na počtu přečtených řádků

Osoby při tomto osvětlení nedosahují takových kvalitních výsledků jako předešlé věkové skupiny. Lze zde pozorovat velké zhoršení vůči věkové skupině 50 – 59 let.

věková skupina 60 - 69 let	3. měření 80W/827			
Intenzita osvětlenosti [lx]	95	300	850	4200
Průměr	5,71	6	6,57	6,71

Tab. 25 Průměrné hodnoty měření

Vůbec nejhorších výsledků pro věkovou skupinu 60 – 69 let bylo naměřeno u osvětlení s $T_c = 2700$ K. Toto osvětlení by se pro pracovní prostory nemělo téměř vůbec využívat, protože velmi hodně ovlivňuje kvalitu zrakového úkolu. [Příloha G, Tab. 68]



Obr. 69 Závislost procentuální úspěšnosti na počtu přečtených řádků

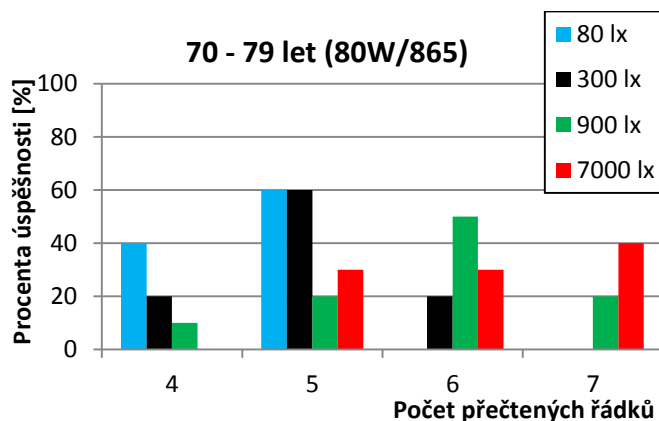
Jak jde vyčíst z grafu, tak pouze minimum pozorovatelů bylo schopno přečíst řádek s číslem 8, který je brán jako nejdůležitější pro měření u odborníka.

10.7 Věková skupina 70 – 79 let

věková skupina 70 - 79 let	1. měření 80W/865			
Intenzita osvětlenosti [lx]	80	300	900	7 000
Průměr	4,6	5	5,8	6,1

Tab. 26 Průměrné hodnoty měření

Jde již o důchodový věk, kdy pozorovatelé nemají potřebu vykonávat složité zrakové úkoly. Ovšem pro dobrou zrakovou pohodu je nutné využít vysokých intenzit osvětlenosti. [Příloha G, Tab. 69]



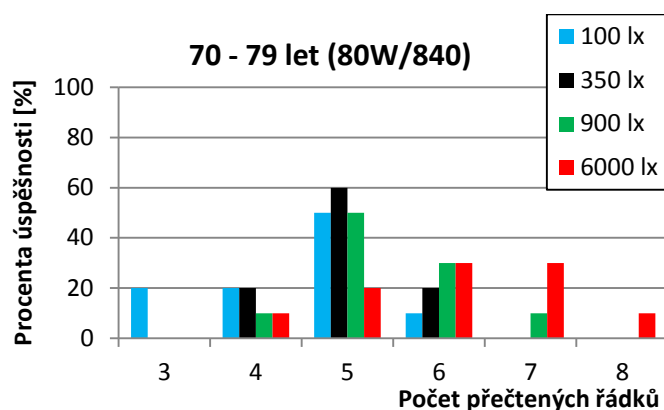
Obr. 70 Závislost procentuální úspěšnosti na počtu přečtených řádků

Pozorovatelé již nedosahují takových výsledků, kterých je potřeba k vykonávání zrakového úkolu závislého na detailu. Jako doporučení by mělo být velmi dobré místní osvětlení pracoviště pro vykonávání zrakového úkolu.

věková skupina 70 - 79 let	2. měření 80W/840			
Intenzita osvětlenosti [lx]	100	350	900	6000
Průměr	4,5	5	5,4	6,1

Tab. 27 Průměrné hodnoty měření

Podobných výsledků jako u prvního měření bylo dosaženo i u měření při osvětlení s nižší T_c , proto nezáleží jaké osvětlení pracoviště se z těchto osvětlení využije. [Příloha G, Tab. 70]



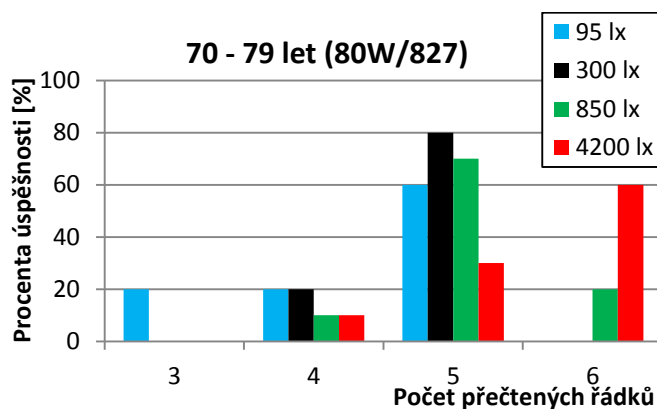
Obr. 71 Závislost procentuální úspěšnosti na počtu přečtených řádků

Pozorovatelé z věkové skupiny 70 – 79 let již nejsou schopni přečíst znaky na Snellenově tabuli ani s dobrou korekcí zraku.

věková skupina 70 - 79 let	3. měření 80W/827			
Intenzita osvětlenosti [lx]	95	300	850	4200
Průměr	4,4	4,8	5,1	5,5

Tab. 28 Průměrné hodnoty měření

Jako u předešlých skupin bylo s tímto osvětlením dosaženo absolutně nejhorších výsledků. Ve věkové skupině 70 – 79 let nejsou pozorovatelé schopni na dálku rozpoznat jemnější detail. [Příloha G, Tab. 71]



Obr. 72 Závislost procentuální úspěšnosti na počtu přečtených řádků

Jelikož osoby z této věkové skupiny již nevykonávají složité zrakové úkoly, není nutno vytvářet složité podmínky pro osvětlení, aby byl zrakový výkon dosti kvalitní.

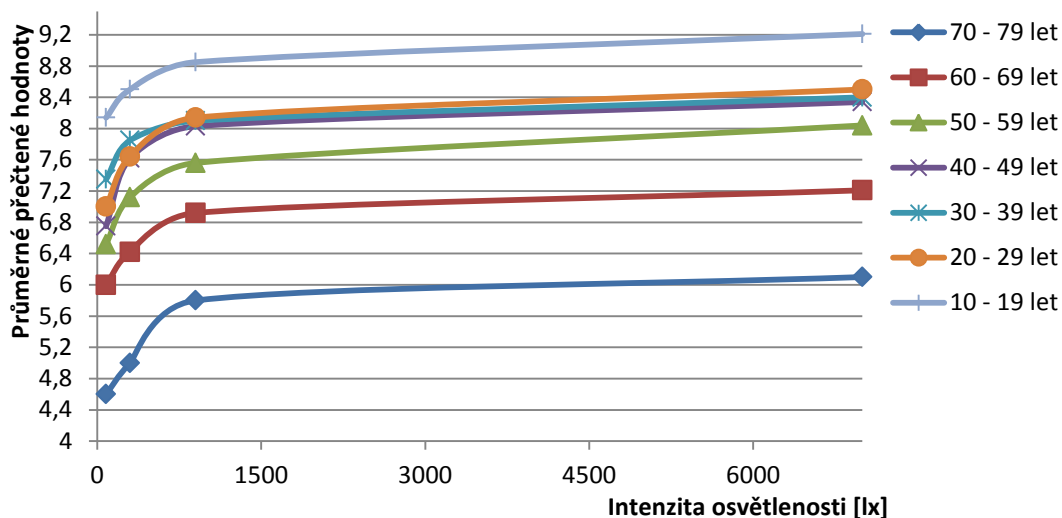
10.8 Zhodnocení měření

Měření na dálku proběhlo pro 7 zvolených věkových skupin. V každé skupině bylo změřeno minimálně 10 pozorovatelů. Tohoto měření se celkově zúčastnilo 129 pozorovatelů. Věkovou skupinu 10 – 19 let zastoupilo v měření 14 pozorovatelů. Osob ve skupině 20 – 29 let bylo celkově také 14. Zastoupení 20 osob měla skupina 30 – 39 let. Největší účast pozorovatelů 32, byla ve věkové skupině 40 – 49 let. Ve věkové skupině 50 – 59 let bylo změřeno 25 účastníků. Další věkovou skupinu 60 – 69 let zastoupilo 14 pozorovatelů a nejstarší věkovou skupinu podpořilo 10 pozorovatelů.

Z naměřených hodnot lze vyvodit několik závěrů:

- Nej kvalitnější zrakový výkon pro všechny věkové skupiny byl pod osvětlením s vysokou teplotou chromatičnosti ($T_c = 6500$ K - denní bílé světlo) popřípadě ($T_c = 4000$ K - bílé světlo)
- Nej kvalitnější zrakový výkon jsou schopny podat osoby z věkové skupiny 10 – 19 let
- Naopak nejhorší zrakový výkon lze pozorovat u věkové skupiny 70 – 79 let
- Velmi dobré zrakové výkony provedou věkové skupiny 20 – 29, 30 – 39 a 40 – 49 let
- Věkové skupiny 50 – 59, 60 – 69 let by neměly již vykonávat pracovní úkoly závislé na detailu
- Pro všechny věkové skupiny by mělo být využito celkového osvětlení s možností nastavování intenzit osvětlenosti tak, aby bylo možné rozlišovat zrakové úkoly
- Každé pracoviště by mělo být vybaveno místním osvětlením, u kterého je zabráněno oslnění pozorovatele a odrazy světla od pracoviště
- Jako osvětlování pracovišť by se nemělo využívat osvětlení s nízkou T_c
- Velmi nízké intenzity osvětlení nezajišťují zrakovou pohodu, pracovní výkon je při těchto intenzitách nekvalitní
- Velmi vysoké intenzity zajišťují velmi kvalitní pracovní výkon, ale ne zrakovou pohodu (vysoké intenzity osvětlenosti byly pro pozorovatele nepřijemné).
- Na [Obr. 73 - 75] lze pozorovat, jak se mění jednotlivé průměrné hodnoty při různých intenzitách osvětlenosti pro všechny věkové skupiny.

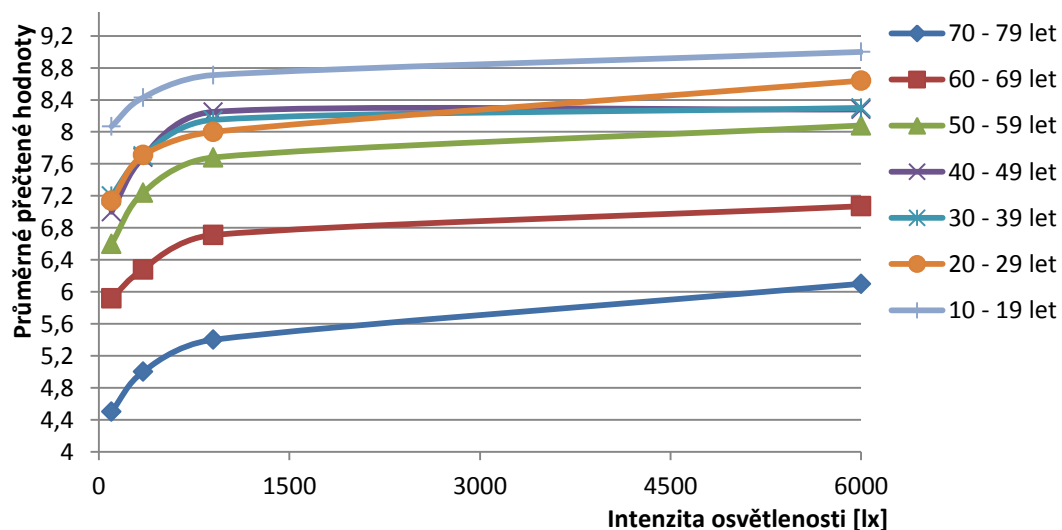
80W/865



Obr. 73 Závislost průměrných naměřených hodnot při jednotlivých intenzitách osvětlenosti

V grafu [Obr. 73] lze pozorovat, že nejmladší věková skupina se jednoznačně liší od všech ostatních. Další tři věkové kategorie mají téměř shodné průměrné výsledky. U věkové skupiny 50 – 59 let lze vidět, že průměrné výsledky dosahují ještě kvalitních hodnot. Poslední dvě skupiny již neměli ani při nejvyšších hodnotách intenzit osvětlenosti dobré výsledky měření.

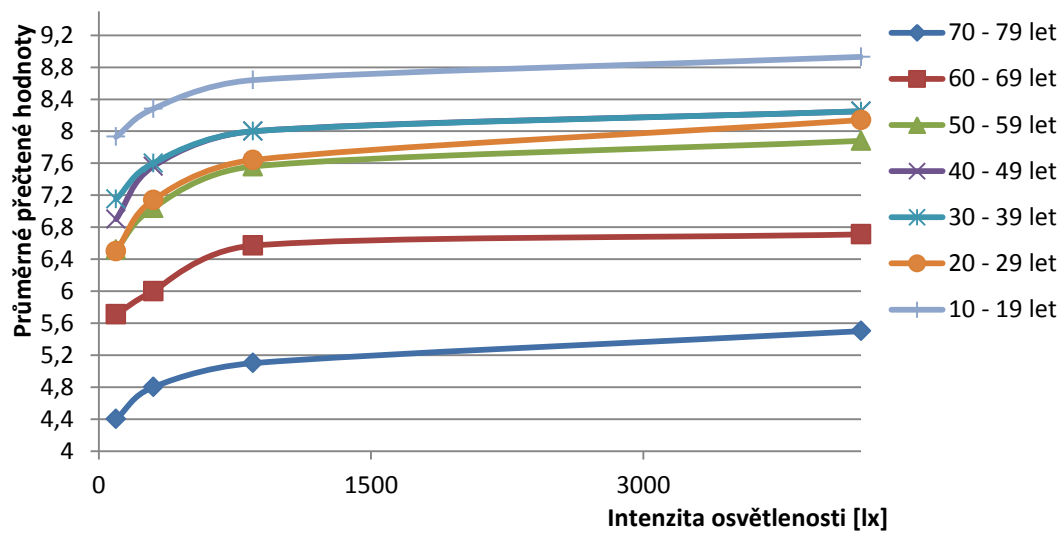
80W/840



Obr. 74 Závislost průměrných naměřených hodnot při jednotlivých intenzitách osvětlenosti

U tohoto osvětlení byly průměrné výsledky horší u všech skupin než u osvětlení z vyšší teploty chromatičnosti. Jinak průběhy jednotlivých věkových skupin jsou hodnoceny stejně jako při osvětlení 80W/865.

80W/827



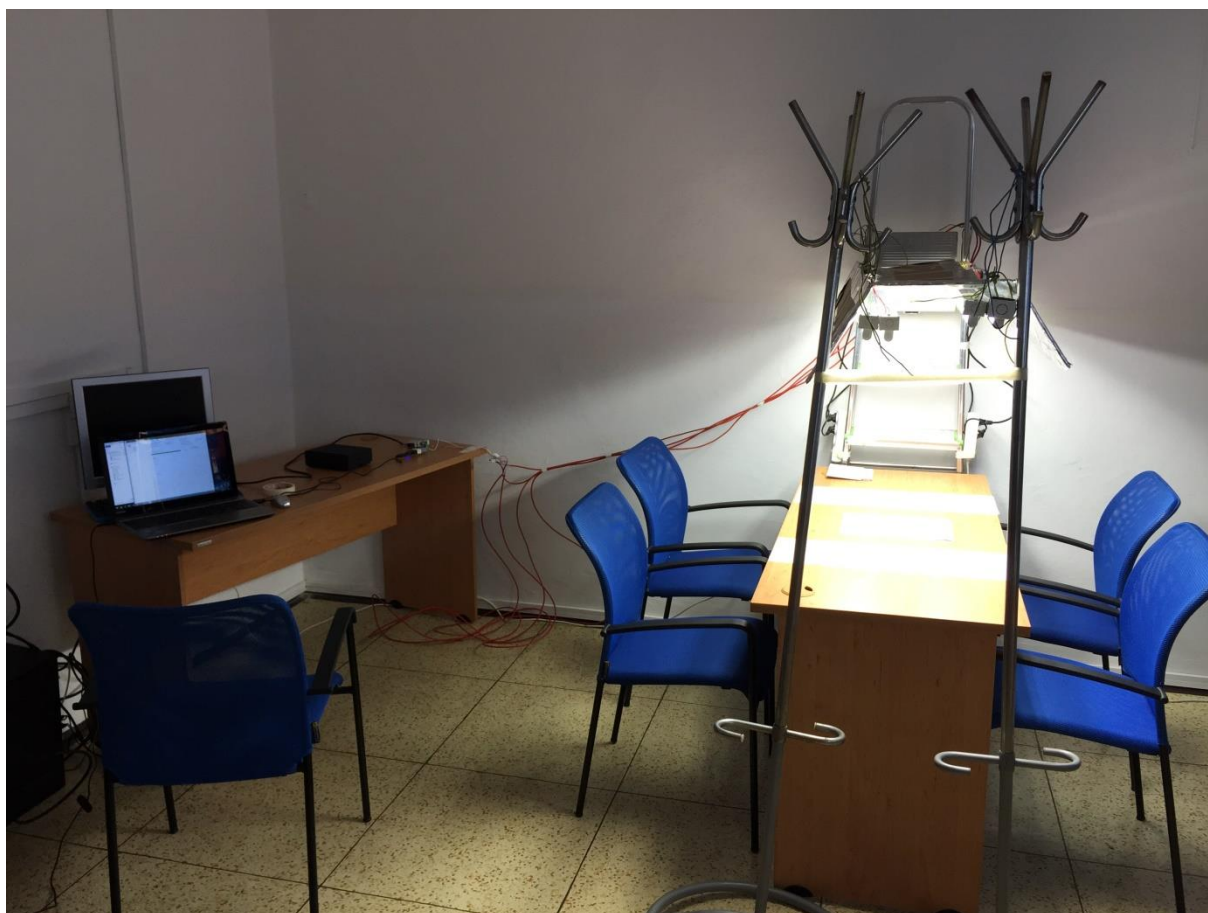
Obr. 75 Závislost průměrných naměřených hodnot při jednotlivých intenzitách osvětlenosti

Při testech na dálku se vůbec nejhorších výsledků dosahovalo u osvětlení s velmi malou teplotou chromatičnosti. Lze pozorovat, že věková skupina 20 – 29 let má s tímto osvětlením při čtení na dálku problém a dosahuje horších průměrných hodnot než u věkových skupin 30 – 39 a 40 – 49 let.

11. Výsledky měření na blízkou vzdálenost

Druhé měření [kap. 9] bylo měření na blízko pomocí Jaegerových čtecích tabulek [Příloha D]. Měření se zúčastnilo 89 pozorovatelů všech věkových skupin. Bylo využito tří světelných zdrojů a měřeny byly čtyři různé intenzity osvětlení (50 lx, 450 lx, 1500 lx a maximální nastavení). Pozorovatelé vyplňovali naměřené údaje do připravených dotazníků [Příloha E]. Podrobný přehled naměřených hodnot lze nalézt v [Příloze G].

Jako další měření na krátkou vzdálenost bylo pomocí Ishiharových obrázců [Příloha D] a po několika měření s pozorovateli bylo zjištěno, že použité osvětlení neovlivňuje při žádném nastavení intenzity osvětlení podání barev, tudíž těchto zrakových testů nadále nebylo využíváno.



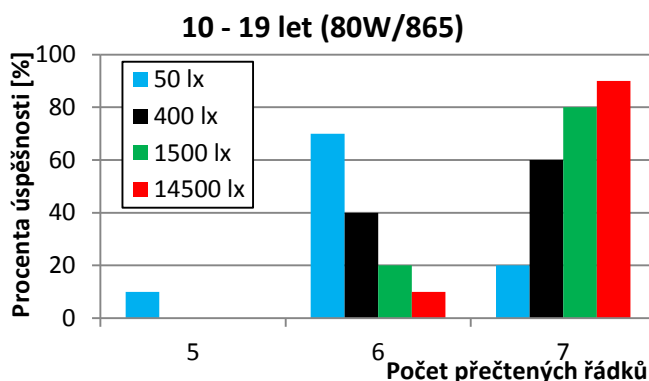
Obr. 73 Pracoviště pro měření na blízkou vzdálenost

11.1 Věková skupina 10 – 19 let

věková skupina 10 - 19 let	1. měření 80W/865			
Intenzita osvětlenosti [lx]	50	400	1500	14 500
Průměr	6,1	6,6	6,8	6,9

Tab. 29 Průměrné hodnoty měření

U nižších věkových skupin není nutné nastavovat velmi vysoké intenzity osvětlenosti. Jak lze pozorovat [Tab. 29], tak u velmi nízkých intenzit osvětlení dochází stále ke kvalitnímu zrakovému výkonu. [Příloha G, Tab. 72]



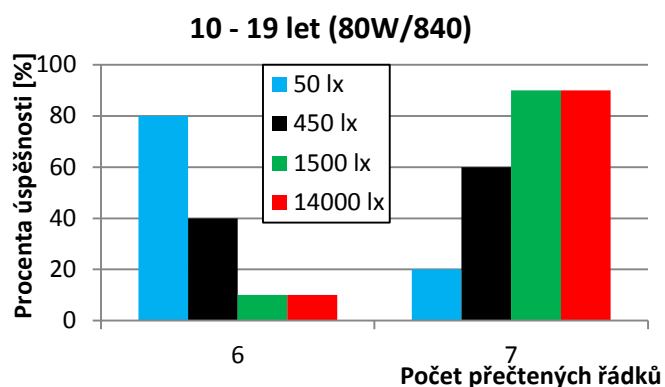
Obr. 76 Závislost procentuální úspěšnosti na počtu přečtených řádků

Graf ukazuje naměřené hodnoty věkové skupiny 10 – 19 let pro zářivkové osvětlení (80W/865). Zajímavé je, že kvalitní pracovní výkon závislý na detailu je tato věková skupina schopna vykonávat i při nejnižších měřených intenzitách osvětlenosti.

věková skupina 10 - 19 let	2. měření 80W/840			
Intenzita osvětlenosti [lx]	50	450	1500	14000
Průměr	6,2	6,6	6,9	6,9

Tab. 30 Průměrné hodnoty měření

Při tomto osvětlení dochází ještě ke zlepšení zrakového vjemu. Může to zapříčinit to, že denní bílé světlo je pro člověka na blízkou vzdálenost moc ostré, proto mu více vyhovuje světelný zdroj s menší T_c . [Příloha G, Tab. 73]



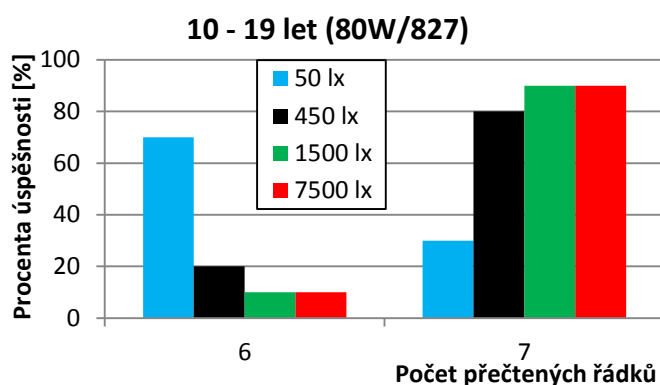
Obr. 77 Závislost procentuální úspěšnosti na počtu přečtených řádků

Naměřené hodnoty se oproti předešlému měření nepatrně zlepšily. Z toho lze soudit, že tyto zdroje světla jsou pro pozorovatele příjemnější. Pozorovatelé jsou schopni při tomto osvětlení již při malých intenzitách osvětlenosti rozlišovat poměrně veliký detail.

věková skupina 10 - 19 let	3. měření 80W/827			
Intenzita osvětlenosti [lx]	50	450	1500	7500
Průměr	6,3	6,8	6,9	6,9

Tab. 31 Průměrné hodnoty měření

Vůbec nejlepších výsledků bylo dosažováno při osvětlení s nejnižší T_c , je to přesně naopak než u měření na dálku. Je to hlavně tím, že tento světelný zdroj nemá nepříjemné světlo a tolik neoslňuje jako světelné zdroje s vyšší T_c . [Příloha G, Tab. 74]



Obr. 78 Závislost procentuální úspěšnosti na počtu přečtených řádků

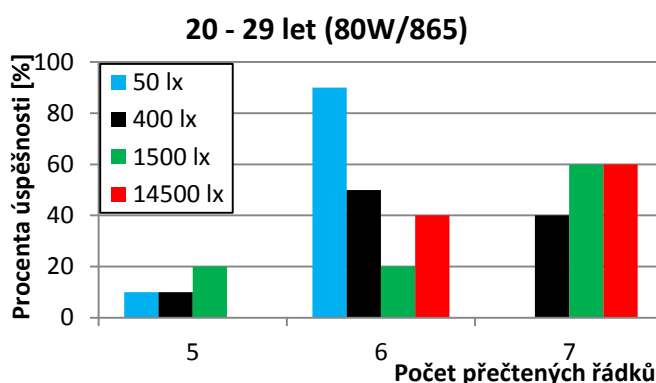
Kvalitních výsledků nebylo dosaženo pouze u velmi nízké intenzity osvětlenosti, proto je dobré nastavit na světelných zdrojích vyšší intenzitu osvětlenosti, tak aby bylo dosaženo maximálního výsledku.

11.2 Věková skupina 20 – 29 let

věková skupina 20 - 29 let	1. měření 80W/865			
Intenzita osvětlenosti [lx]	50	400	1500	14 500
Průměr	5,9	6,3	6,4	6,6

Tab. 32 Průměrné hodnoty měření

Průměrně bylo u této věkové skupiny dosahováno horších výsledků než u mladších osob. Zajímavostí je, že pozorovatelé 20 – 29 let absolutně nerozlišovali mezi světelnými zdroji a došlo k téměř stejným výsledkům měření u všech měřených osvětlovacích soustav. [Příloha G, Tab. 75]



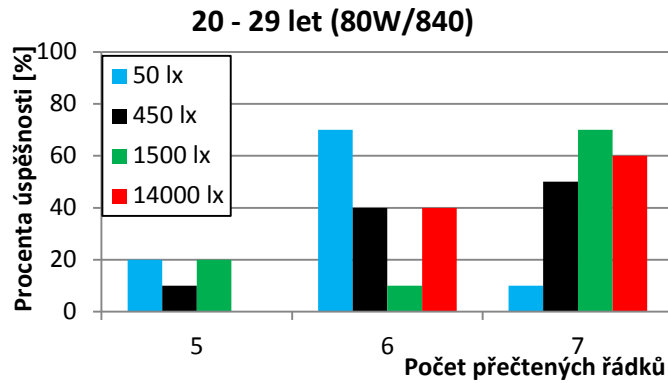
Obr. 79 Závislost procentuální úspěšnosti na počtu přečtených řádků

Oproti mladším pozorovatelům došlo ke zhoršení zrakového vjemu. Pozorovatelé již měli problém s přečtením nejmenších řádků na Jaegerově tabuli. Ovšem při nastavení vysokých intenzit osvětlenosti docházelo k dostatečnému zrakovému výkonu.

věková skupina 20 - 29 let	2. měření 80W/840			
Intenzita osvětlenosti [lx]	50	450	1500	14000
Průměr	5,9	6,4	6,5	6,6

Tab. 33 Průměrné hodnoty měření

Pozorovatel je schopen rozpoznat menší detail i při nastavení velmi nízké intenzity osvětlenosti avšak využívat příliš nízké nastavení intenzity osvětlenosti by mohlo přinést v pokročilém věku velké následky. [Příloha G, Tab. 76]



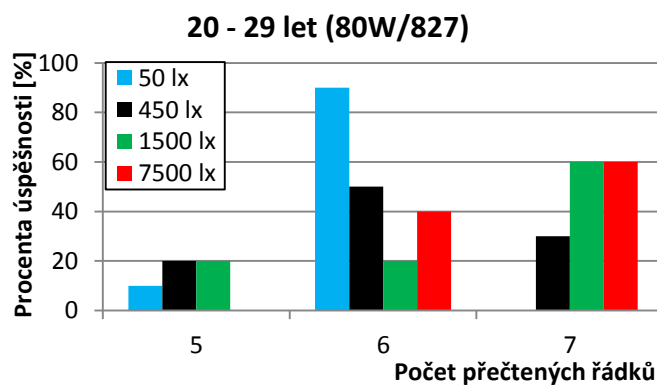
Obr. 80 Závislost procentuální úspěšnosti na počtu přečtených řádků

Mladší věkové skupiny neměly problém rozlišovat menší detaily, avšak je zde již znát menší zhoršení zrakového vjemu vůči věkové skupině 10 – 19 let. Při vysokých intenzitách osvětlenosti docházelo k bezproblémovému přečtení i nejmenších hodnot na Jaegerových tabulkách.

věková skupina 20 - 29 let	3. měření 80W/827			
Intenzita osvětlenosti [lx]	50	450	1500	7500
Průměr	5,9	6,1	6,4	6,6

Tab. 34 Průměrné hodnoty měření

Se zvyšující se intenzitou osvětlenosti jsou pozorovatelé schopni rozlišit větší počet řádků. Mezi maximální hladinou osvětlenosti a 1500 lx již nenastávalo žádné velké zlepšení. Spíše si pozorovatelé ztěžovali, že už je osvětlení moc prudké. [Příloha G, Tab. 77]



Obr. 81 Závislost procentuální úspěšnosti na počtu přečtených řádků

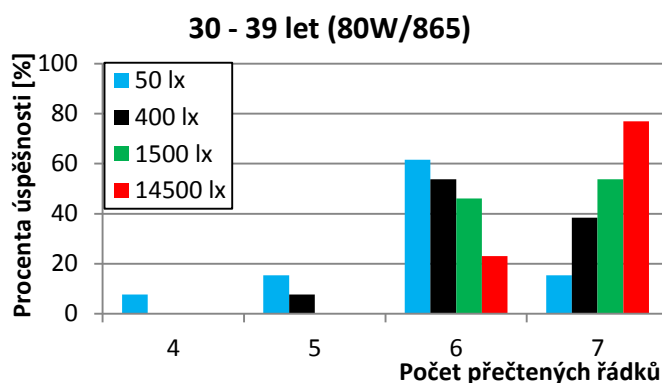
Při tomto osvětlení nedošlo k tak jednoznačným výsledkům jako u věkové skupiny 10 – 19 let. Naopak nejlépe pozorovatelé rozlišovali nejmenší detaily u osvětlení s vyšší $T_c = 4000$ K.

11.3 Věková skupina 30 – 39 let

věková skupina 30 - 39 let	1. měření 80W/865			
Intenzita osvětlenosti [lx]	50	400	1500	14 500
Průměr	5,85	6,31	6,54	6,77

Tab. 35 Průměrné hodnoty měření

Věková skupina 30 – 39 při měření na blízkou vzdálenost dopadla o poznání lépe než pozorovatelé ze skupiny 20 – 29 let. Může to být zapříčiněno tím, že tyto dvě věkové kategorie mají k sobě nejbližší. [Příloha G, Tab. 78]



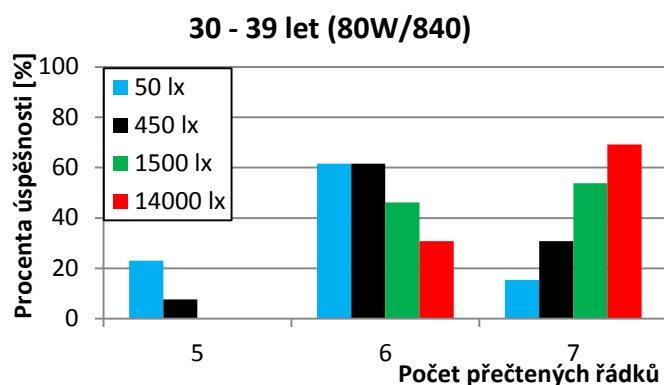
Obr. 82 Závislost procentuální úspěšnosti na počtu přečtených řádků

Z [Obr. 82] lze vyčíst, že pozorovatelé dosahují velmi kvalitních výsledků, i když se už objevilo pár jedinců, kteří měli s daným zrakovým úkolem problém. Avšak intenzity osvětlenosti kolem 400 lx by mělo stačit při osvětlení jejich pracoviště.

věková skupina 30 - 39 let	2. měření 80W/840			
Intenzita osvětlenosti [lx]	50	450	1500	14000
Průměr	5,92	6,23	6,54	6,69

Tab. 36 Průměrné hodnoty měření

Je zajímavé, že naměřené výsledky u všech druhů osvětlení se nelišili tolik jako u měření na dlouhou vzdálenost. Při tomto osvětlení byli pozorovatelé schopni vykonat velmi kvalitní zrakový úkol. [Příloha G, Tab. 79]



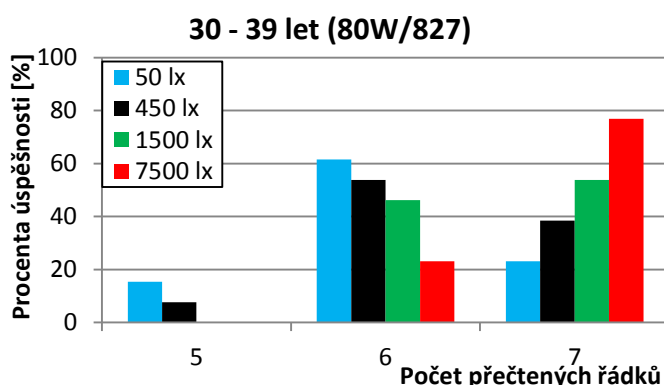
Obr. 83 Závislost procentuální úspěšnosti na počtu přečtených řádků

Věková skupina 30 – 39 let může pracovat pod osvětlením se středními až vyššími intenzitami osvětlenosti. Intenzita osvětlenosti by se měla pohybovat kolem 450 lx, kdyby šlo hladinu osvětlenosti navýšit, došlo by ke zlepšení zrakového výkonu.

věková skupina 30 - 39 let	3. měření 80W/827			
Intenzita osvětlenosti [lx]	50	450	1500	7500
Průměr	6,08	6,31	6,54	6,77

Tab. 37 Průměrné hodnoty měření

Velmi kvalitních výsledků se při měření na blízko dosahovalo při měření s osvětlením s nízkou T_c . Při tomto osvětlení bylo dosahováno velmi vysokých průměrných hodnot u všech intenzit osvětlenosti. [Příloha G, Tab. 80]



Obr. 84 Závislost procentuální úspěšnosti na počtu přečtených řádků

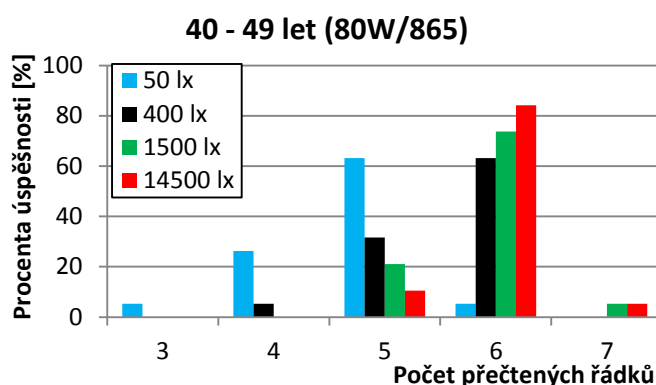
Přibližně 80% pozorovatelů bylo schopno při nejvyšší intenzitě osvětlenosti přečíst nejsložitější řádek. Při $E = 1500$ lx se nejvyššího počtu dočetlo přes 50% osob. Ovšem i při nižší nastavené hladině osvětlenosti se pozorovatelé dostali až k avizovanému řádku.

11.4 Věková skupina 40 – 49 let

věková skupina 40 - 49 let	1. měření 80W/865			
Intenzita osvětlenosti [lx]	50	400	1500	14 500
Průměr	4,68	5,58	5,84	5,95

Tab. 38 Průměrné hodnoty měření

U této věkové kategorie už dochází ke značnému zhoršení vůči mladším kategoriím. Ani při nejvyšším nastavení intenzity osvětlenosti nejsou schopni rozlišit maximální detail. [Příloha G, Tab. 81]



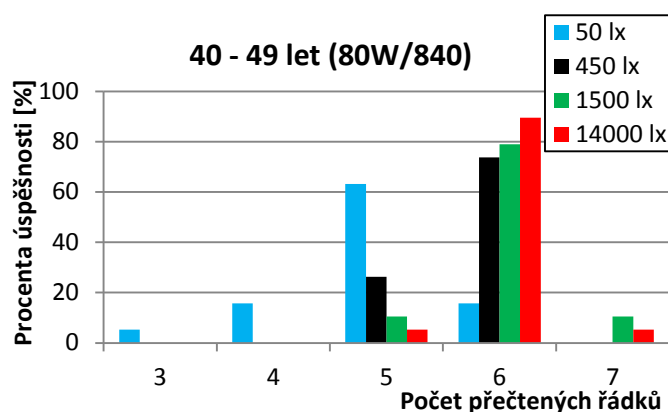
Obr. 85 Závislost procentuální úspěšnosti na počtu přečtených řádků

Pouze 5% pozorovatelů dosáhlo maximálního výsledku a to pouze u vysokých intenzit. Ovšem s šestým řádkem si poradila naprostá většina pozorovatelů. Pouze u nejnižší hladiny osvětlenosti již nebyly výsledky vůbec dobré.

věková skupina 40 - 49 let	2. měření 80W/840			
Intenzita osvětlenosti [lx]	50	450	1500	14000
Průměr	4,89	5,74	6	6

Tab. 39 Průměrné hodnoty měření

Lepších výsledků bylo dosaženo při osvětlení s nižší T_c . U vysokých intenzit průměry dosahují opět velmi dobrých výsledků. To znamená, že věková skupina 40 – 49 let je schopna vykonávat dobrý zrakový výkon při vysokých intenzitách osvětlenosti. [Příloha G, Tab. 82]



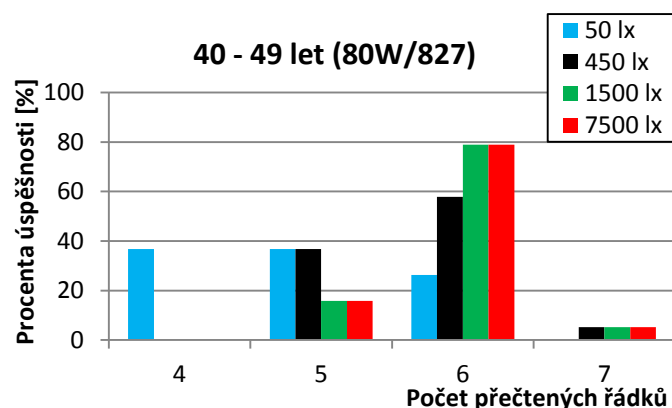
Obr. 86 Závislost procentuální úspěšnosti na počtu přečtených řádků

Při 14000 lx téměř 90% pozorovatelů přečetli šestý řádek na Jaegerově tabuli. U nižších intenzit bylo dosahováno též velmi kvalitních výsledků, ale u $E = 50$ lx již pozorovatelé nerozpoznávali jemnější detaily.

věková skupina 40 - 49 let	3. měření 80W/827			
Intenzita osvětlenosti [lx]	50	450	1500	7500
Průměr	4,89	5,68	5,89	5,89

Tab. 40 Průměrné hodnoty měření

Průměrné hodnoty věkové skupiny 40 – 49 let při osvětlení 80W/827 byly horší než u zbylých světelných zdrojů. Zajímavostí je, že u předchozích měření nižších věkových kategorií bylo toto osvětlení bráno vždy za nejlepší. [Příloha G, Tab. 83]



Obr. 87 Závislost procentuální úspěšnosti na počtu přečtených řádků

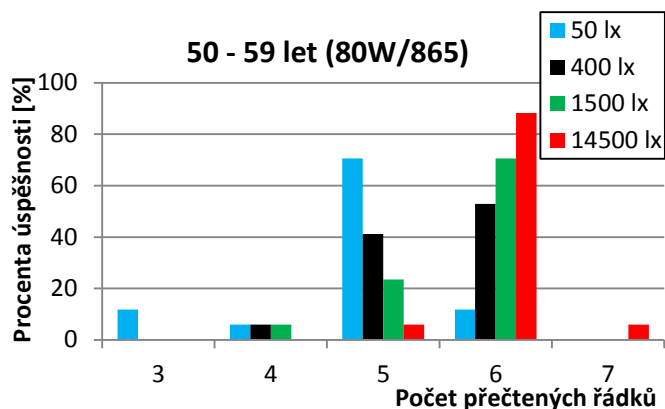
Pouze několik málo jednotek procent úspěšnosti měli pozorovatelé v přečtení nejsložitějšího řádku. Se šestým řádkem si poradila většina pozorovatelů téměř při všech hladinách osvětlenosti, jen u minimální hladiny se již dobrý zrakový výkon nedařil.

11.5 Věková skupina 50 – 59 let

věková skupina 50 - 59 let	1. měření 80W/865			
Intenzita osvětlenosti [lx]	50	400	1500	14 500
Průměr	4,86	5,47	5,65	6

Tab. 41 Průměrné hodnoty měření

Průměrné hodnoty se pohybují na stejné úrovni jako u věkové skupiny 40 – 49 let. Dobrého zrakového výkonu jsou pozorovatelé schopni dosáhnout pouze u vyšších hladin osvětlenosti. [Příloha G, Tab. 84]



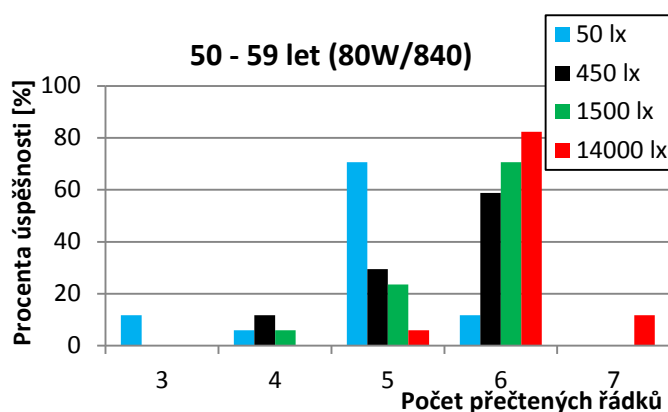
Obr. 88 Závislost procentuální úspěšnosti na počtu přečtených řádků

Téměř 90% pozorovatelů přečetlo šestý řádek, který jde stále hodnotit jako za dobrý zrakový výkon. Se snižující se intenzitou osvětlenosti se pohled na jemnější detail zhoršuje.

věková skupina 50 - 59 let	2. měření 80W/840			
Intenzita osvětlenosti [lx]	50	450	1500	14000
Průměr	4,82	5,47	5,65	6,06

Tab. 42 Průměrné hodnoty měření

Stejných průměrných výsledků bylo dosaženo i u osvětlení 80W/865. V této věkové skupině již všichni potřebovali zrakovou korekci a ani s ní nebyli schopni dosáhnout maximálních výsledků. [Příloha G, Tab. 85]



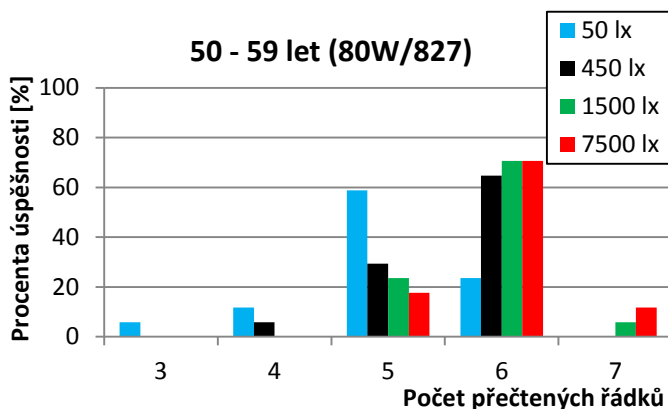
Obr. 89 Závislost procentuální úspěšnosti na počtu přečtených řádků

Při vysokých hladinách osvětlenosti v poměrně vysokém procentu pozorovatelé zvládali přečíst šestý řádek. Naopak při velmi nízké hladině osvětlenosti již zrakový výkon nedosahoval dobrých výsledků. U této věkové skupiny by tedy mělo být vytvořeno pracoviště s nastavitelnou intenzitou osvětlenosti, kde by mohlo být dosaženo i velkých hodnot nastavených intenzit osvětlenosti.

věková skupina 50 - 59 let	3. měření 80W/827			
Intenzita osvětlenosti [lx]	50	450	1500	7500
Průměr	5	5,59	5,82	5,94

Tab. 43 Průměrné hodnoty měření

Jako u věkové skupiny 40 – 49 let bylo u tohoto druhu osvětlení dosaženo špatných výsledků. Nemělo by se tedy toto osvětlení pro věkovou skupinu 50 – 59 let využívat pro složité zrakové úkoly. [Příloha G, Tab. 86]



Obr. 90 Závislost procentuální úspěšnosti na počtu přečtených řádků

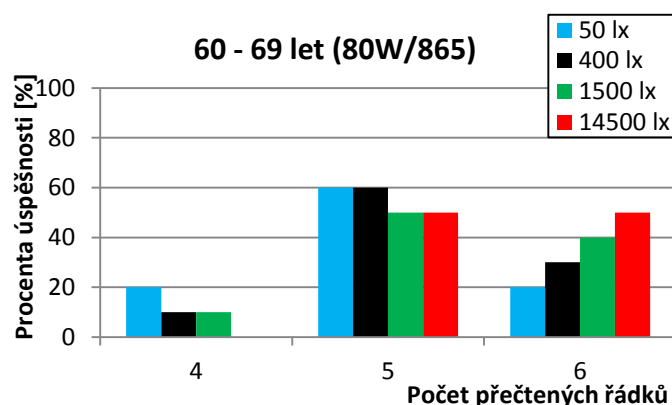
U maximální intenzity osvětlenosti a nastavené $E = 1500$ došlo ke srovnatelným výsledkům, proto není nutné zbytečně pracoviště hodně osvětlovat. Velmi dobrých výsledků bylo pro tuto věkovou skupinu dosaženo i pro $E = 450$ lx.

11.6 Věková skupina 60 – 69 let

věková skupina 60 - 69 let	1. měření 80W/865			
Intenzita osvětlenosti [lx]	50	400	1500	14 500
Průměr	5	5,2	5,3	5,5

Tab. 44 Průměrné hodnoty měření

Pozorovatelé věkové skupiny 60 – 69 let jsou již na rozhraní důchodového věku a mají problémy s jemným zrakovým výkonem při jakémkoliv osvětlení, ale při vysokých intenzitách osvětlenosti jsou schopni dosáhnout ještě kvalitních výsledků. [Příloha G, Tab. 87]



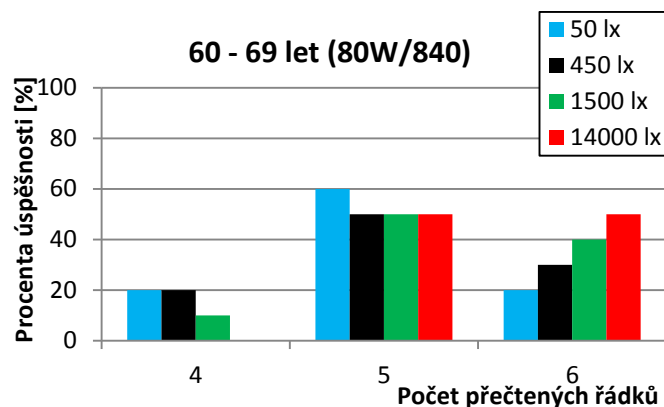
Obr. 91 Závislost procentuální úspěšnosti na počtu přečtených řádků

Nikdo z pozorovatelů této věkové kategorie již nebyl schopen rozlišit nejmenší řádek textu. Pouze 50 % osob přečetlo při maximální intenzitě osvětlenosti šestý řádek. Většina pozorovatelů se spíše pohybovala na rozlišení pátého řádku.

věková skupina 60 - 69 let	2. měření 80W/840			
Intenzita osvětlenosti [lx]	50	450	1500	14000
Průměr	5	5,1	5,3	5,5

Tab. 45 Průměrné hodnoty měření

Shodných výsledků jako u osvětlení s vysokou T_c bylo dosaženo i u osvětlení s $T_c = 4000$ K. Opět při nastavení velmi vysokých intenzit osvětlení jsou pozorovatelé schopni rozlišit a jemnější detail. [Příloha G, Tab. 88]



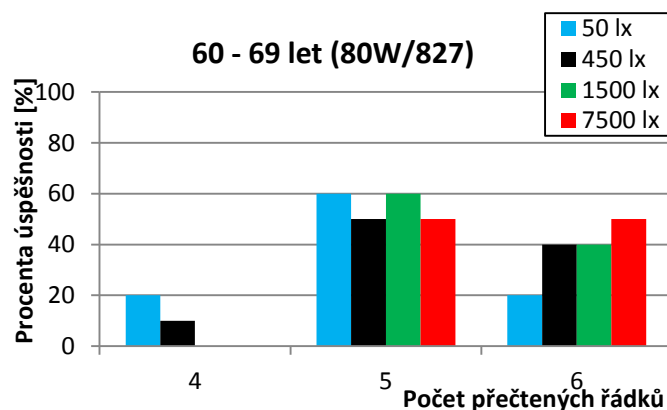
Obr. 92 Závislost procentuální úspěšnosti na počtu přečtených řádků

Nikdo z pozorovatelů této věkové kategorie již nebyl schopen rozlišit nejmenší řádek textu. Pouze 50 % osob přečetlo při maximální intenzitě osvětlenosti šestý řádek. Většina pozorovatelů se spíše pohybovala na rozlišení pátého řádku.

věková skupina 60 - 69 let	3. měření 80W/827			
Intenzita osvětlenosti [lx]	50	450	1500	7500
Průměr	5	5,3	5,4	5,5

Tab. 46 Průměrné hodnoty měření

Bylo naměřeno téměř stejných výsledků jako u předchozích osvětlovacích soustav. To znamená, že při vysokých intenzitách osvětlenosti jsou pozorovatelé z věkové skupiny 60 – 69 let vykonat kvalitní zrakový výkon. [Příloha G, Tab. 89]



Obr. 93 Závislost procentuální úspěšnosti na počtu přečtených řádků

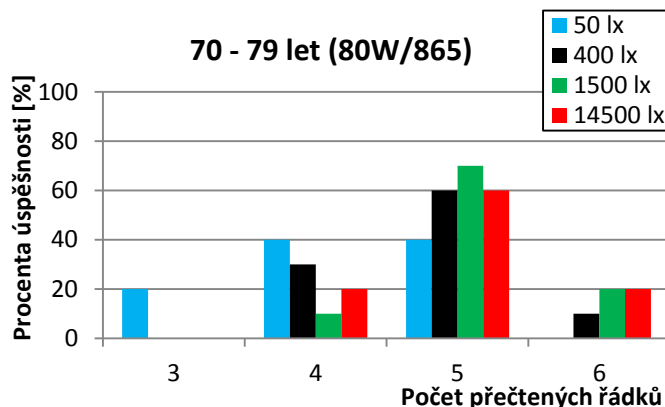
Nikdo z pozorovatelů této věkové kategorie již nebyl schopen rozlišit nejmenší řádek textu. Pouze 50 % osob přečetlo při maximální intenzitě osvětlenosti šestý řádek. Většina pozorovatelů se spíše pohybovala na rozlišení pátého řádku.

11.7 Věková skupina 70 – 79 let

věková skupina 70 - 79 let	1. měření 80W/865			
Intenzita osvětlenosti [lx]	50	400	1500	14 500
Průměr	4,2	4,9	5,1	5

Tab. 47 Průměrné hodnoty měření

Podle předpokladů byly nejhorší výsledky naměřeny u věkové skupiny 70 – 79 let. Ani při nastavení vysokých hodnot intenzity osvětlenosti již nerozpoznají jemné detaily. [Příloha G, Tab. 90]



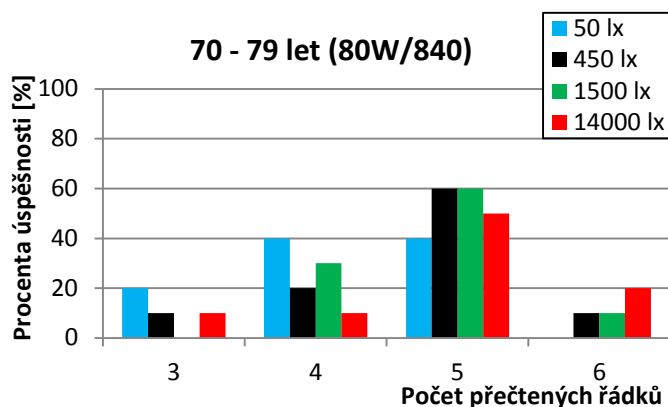
Obr. 94 Závislost procentuální úspěšnosti na počtu přečtených řádků

Většina zúčastněných pozorovatelů přečetla pátý řádek, to znamená, že pracoviště nemusí být vybaveno osvětlovací soustavou s nastavením velmi vysokých intenzit osvětlenosti, ale už by neměli vykonávat úkoly náročné na zrakové ústrojí.

věková skupina 70 - 79 let	2. měření 80W/840			
Intenzita osvětlenosti [lx]	50	450	1500	14000
Průměr	4,2	4,7	4,8	4,8

Tab. 48 Průměrné hodnoty měření

Ještě horších průměrných výsledků bylo naměřeno u osvětlení 80W/840. Při tomto osvětlení by pozorovatel neměl vykonávat žádný složitý zrakový úkol. [Příloha G, Tab. 91]



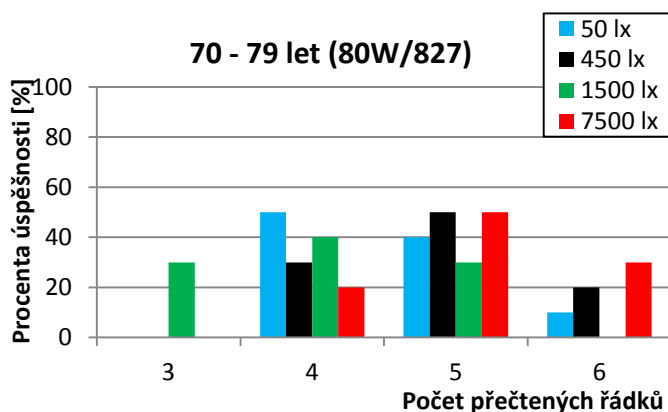
Obr. 95 Závislost procentuální úspěšnosti na počtu přečtených řádků

Většina zúčastněných pozorovatelů věkové skupiny 70 – 79 let přečetla pátý řádek, to znamená, že pracoviště nemusí být vybaveno osvětlovací soustavou s nastavením velmi vysokých intenzit osvětlenosti, ale už by neměli vykonávat úkoly náročné na zrakové ústrojí.

věková skupina 70 - 79 let	3. měření 80W/827			
Intenzita osvětlenosti [lx]	50	450	1500	7500
Průměr	4,6	4,9	5	5,1

Tab. 49 Průměrné hodnoty měření

Nejlepších výsledků bylo naměřeno u osvětlení s velmi nízkou T_c , ovšem nemění to nic na poznatku, že nejstarší měřená věková skupina, by neměla v žádném případě vykonávat velmi složité zrakové úkoly. [Příloha G, Tab. 92]



Obr. 96 Závislost procentuální úspěšnosti na počtu přečtených řádků

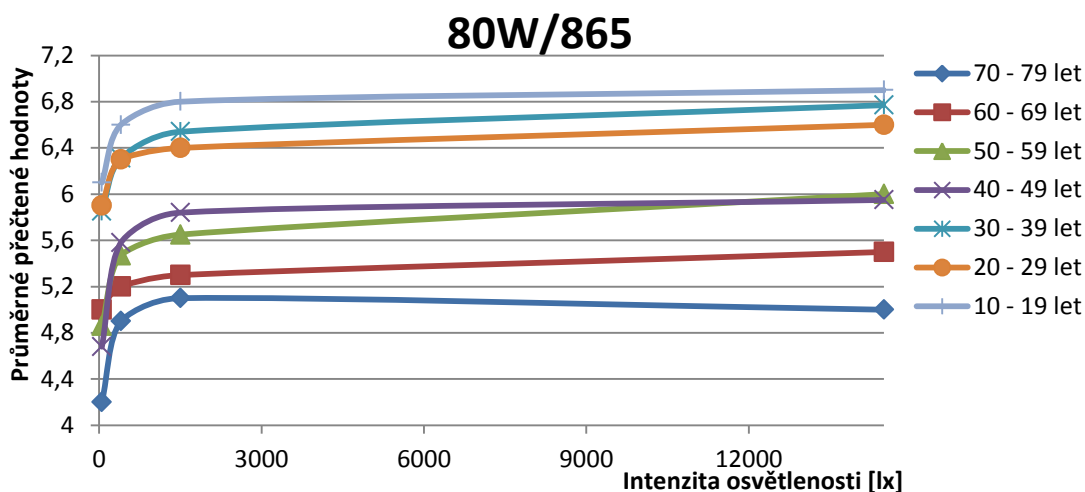
30% pozorovatelů bylo schopno rozpoznat při nejvyšší hladině osvětlenosti šestý řádek textu, ale opět se většina z nich orientovala pouze k pátému neuspokojivému řádku.

11.8 Zhodnocení měření

Měření na blízkou vzdálenost proběhlo pro 7 zvolených věkových skupin. V každé skupině bylo změřeno minimálně 10 pozorovatelů. Tohoto měření se celkově zúčastnilo 89 pozorovatelů. Věkovou skupinu 10 – 19 let zastoupilo v měření 10 pozorovatelů. Osob ve skupině 20 – 29 let bylo celkově také 10. Zastoupení 13 osob měla skupina 30 – 39 let. Největší účast 19 pozorovatelů, byla ve věkové skupině 40 – 49 let. Ve věkové skupině 50 – 59 let bylo změřeno 17 účastníků. Další věkovou skupinu 60 – 69 let zastoupilo 10 pozorovatelů a nejstarší věkovou skupinu zastoupilo 10 pozorovatelů.

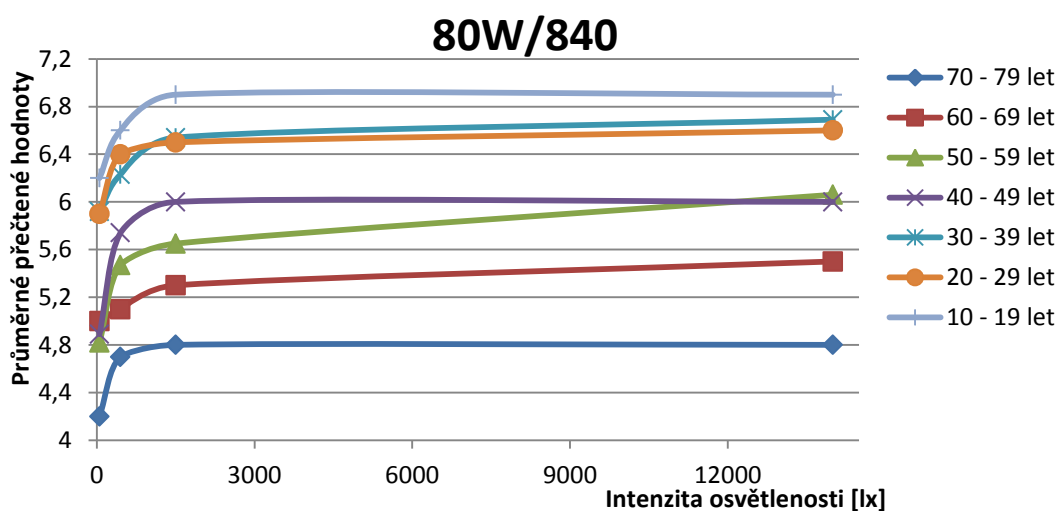
Z jednotlivých měření lze vyvodit několik závěrů:

- Nejlepších výsledků dosahovala v průměrných hodnotách věková skupina 10 – 19 let.
- Nejlepším osvětlením pro tuto věkovou skupinu bylo osvětlení s nízkou teplotou chromatičnosti.
- Skupina pozorovatelů ve věkové skupině 20 – 29 let dosáhla též velmi kvalitních výsledků a neměly problém rozlišovat nejmenší řádek, který znázorňoval složitý zrakový úkol.
- Oproti první věkové skupině se průměrné hodnoty při jednotlivých osvětleních tolik nelišily.
- Věková skupina 30 – 39 let také dosáhla velmi kvalitních výsledků. Tato věková kategorie stále může vykonávat práci, kde je potřeba velmi dobrý zrakový vjem.
- Další dvě věkové skupiny 40 – 49 let a 50 – 59 let měly téměř shodné výsledky, ale již nejsou schopné rozlišit takový detail jako předchozí věkové kategorie.
- U těchto dvou kategorií by mělo již být velmi dobré celkové osvětlení s vysokými intenzitami osvětlenosti, ale také hodně kvalitní místní přisvětlení pracoviště.
- Velmi špatných výsledků bylo dosaženo u posledních dvou věkových kategorií. Může to být způsobeno, že tato skupina pozorovatelů již má značně unavený zrak a už ho nepotřebuje na rozlišování jemného detailu (většinou již důchodový věk).
- Oproti měření na dálku bylo nejlepších výsledků dosahováno při osvětlení s nejmenší $T_c = 2700$. Mohlo to být způsobeno tím, že osvětlení nedosahovalo vysokých intenzit osvětlenosti, proto ani neoslňovalo jednotlivé pozorovatele.
- Na [Obr. 97 - 99] lze pozorovat, jak se mění jednotlivé naměřené průměrné hodnoty pro různé intenzity osvětlenosti pro všechny věkové skupiny.



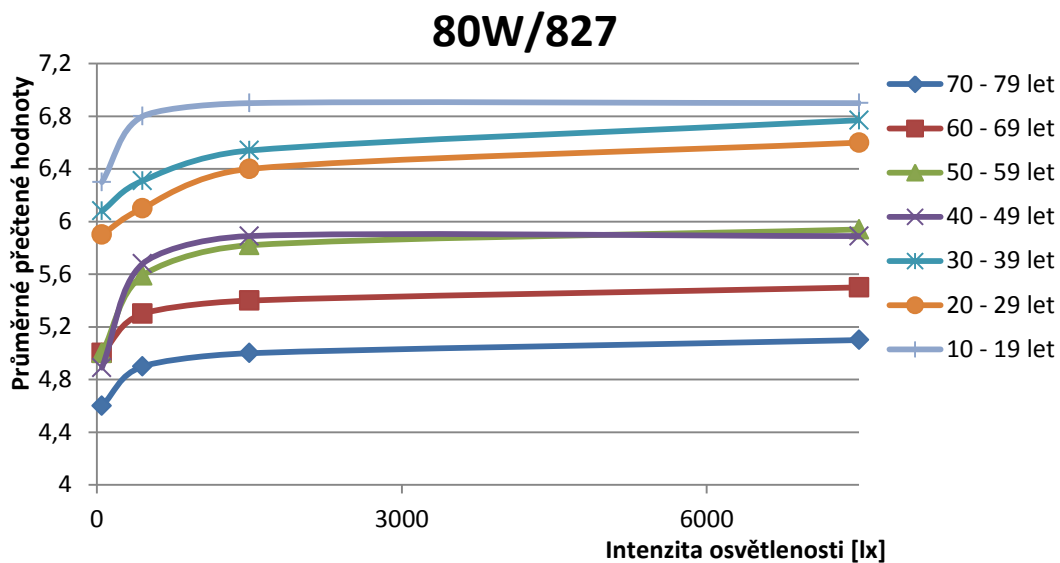
Obr. 97 Závislost průměrných naměřených hodnot při jednotlivých intenzitách osvětlenosti

Nejmladší věková skupina neměla stejně jako u testů na dálku problém se čtením i nejmenších řádků na jednotlivých tabulích. Věkové skupiny 20 – 29 let a 30 – 39 let dosahovaly přibližně stejných výsledků, ovšem starší skupina z těchto dvou dokonce dosáhla o pár jednotek lepších průměrných výsledků. Další zajímavé zjištění bylo, že věkové skupiny měly při nejvyšších intenzitách osvětlenosti větší problém se čtením než u nižších intenzit osvětlenosti. U jednotlivých světelných zdrojů není takový rozdíl průměrných naměřených hodnot jako u měření na dálku.



Obr. 98 Závislost průměrných naměřených hodnot při jednotlivých intenzitách osvětlenosti

Jako u světelného zdroje 80W/865 bylo dosaženo podobných výsledků. Vůbec nejhorších a neuspokojivých výsledků dosahovala věková skupina 70 – 79 let, která by v žádném případě již neměla vykonávat žádný úkol, který je složitý na zrakový vjem.



Obr. 99 Závislost průměrných naměřených hodnot při jednotlivých intenzitách osvětlenosti

Nejllepší průměrné hodnoty byly naměřeny u osvětlení s nejmenší teplotou chromatičnosti. Může to být způsobeno tím, že o tohoto světelného zdroje nešla nastavit tak vysoká intenzita osvětlenosti jako u předchozích světelných zdrojů, proto nevznikaly na pracovišti takové odlesky a nebylo způsobováno jednotlivým pozorovatelům takové oslnění. Podle všech měření vyšla nejlépe dle předpokladů věková skupina 10 – 19 let a pozorovatelé v tomto věku mohou vykonávat jakkoliv těžký zrakový úkol, kdežto nejstarší věková skupina pozorovatelů by se měla soustředit již pouze na jednoduché zrakové úkoly s dostatečnou korekcí zraku.

Závěr

Diplomová práce se zabývá osvětlením pracovišť při rozdílných potřebách pozorovatelů. Nejdříve než mohla být věnována pozornost samotným pracovištím a jednotlivým měřením, bylo nutno vše popsat v teoretické části. Jelikož se diplomová práce zabývá zrakovým vjemem, bylo nutné popsat a vysvětlit kompletní fyziologii zraku. V úvodních kapitolách je tedy popsáno zrakové ústrojí a různé vlastnosti oka.

V další části byla řešena problematika lidského vidění a vlivu denního a umělého osvětlení na lidský organismus a jeho biorytmy. V jednotlivých částech byly popsány vlivy světla na biologické rytmy a poruchy biologických rytmů.

Méně důležitou kapitolou byla část zabývající se navrhováním osvětlovacích soustav vnitřních prostor, ve které byly popsány obecné vlastnosti při volbě světelného zdroje a při volbě svítidla. Z těchto požadavků potom vyplývá osvětlování různých pracovních prostorů, ve kterých ale není zohledňován věk. Postupně bylo popsáno, jaké osvětlení se využívá v administrativních budovách, průmyslových budovách, školních, vzdělávacích a zdravotnických zařízeních.

Nedílnou součástí návrhu osvětlovacích soustav je jejich kvalita z pohledu pozorovatele a odborné veřejnosti. Zde lze zjistit, jaké aspekty jsou důležité pro návrh osvětlovacích soustav z hlediska kvality. V neposlední řadě byly popsány jednotlivé světelné zdroje, se kterými se lze setkat ve vnitřních prostorech.

V praktické části jsem se zabýval návrhem pracovišť pro jednotlivá měření. Nakonec byla využita dvě pracoviště, na kterých se měřilo pro sedm různých věkových skupin pozorovatelů. První bylo pro měření na dálku a druhé pro měření na blízkou vzdálenost. Když byla získána představa o jednotlivých pracovištích, mohlo se začít s výběrem zrakových testů, které nakonec byly na jednotlivých pracovištích použity.

K pracovišti na měření na dálku byla využita Snellenova tabule s desíti řádky. Tohoto měření se zúčastnilo celkem 129 pozorovatelů různých věkových skupin. Na druhém pracovišti, které se týkalo měření na krátkou vzdálenost, byly použity Jaegerovy čtecí testy a Pseudoisochromatické Ishiharovy tabulky a měření se zúčastnilo 89 pozorovatelů všech věkových skupin.

Hlavním úkolem diplomové práce bylo zjistit, jak reagují pozorovatelé různých věkových skupin na různé intenzity osvětlenosti pro různé světelné zdroje. Na obou pracovištích bylo měřeno pro tři světelné zdroje a tyto zdroje byly nastavovány na čtyři intenzity osvětlenosti.

U měření na dálku byly zjištěny obrovské rozdíly v potřebě světla pro věkové skupiny pozorovatelů. Zatímco nejmladší věková skupina 10 – 19 let zvládala jakýkoliv světelný úkol bez větších problémů, tak nejstarší věková skupina 70 – 79 let měla i při vysokých intenzitách osvětlenosti značné problémy. Z naměřených

výsledků lze doporučit několik nových požadavků na osvětlování pracovišť pro dané věkové skupiny pozorovatelů.

- Pozorovatelé různých věkových skupin by měli být patřičně na pracovištích rozděleny, protože mají značně rozdílné nároky na zrakový úkol.
- U jednotlivých pracovišť by mělo být vlastní nastavení intenzit osvětlenosti pro daný zrakový úkol.
- Pro nejnižší věkovou skupinu 10 - 19 postačí jen osvětlení při nižší intenzitě osvětlenosti, u které jsou schopni vykonat kvalitní zrakový výkon.
- Věkové skupiny 20 – 29, 30 – 39 a 40 – 49 jsou schopny vykonávat složitý zrakový úkol na stejném pracovišti, protože jejich výsledky neměly od sebe velké odchylky.
- Věková skupina 50 – 59 let by již neměla vykonávat žádný složitý zrakový úkol, protože ani při nastavení vysokých intenzit osvětlenosti nedosahovala potřebných výsledků.
- Věková skupina 60 – 69 a 70 – 79 let již vykazovala velmi neuspokojivých výsledků při jakékoliv nastavené intenzitě osvětlenosti. Tyto skupiny nejsou schopni rozlišit ani s dobrou korekcí zraku takový detail jako mladší věkové skupiny.
- Pokud na pracovišti není k dispozici denní světlo, je nutné využít velmi kvalitních osvětlovacích soustav, při kterých pozorovatel své pracoviště dokáže vnímat tak, jako by se nacházel pod denním osvětlením.
- Kvalita osvětlovacích soustav na pracovištích je neuspokojivá. Jedná se jak o nekvalitní osvětlení, tak o nedostatečné využití světelných předpokladů zdroje.
- Podle výsledků měření by na celkové osvětlení pracoviště mělo být voleno osvětlení s vyšší teplotou chromatičnosti.

Druhé měření na blízkou vzdálenost se týkalo měření pro pracoviště na přesnější detail. Při tomto měření nebyly zaznamenány tak velké rozdíly, jako u měření na dálku. Ovšem jednoznačně nejlepších výsledků dosahovala věková skupina 10 – 19 let. Z naměřených výsledků lze vyvodit několik doporučení.

- Jako u měření na dálku nebyly u tohoto měření pozorovány takové rozdíly v rozlišování detailu.
- Jednotlivá pracoviště by měla být vybavena, jak celkovým osvětlením prostoru, tak místním přisvícením daného pracoviště.
- Věková skupina 10 – 19 let je schopna pracovat i při velmi nízkých intenzitách osvětlenosti, avšak není doporučeno, aby hodnoty byly příliš nízké.
- Věkové skupiny 20 – 29, 30 – 39 a 40 – 49 let měly opět podobné výsledky, tudíž mohou pracovat v jednotné skupině a používat na pracovišti shodné osvětlení.
- Naopak věková skupina 50 – 59 let již potřebuje nastavení vyšších intenzit na to, aby rozlišila jemnější detail.

- Věkové skupiny 60 – 69 a 70 – 79 let již nejsou schopny při jakémkoliv osvětlení rozpoznat malý detail, tudíž by neměly vykonávat práci, při které je tato schopnost potřeba.
- Většině pracovišť chybí nebo není dostačující místní osvětlení, které je na zrakové úkoly potřebné.
- Pozorovatelé jednotlivých věkových skupin neměly pro měřené osvětlení problém rozlišit jednotlivé číslice na Ishiharových obrazcích, proto není problém pracoviště osvětlit jakýmkoliv použitým osvětlením.

Z obou měření plyne, že pro nejmladší věkovou skupinu postačí pouze slabší celkové osvětlení s místním přisvícením pracoviště. Pro další věkové skupiny je již potřeba nastavit silnější intenzity osvětlenosti pro místní nastavení, avšak celkové osvětlení může být ponecháno jako u nejmladší věkové skupiny pozorovatelů. Naopak u dvou nejstarších věkových skupin je nutno využít velmi dobrého celkového osvětlení s vysokými intenzitami osvětlenosti, ale také je nutno využít místní osvětlení s nastavenou vysokou intenzitou osvětlenosti.

Ze subjektivních dojmů jednotlivých pozorovatelů při měření na dálku bylo pozorováno, že velmi malé intenzity osvětlenosti jsou pro ně nepříjemné, protože se musejí hodně soustředit na daný zrakový úkol. Při nastavení vyšší intenzity osvětlenosti (500 – 1500 lx) již pozorovatelé získali lepší světelnou pohodu a s daným zrakovým úkolem neměli žádný problém. Vůbec nejlepších výsledků bylo dosaženo při maximálních naměřených intenzitách, kde pozorovatelé získali naprostou jistotu ve složitém zrakovém úkolu.

Ze subjektivních poznatků jednotlivých pozorovatelů při měření na krátkou vzdálenost bylo pozorováno, že při nastavení malých intenzit osvětlenosti nemá pozorovatel dostatečnou světelnou pohodu. Při zvýšení intenzit osvětlenosti (500 – 1000 lx) lze říci, že při tomto nastavení byla pro pozorovatele nejlepší světelná pohoda a se zrakovým úkolem neměli sebemenší problém. Naopak při maximálních naměřených intenzitách osvětlenosti již pro pozorovatele nastala velmi špatná zraková pohoda a pozorovatel se musel z počátku velmi soustředit na daný zrakový úkol. Maximální hodnoty způsobovaly oslnění pozorovatele, i když byla na pracovišti umístěná clona.

Jako doporučení pro další pokračování by se mělo vykonat měření pro více světelných zdrojů, aby se získalo podrobnějších výsledků. Měření by mělo proběhnout pro co nejvíce intenzit osvětlenosti, aby se upřesnil výsledek, kolik jednotlivé skupiny pozorovatelů potřebují na osvětlení pracoviště. Mělo by se sestavit širší spektrum věkových skupin (ještě nepracující, pracující, již nepracující), protože v předložených věkových skupinách na toto není brán zřetel.

Použitá literatura

- [1] TROJAN, Stanislav a kolektiv autorů, *Fyziologie učebnice pro lékařské fakulty 2*, Praha, Avicenum zdravotnické nakladatelství, 1988, 1057 s.
- [2] SINĚLNÍKOV, R.D., *Atlas anatomie člověka (III)*, Moskva, Avicenum, 1981, 399 s.
- [3] HABEL, J. *Zrak a vidění (1. část) . Světlo* [online]. 2008, 5, Dostupný z WWW: <http://www.odbornecasopisy.cz/index.php?id_document=37974>.
- [4] KALITOVÁ , Jana; ŠPAČKOVÁ , Kateřina. *Anatomie a fyziologie oka II.* [online]. Dostupné z WWW: <www.ocniklinikaol.cz/prednasky/anat2.ppt>.
- [5] ŠPAČKOVÁ , Kateřina; KALITOVÁ , Jana. *Anatomie a fyziologie oka I.* 22 s. Dostupné z WWW: <<http://www.ocniklinikaol.cz/prednasky/anat1.ppt>>.
- [6] PAULSEN, Friedrich; WASCHKE, Jens, *Sobotta Atlas der Anatomie des Menschen*, München, Urban & Fischer, 2013, 182 s.
- [7] Maidowsky, Werner, *Anatomie des Auges : Mit einer Einführung in die allgemeine Zellen- und Gewebelehre*, Pforzheim, 1994, 340 s., ISBN 3-9800378-0-0.
- [8] Wolff, Eugene, *The anatomy of the eye and orbit*, London : H. K. Lewis & Co. Ltd., 1948, 440 s.
- [9] LEDVINA, M. *Biochemie pro studující medicíny II. díl. 1. vydání.* Praha: Karolinum, 2004.
- [10] AUTRATA, R. *Nauka o zraku. 1. vydání.* Brno. 2006.
- [11] KARDONG, Kenneth V. *Vertebrates: Comparative Anatomy, Function, Evolution. 5. vyd. [s.l.] : The McGraw-Hill Companies, 2009.*
- [12] ANTON, Milan. *Refrakční vady a jejich vyšetřovací metody. 3. vydání.* Brno: Národní centrum ošetřovatelství a nelékařských zdravotnických oborů, 2004.
- [13] ČSN EN ISO 24502:2010, *Ergonomie – Funkční navrhování – Specifikace kontrastu jasu závislého na věku pro barevné světlo*
- [14] ISO/IEC Guide 71: 2001 *Guidelines for standards developers to address the need of older persons and persons with disabilities*
- [15] ISO/TR 2241:2008 *Ergonomics data and guidelines for the application of ISO/IEC Guide 71 to products and services to address the needs of older persons and persons with disabilities*

- [16] ČSN EN 12464-1, Světlo a osvětlení – Osvětlení pracovních prostorů – Část 1: Vnitřní pracovní prostory, Praha, 2012, 56 s.
- [17] HABEL, J., Dvořáček, K., Dvořáček, V., Žák, P., Světlo a osvětlování, FCC Public, Praha, 2013, 624 s. ISBN 978-80-86534-21-3
- [18] DiLaura, D., Houser, K., Mistrick, R., Steffy, G., Lighting Handbook 10th Edition, **ISBN # 978-0-87995-241-9**.
- [19] Sagawa, K., Takahashi, Y. Spectral luminous efficacy as a function of age. J. Opt. Am. , A18, 2001, pp. 2659-2667
- [20] Wikipedia [online]. 2014-03-03. Rod cell. Dostupné z WWW: <http://en.wikipedia.org/wiki/Rod_cell>.
- [21] Wikipedia [online]. 2014-05-07. Cornea. Dostupné z WWW: <<http://en.wikipedia.org/wiki/Cornea>>.
- [22] Facts About The Cornea and Corneal Disease National Eye Institute (NEI). Dostupné z WWW: <<http://www.nei.nih.gov/health/cornealdisease/>>.
- [23] Wikipedia [online]. 2014-05-21. Iris. Dostupné z WWW: <[http://en.wikipedia.org/wiki/Iris_\(anatomy\)](http://en.wikipedia.org/wiki/Iris_(anatomy))>.
- [24] Fyziologie oka [online]. Dostupné z WWW: <http://panwiki.panska.cz/index.php/Fyziologie_oka>.
- [25] Boguszaková, J. Vybrané kapitoly z fyziologie zraku, Institut postgraduálního vzdělávání ve zdravotnictví v Praze, dostupné z WWW: <http://www.odbornecasopisy.cz/index.php?id_document=23169>.
- [26] Wikipedie [online]. 2011-03-07 [cit. 2010-11-10]. Vitreous humour. Dostupné z WWW: <http://en.wikipedia.org/wiki/Vitreous_humour>.
- [27] Wikipedia [online]. Sclera. Dostupné z WWW: <<http://en.wikipedia.org/wiki/Sclera?oldid=383788837>>.
- [28] Wikipedia [online]. Choroid. Dostupné z WWW: <<http://en.wikipedia.org/wiki/Choroid>>.
- [29] Lang, G. *Ophthalmology: A Pocket Textbook Atlas, 2 ed.*. Pg. 207. Ulm, Germany. 2007.
- [30] Wikipedia [online]. Ciliary body. Dostupné z WWW: <http://en.wikipedia.org/wiki/Ciliary_body>.
- [31] Wikipedia [online]. Retina. Dostupné z WWW: <http://en.wikipedia.org/wiki/Retina>

- [32] Smyslová soustava [online]. Dostupné z WWW:
< <http://www.latinsky.estranky.cz/fotoalbum/smyslova-soustava/smyslova-soustava/oko--pohled-ze-strany-.png.html>>
- [33] Wikipedia [online]. Human eye. Dostupné z WWW:
<http://en.wikipedia.org/wiki/Human_eye>
- [34] Wikipedia [online]. Photoreceptor cell. Dostupné z WWW:
<http://en.wikipedia.org/wiki/Photoreceptor_cell>
- [35] Wikipedia [online]. Cone cell. Dostupné z WWW:
<http://en.wikipedia.org/wiki/Cone_cell>
- [36] HLAVÁČ, V. *Felk.cvut.cz* [online]. [cit.]. Human Eye Physiology. Dostupné z WWW:
<<http://cmp.felk.cvut.cz/~hlavac/TeachPresEn/15ImageAnalysis/61HumanEyePhysiology.ppt>>.
- [37] Wikipedia [online]. List of light sources. Dostupné z WWW:
<http://en.wikipedia.org/wiki/List_of_light_sources>.
- [38] Drořáček, V., Světelné zdroje – Lineární zářivky, převzato s čas Elektroinstalatér, 2009, Dostupné z WWW:
< <http://elektrika.cz/data/clanky/svetelne-zdroje-linearni-zarivky/view>>.
- [39] Definice Kandely, jednotka svítivosti kandela, Dostupné z WWW:
<<http://fyzmatik.pise.cz/45-jednotka-svitivosti-kandela.html>>.
- [40] Vše o světle – 1. Co je to světlo, Dostupné z WWW:
<<http://www.fotoroman.cz/techniques3/svetlo01zaklad.htm>>.
- [41] Světelné zdroje pro interiéry aneb jak nahradit klasickou žárovku, Dostupné z WWW: < http://www.odbornecasopisy.cz/index.php?id_document=38557>
- [42] Wikipedia [online]. Light therapy. Dostupné z WWW:
<http://en.wikipedia.org/wiki/Light_therapy>
- [43] Wikiskripta [online]. Poruchy spánku. Dostupné z WWW:
<http://www.wikiskripta.eu/index.php/Poruchy_sp%C3%A1nku>
- [44] Ishiharův test na barvoslepost, Dostupné z WWW:
<https://www.vaszrak.cz/clanky/ishiharuv-test-na-barvoslepost-zkouska-zraku>
- [45] Fotonová terapie, Dostupné z WWW:
<<http://compex.zdravi-cz.eu/fotonova-terapie.php>>
- [46] Syndrom počítačového vidění, Dostupné z WWW:
<<http://ocni-vady.zdrave.cz/syndrom-pocitacoveho-videni/>>

- [47] Snellen eye Chart, Dostupné z WWW:
<<http://www.disabled-world.com/artman/publish/eye-chart.shtml>>
- [48] Lineární zářivky, Dostupné z WWW:
<<http://www.svetusporek.cz/linearni-zarivky/>>
- [49] ČSN EN ISO 24502:2010, Ergonomie – Funkční navrhování – Specifikace kontrastu jasů závislého na věku pro barevné světlo
- [50] ISO/TR 2241:2008 Ergonomics data and guidelines for the application of ISO/IEC Guide 71 to products and services to address the needs of older persons and persons with disabilities
- [51] Sokanský, K., Novák, T., Bálský, M., a spol., Světelná technika, České vysoké učení technické v Praze, Praha 2011
- [52] Sokanský, K., a kolektiv, ÚSPORY ENERGIE V OSVĚTLOVÁNÍ PŘI HODNOCENÍ ENERGETICKÉ NÁROČNOSTI BUDOV, Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava Fakulta elektrotechniky a informatiky, Ostrava 2009
- [53] Vyšetření zraku, Dostupné z WWW:
<<http://www.vysetreni-zraku.cz/inpage/vysetreni-zraku/>>
- [54] Teplota chromatičnosti, Dostupné z WWW: <<http://www.ledinnovation.cz/>>
- [55] Testing acuity of vision in general practice: reaching recommended standard, Dostupné z WWW: <http://www.bmj.com/content/309/6966/1408.1.full>
- [56] Wikipedia [online]. Light, Dostupné z WWW:
<<http://en.wikipedia.org/wiki/Light>>
- [57] Studijní text, Osvětlování vnitřních prostorů
- [58] Ing. Arch. Fukalová, R., prof. Ing. Arch. Šestáková, I., Ing. Arch. Lupač, P., Světlo a jeho vliv na lidské emoce a vnímání prostředí, Fakulta architektury ČVUT, Praha, 2013
- [59] Wikipedia [online]. Elektromagnetické spektrum, Dostupné z WWW:
<http://cs.wikipedia.org/wiki/Elektromagnetick%C3%A9_spektrum>
- [60] Vliv světla a osvětlení na člověka [online]. Dostupné z WWW: <<http://www.tzb-info.cz/1794-vliv-svetla-a-osvetleni-na-cloveka>>.
- [61] Vliv světla na denní rytmy [online]. Dostupné z WWW:
<<http://www.premiumlight.eu/index.php?page=perception-of-light-3>>.

- [62] Wikiskripta [online]. Denní osvětlení, Dostupné z WWW: <http://www.wikiskripta.eu/index.php/Denn%C3%AD_osv%C4%9Btlen%C3%AD>.
- [63] Wikiskripta [online]. Umělé osvětlení, Dostupné z WWW: <http://www.wikiskripta.eu/index.php/Um%C4%9B%C3%A9_osv%C4%9Btlen%C3%AD>.
- [64] Umělé osvětlení vnitřního prostředí [online]. Dostupné z WWW <<http://www.tzb-info.cz/1303-umele-osvetleni-vnitriho-prostredi>>.
- [65] Kvalita osvětlovací soustavy [online]. Dostupné z WWW: <<http://www.odbornecasopisy.cz/svetlo/casopis/tema/nove-pristupy-k-navrhu-osvetleni--15970>>.
- [66] Světlo a zdraví [online]. Dostupné z WWW: <<http://www.lustry-svitidla.cz/svetlo-a-zdravi>>.
- [67] Emisní spektra různých zdrojů [online]. Dostupné z WWW: <<http://www.vernier.cz/experimenty/gml/fyzika/f44.pdf>>.
- [68] Trichromatická soustava [online]. Dostupné z WWW: <<http://www.reprodukce-barev.org/?menu=3>>.
- [69] Jaegerovy čtecí tabulky [online]. Dostupné z WWW: <<http://kalina.jirka.sweb.cz/optosvit.htm>>.

Příloha A

A.1 Tabulka hodnot různých věkových skupin pozorovatelů

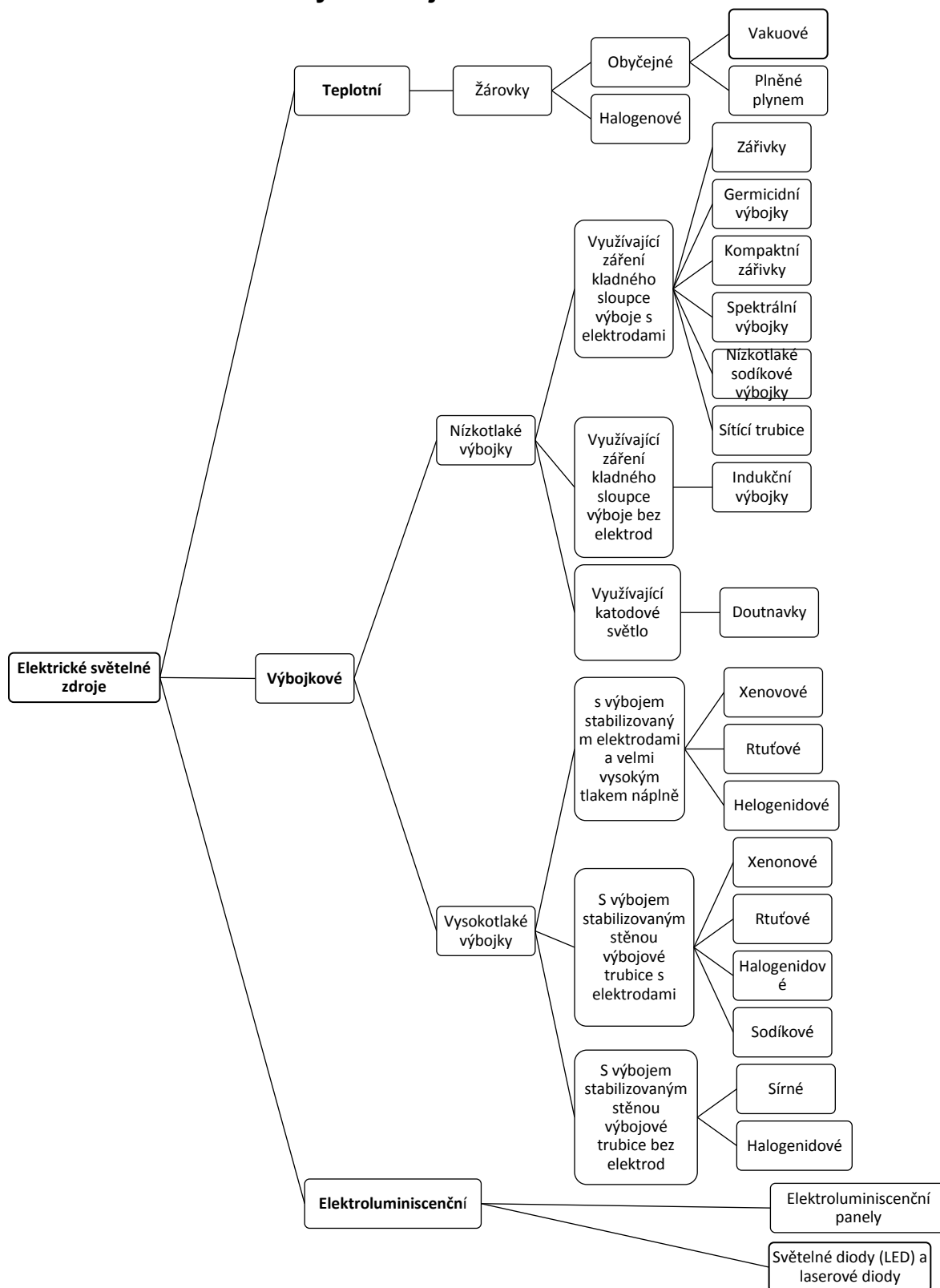
Vlnová délka (nm)	Světelná účinnost při denním vidění						
	10 - 19 let	20 - 29 let	30 - 39 let	40 - 49let	50 - 59 let	60 - 69 let	70 - 79 let
380	0,002723	0,001567	0,000861	0,0004932	0,0002754	0,0001549	0,0000881
385	0,004295	0,002523	0,001435	0,0008433	0,0004853	0,0002818	0,0001644
390	0,00673	0,004005	0,002382	0,001439	0,000859	0,0005129	0,0003069
395	0,01012	0,006237	0,003784	0,002371	0,001455	0,0008913	0,000547
400	0,01512	0,009546	0,006026	0,003804	0,002401	0,001516	0,0009569
405	0,02159	0,014	0,009076	0,005885	0,003816	0,002474	0,001604
410	0,02943	0,01959	0,01303	0,00867	0,005772	0,003841	0,002556
415	0,03833	0,02616	0,01785	0,01218	0,008313	0,005673	0,003872
420	0,04767	0,03333	0,02331	0,0163	0,0114	0,00797	0,005574
425	0,05662	0,04054	0,02902	0,02078	0,01488	0,01065	0,007627
430	0,06423	0,04705	0,03446	0,02524	0,01849	0,01354	0,00992
435	0,07056	0,05283	0,03956	0,02962	0,02218	0,01661	0,01243
440	0,07609	0,05819	0,04451	0,03404	0,02603	0,01991	0,01523
445	0,08055	0,06287	0,04908	0,03831	0,0299	0,02334	0,01822
450	0,08491	0,06759	0,05381	0,04283	0,0341	0,02714	0,02161
455	0,0904	0,07333	0,05948	0,04825	0,03914	0,03175	0,02575
460	0,0972	0,08028	0,0663	0,05476	0,04523	0,03735	0,03085
465	0,1055	0,08869	0,07452	0,06262	0,05262	0,04421	0,03715
470	0,1158	0,09895	0,08452	0,0722	0,06167	0,05268	0,045
475	0,1286	0,1116	0,09681	0,084	0,07288	0,06323	0,05486
480	0,1444	0,1271	0,112	0,0986	0,08683	0,07646	0,06734
485	0,164	0,1464	0,1308	0,1168	0,1043	0,09315	0,08319
490	0,191	0,1729	0,1565	0,1416	0,1281	0,116	0,1049
495	0,2316	0,2123	0,1945	0,1782	0,1638	0,1496	0,1371
500	0,2923	0,271	0,2512	0,2329	0,2159	0,2002	0,1856
505	0,3839	0,3598	0,3372	0,316	0,2962	0,2776	0,2602
510	0,5011	0,4744	0,4491	0,4251	0,4025	0,381	0,3607
515	0,6206	0,593	0,5666	0,5414	0,5173	0,4943	0,4723
520	0,7293	0,7028	0,6772	0,6526	0,6289	0,606	0,584
525	0,8133	0,7898	0,7669	0,7447	0,7232	0,7022	0,6819
530	0,8763	0,8568	0,8378	0,8192	0,801	0,7831	0,7657
535	0,929	0,9139	0,899	0,8844	0,87	0,8558	0,8419
540	0,9689	0,9582	0,9476	0,9371	0,9268	0,9165	0,9064
545	0,9942	0,9876	0,9811	0,9746	0,9682	0,9618	0,9555
550	1,0036	1,0007	0,9978	0,9949	0,992	0,9891	0,9863
555	1	1	1	1	1	1	1
560	0,9866	0,9887	0,9908	0,9929	0,995	0,9971	0,9992
565	0,9638	0,9671	0,9704	0,9737	0,9771	0,9804	0,9838
570	0,9322	0,9359	0,9396	0,9433	0,9471	0,9508	0,9546
575	0,8923	0,8957	0,8991	0,9025	0,9059	0,9094	0,9128
580	0,8202	0,8283	0,8364	0,8447	0,853	0,8614	0,8698
585	0,7506	0,7624	0,7743	0,7865	0,7988	0,8113	0,824

590	0,6838	0,6984	0,7132	0,7285	0,744	0,7599	0,7761
595	0,6201	0,6367	0,6537	0,6712	0,6892	0,7077	0,7266
600	0,5997	0,5777	0,5962	0,6153	0,635	0,6554	0,6764
605	0,5001	0,5187	0,538	0,5579	0,5787	0,6002	0,6224
610	0,4399	0,4584	0,4776	0,4977	0,5186	0,5404	0,5631
615	0,3809	0,3986	0,4173	0,4367	0,4571	0,4785	0,5008
620	0,3246	0,3412	0,3586	0,377	0,3963	0,4165	0,4378
625	0,2723	0,2874	0,3033	0,3201	0,3378	0,3566	0,3763
630	0,2248	0,2382	0,2524	0,2674	0,2833	0,3001	0,318
635	0,1828	0,1943	0,2066	0,2197	0,2336	0,2484	0,2641
640	0,1462	0,156	0,1665	0,1776	0,1895	0,2021	0,2157
645	0,1152	0,1233	0,1319	0,1412	0,1511	0,1618	0,1731
650	0,08928	0,09585	0,1029	0,1104	0,1186	0,1273	0,1366
655	0,06839	0,07362	0,07925	0,08531	0,09183	0,09885	0,1064
660	0,05196	0,05608	0,06052	0,06531	0,07048	0,07606	0,08208
665	0,03916	0,04236	0,04582	0,04956	0,05361	0,05798	0,06272
670	0,02927	0,03173	0,03439	0,03728	0,04041	0,0438	0,04747
675	0,0217	0,02356	0,02559	0,02779	0,03018	0,03278	0,0356
680	0,01595	0,01736	0,01888	0,02054	0,02234	0,0243	0,02644
685	0,01164	0,01268	0,01381	0,01504	0,01639	0,01785	0,01945
690	0,009417	0,00918	0,01001	0,01092	0,01191	0,01299	0,01417
695	0,006036	0,006593	0,007199	0,007861	0,008583	0,009371	0,01023
700	0,004297	0,004696	0,005131	0,005607	0,006127	0,006696	0,007317
705	0,003036	0,003319	0,003628	0,003967	0,004338	0,00475	0,005192
710	0,002144	0,002346	0,002565	0,002807	0,003072	0,00337	0,003684
715	0,001515	0,001658	0,001813	0,001986	0,002175	0,00239	0,002614
720	0,00107	0,001172	0,001282	0,001405	0,00154	0,001696	0,001855
725	0,0007559	0,000828	0,0009064	0,0009944	0,00109	0,001203	0,001316
730	0,0005339	0,0005852	0,0006409	0,0007036	0,0007719	0,0008533	0,0009337
735	0,0003772	0,0004136	0,0004531	0,0004979	0,0005465	0,0006054	0,0006625
740	0,0002664	0,0002923	0,0003203	0,0003523	0,0003869	0,0004294	0,0004701
745	0,0001882	0,0002066	0,0002265	0,0002493	0,000274	0,0003046	0,0003335
750	0,000133	0,000146	0,0001601	0,0001764	0,000194	0,0002161	0,0002367
755	0,00009392	0,0001032	0,0001132	0,0001248	0,0001373	0,0001533	0,0001679
760	0,00006634	0,00007293	0,00008004	0,0000883	0,00009723	0,0001088	0,0001191
765	0,00004686	0,00005155	0,00005659	0,00006247	0,00006884	0,00007715	0,00008454
770	0,00003311	0,00003643	0,00004001	0,0000442	0,00004874	0,00005473	0,00005998
775	0,00002339	0,00002575	0,00002829	0,00003128	0,00003451	0,00003883	0,00004256
780	0,00001652	0,0000182	0,00002	0,00002213	0,00002443	0,00002754	0,0000302

Tab. 50 Spektrální světelná účinnost závislá na věku při denním vidění

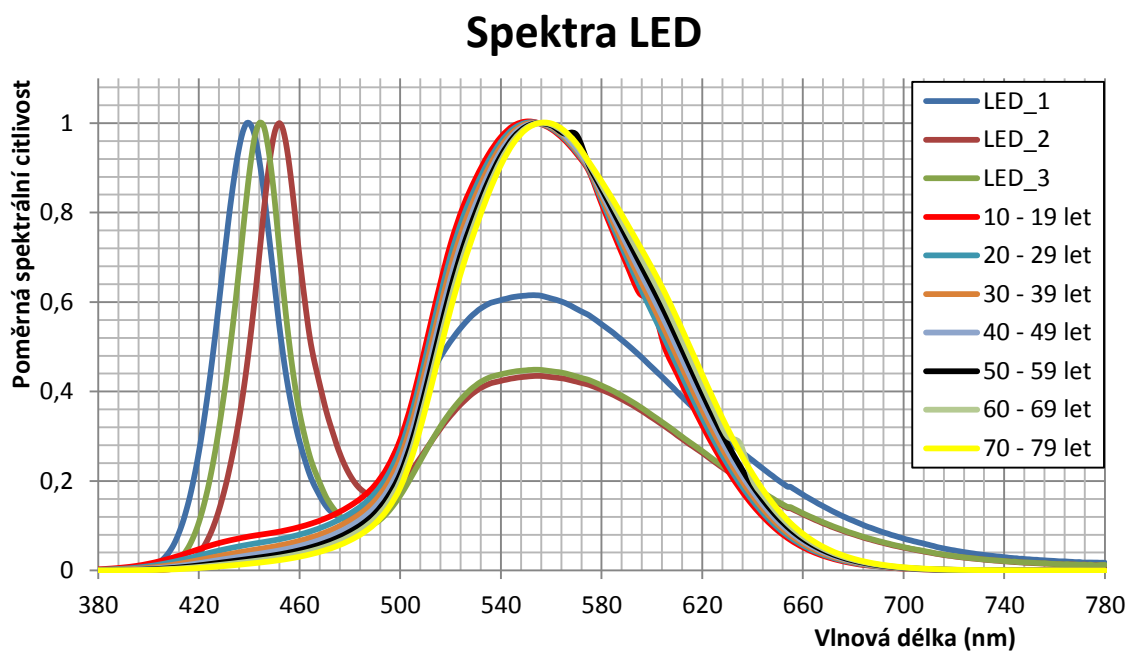
Příloha B

B.1 Rozdělení světelných zdrojů

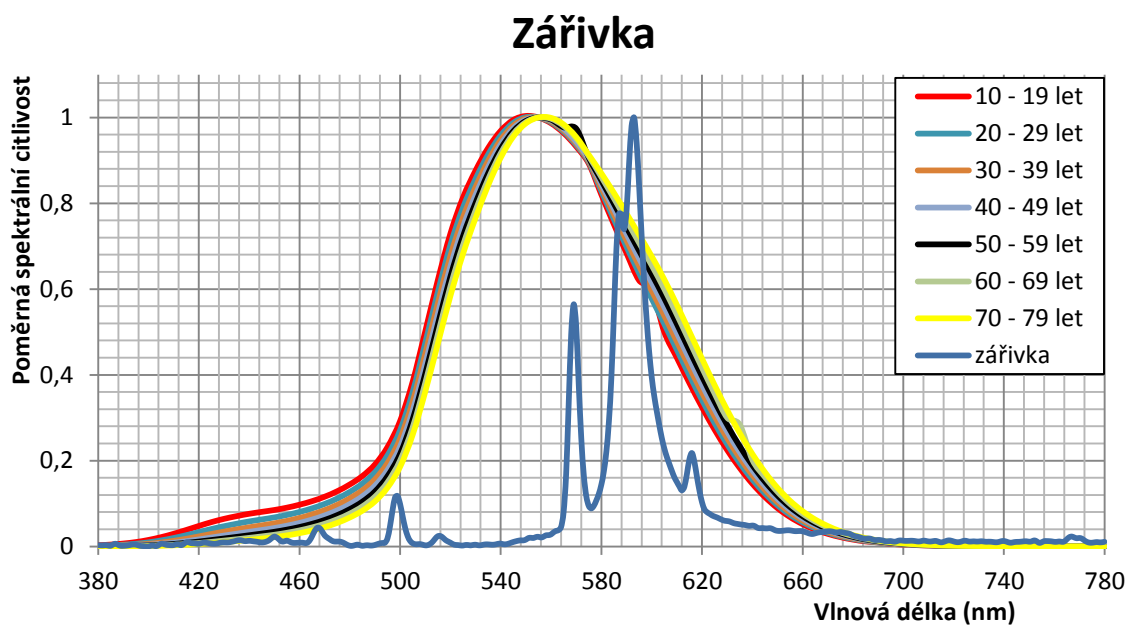


Příloha C

C.1 Porovnání věkových skupin se spektry světelných zdrojů

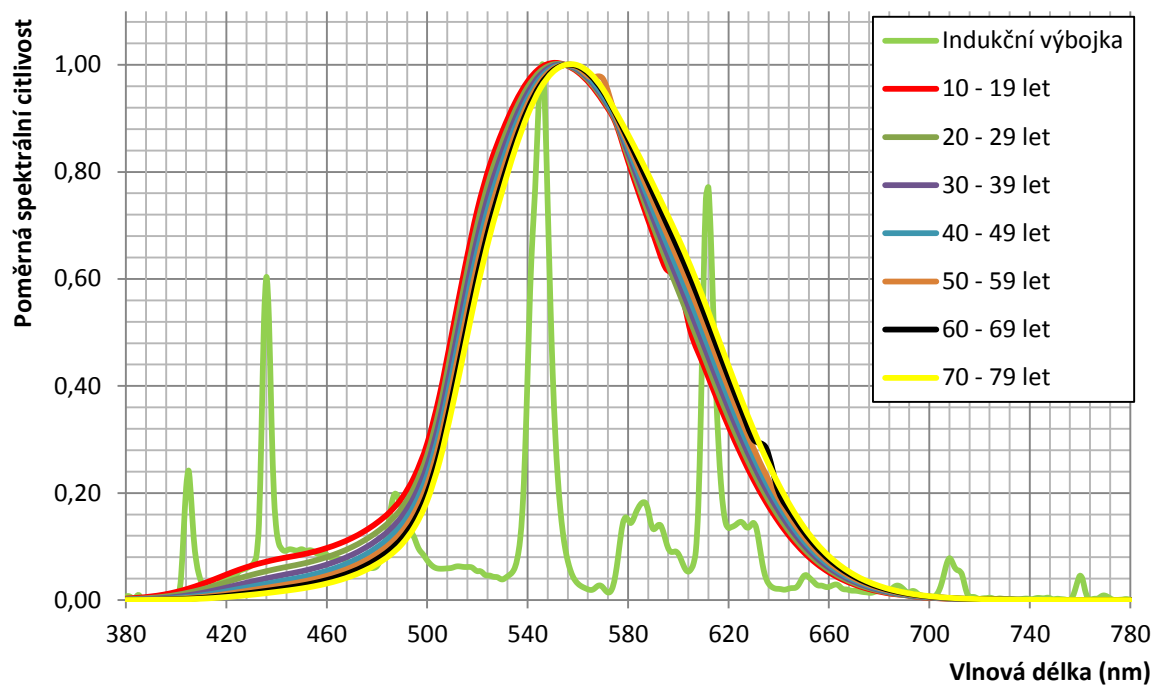


Obr. 100 Spektrum LED s věkovými skupinami



Obr. 101 Spektrum zářivky s věkovými skupinami

Indukční výbojka



Obr. 102 Spektrum indukční výbojky s věkovými skupinami

Příloha D

D.1 Použité zrakové testy pro měření

Snellenovy tabule

(tištěné rozměry všech tabulí jsou 270x720 cm)

E

F P

L C Z

L F E O

P F O E D

E D F C Z P

F E L O P Z D

D E F P O T E C

E L F O D P C T

F D P L T C B O

F

E P

F O Z

L P E D

P E C F D

F D E C Z P

E F Z O P L D

D E L P C T F O

L E F D O P C T

B D F L T C P O

G

P F

L O Z

E P F D

D E O F P

E C F O Z P

F E L D P Z O

O F E P O T L C

T E F O C P D L

F P D L T O B C

Jaegerovy čtecí tabulky

Člověk v budovách tráví 90% času a z toho plyne široká škála aktivit, které lidé v uzavřeném prostoru provozují, jsou jimi například práce, zábava, pohyb, ale také odpočinek a spánek.

Lidské vnímání informací se děje z 85% prostřednictvím zraku, který se tak stal nejdůležitějším smyslem. Člověk si především prostřednictvím zraku vytváří (v daném prostoru) svůj jedinečný obraz.

Abychom mohli předpovědět lidské chování jako funkci závislou na světelných podmínkách, je nezbytné porozumět fyzikálním a fyziologickým procesům lidského zraku.

Ten se skládá z optických efektů – světelných stimulů oka, které vytváří vidění prostředí kolem nás. Zároveň každý jedinec vidí věci jinak a to díky individuálnímu vnímání, které zraková stimulace vyvolává.

Zrak je pro člověka zařízení pro příjem a zpracování informací o vnějším prostředí. Toto také dokazuje fakt, že člověk získává téměř všechny informace z okolí pomocí zraku.

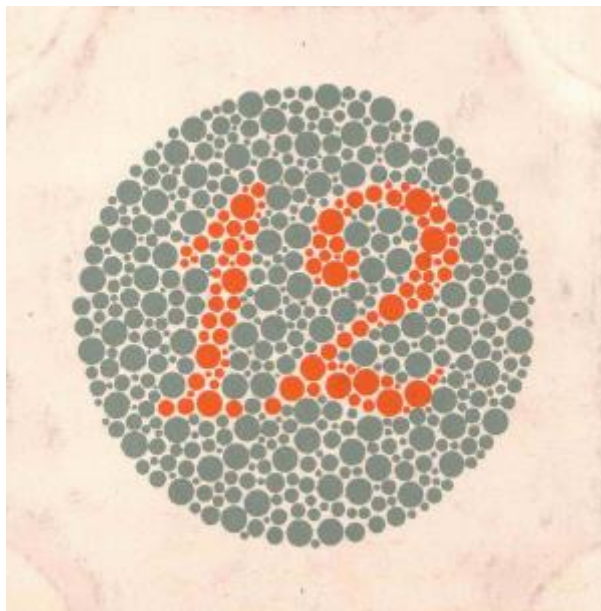
Oko poskytuje člověku vnímat paprsky světla. Ty jsou následně setříděny ve zrakovém centru mozku. Tato informace člověku poskytuje konečné vidění, jak téměř každý zná, ale slouží jako podnět, jak budeme vnímat jednotlivé prostředí.

Zrakové ústrojí tvoří oční orgány, které zajišťují příjem informací světelným podnětem, jej přenesou a zpracovávají. Výsledkem této přenesené informace je zrakové vidění.

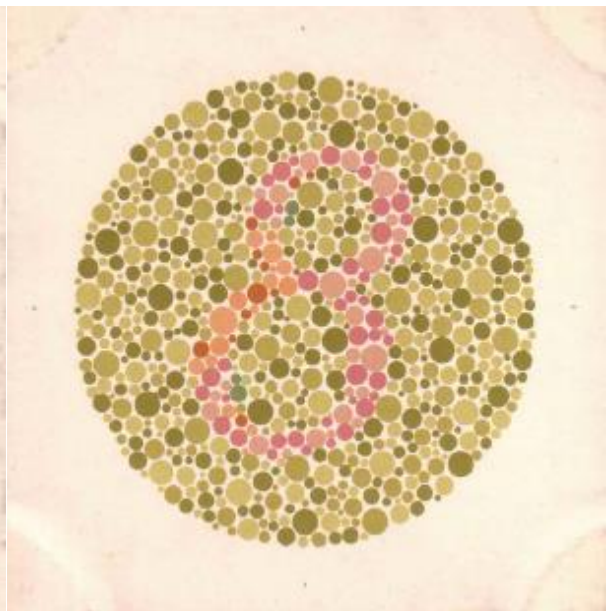
Ishiharovy obrazce

(rozměry každého obrazce v tištěné velikosti r = 11 cm)

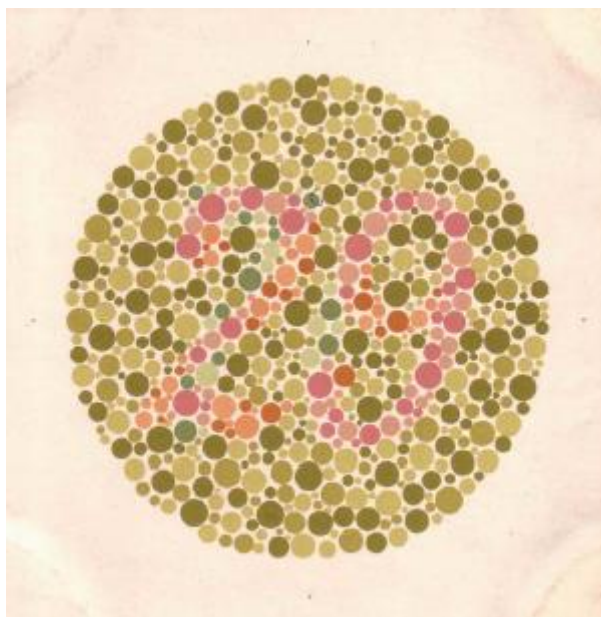
12



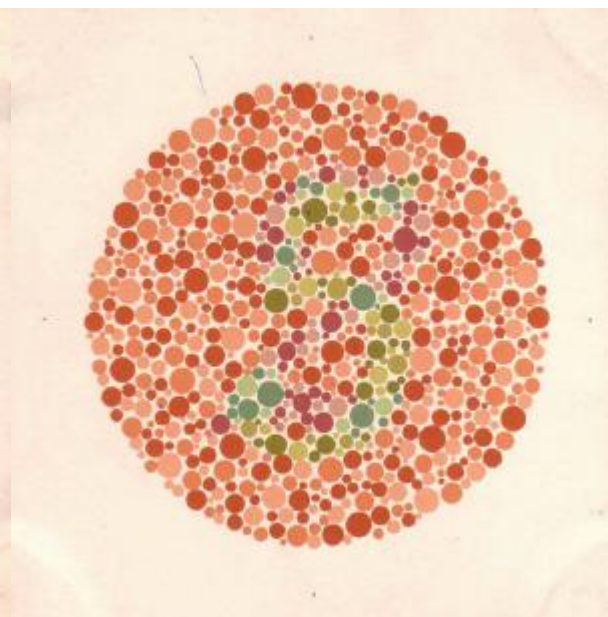
8



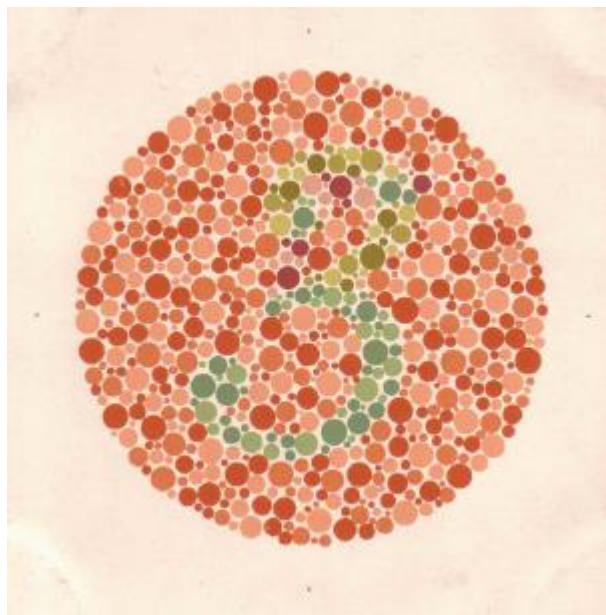
29



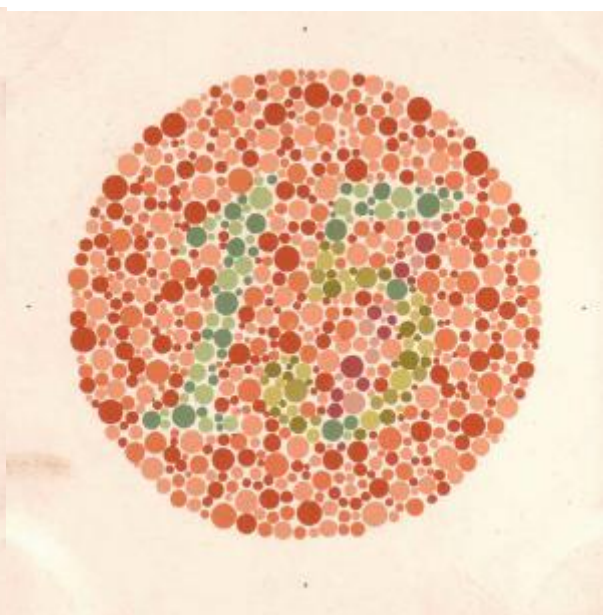
5



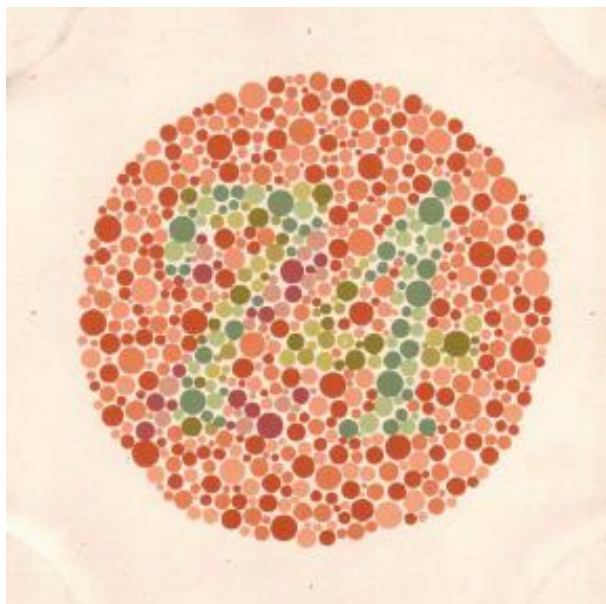
3



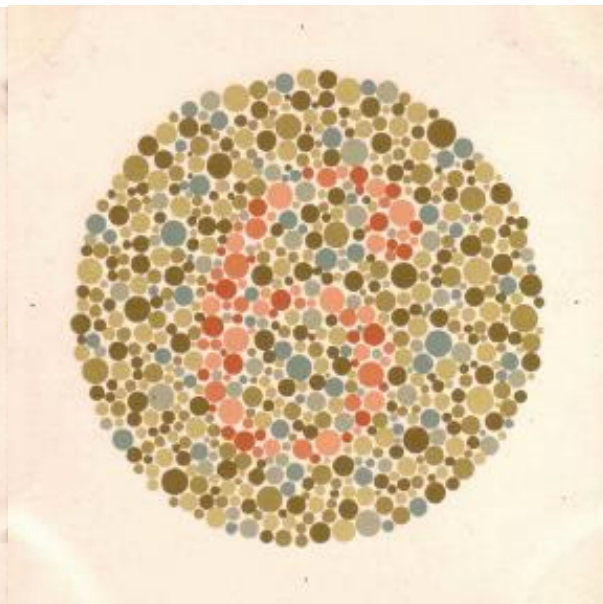
15



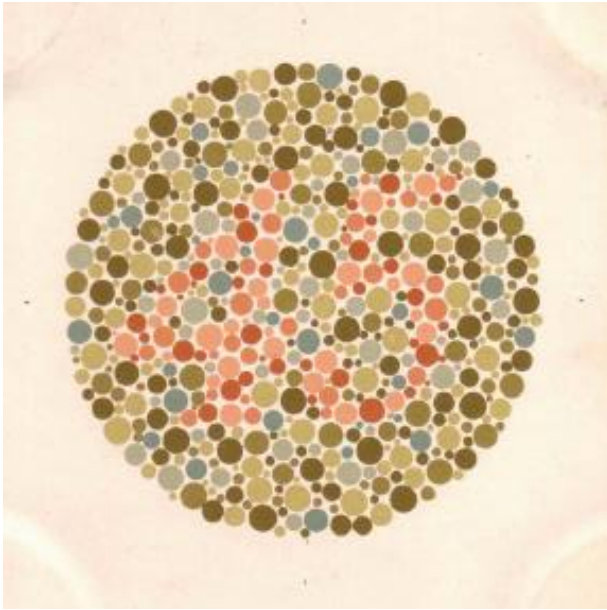
74



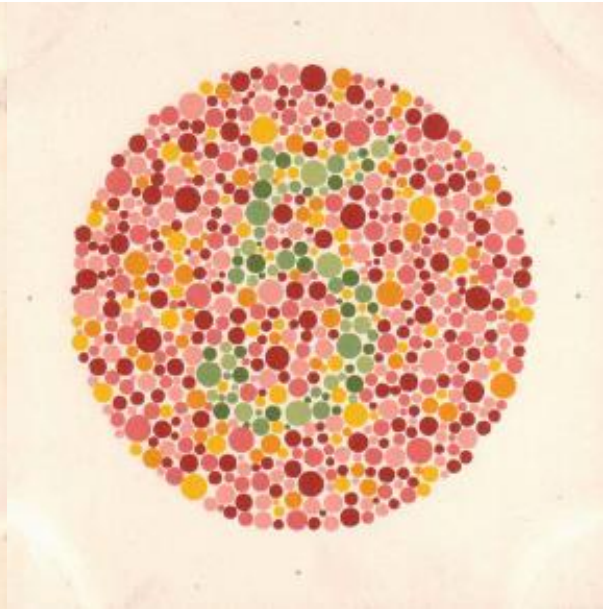
6



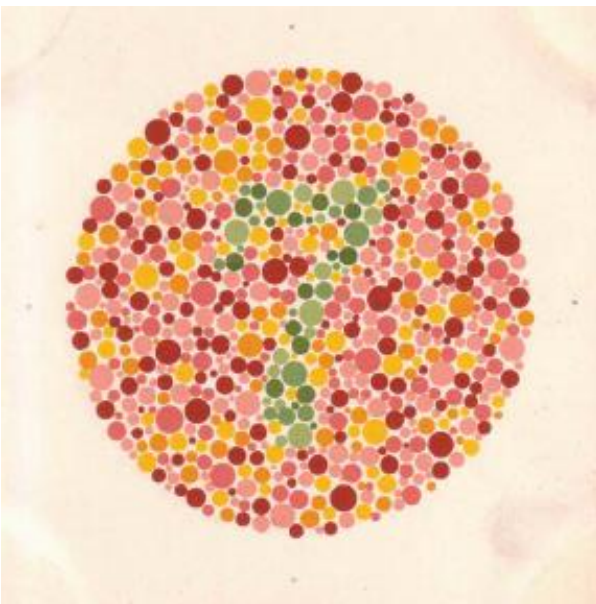
45



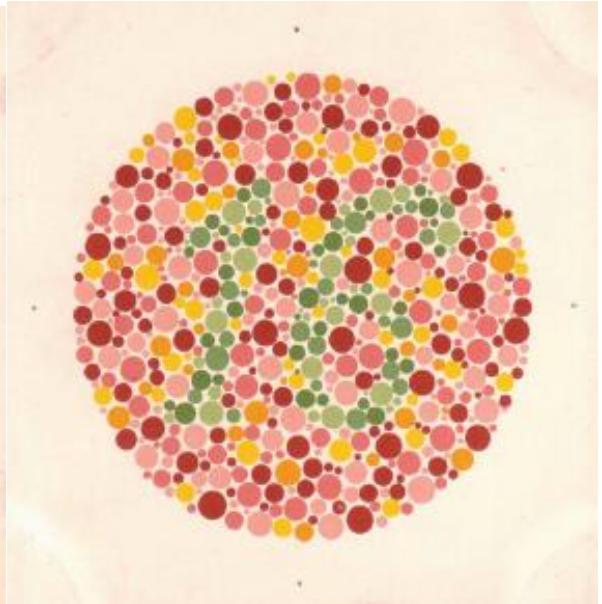
5



7



16



12

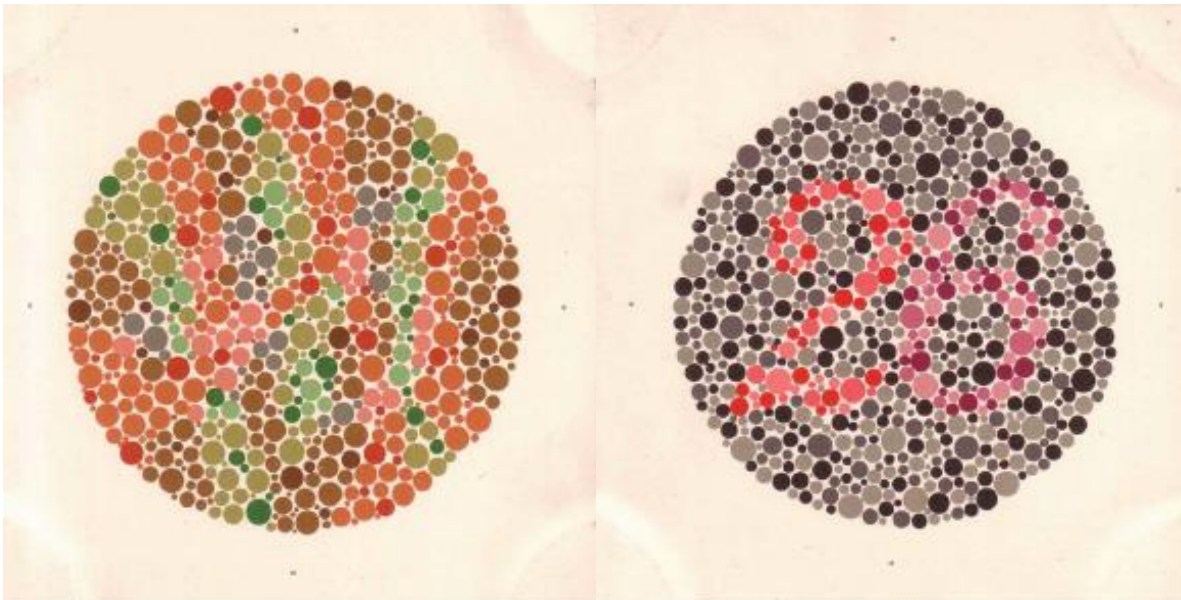
73

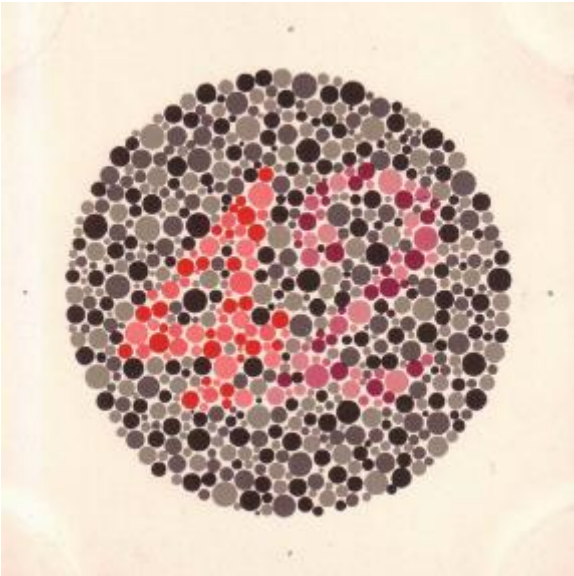
NIC



NIC

26





Příloha E

E.1 Použité dotazníky k měření

Dotazník k měření na dálku pomocí Snellenovy tabule

Věk 10-19; 20-29; 30-39; 40-49; 50-59; 60-69; 70-79; 80-89

Pohlaví: Muž - Žena

Brýle: Potřebuji - Nepotřebuji; Mám - Nemám je na očích

Dioptrie: _____

Oční vada: _____

Test č. 1 - SCHNELLENOVA TABULE

	Intenzita osvětlení [lx]	Tabule E - F - G	Počet JASNĚ přečtených řádků
1			
2			
3			
4			

	[lx]	E - F - G	Řádky JASNĚ
1			
2			
3			
4			

	[lx]	E - F - G	Řádky JASNĚ
1			
2			
3			
4			

Dotazník k měření na blízko pomocí Jaegerových čtecích tabulek

Věk 10-19; 20-29; 30-39; 40-49; 50-59; 60-69; 70-79; 80-89

Pohlaví: Muž - Žena

Brýle: Potřebuji - Nepotřebuji; Mám - Nemám je na očích

Dioptrie: _____

Oční vada: _____

Test č. 2 - JAEGEROVY ČTECÍ TABULE

	Intenzita osvětlení [lx]	Text č.	Počet JASNĚ přečtených řádků
1			
2			
3			
4			

	[lx]	Text č.	Řádky JASNĚ
1			
2			
3			
4			

	[lx]	Text č.	Řádky JASNĚ
1			
2			
3			
4			

Dotazník k měření na blízko pomocí barvocitových Ishiharových obrázků

Věk 10-19; 20-29; 30-39; 40-49; 50-59; 60-69; 70-79; 80-89

Pohlaví: Muž - Žena

Brýle: Potřebuji - Nepotřebuji; Mám - Nemám je na očích

Dioptrie: _____

Oční vada: _____

Test č. 3 - BARVOCITOVÉ ISHIHAROVY OBRAZCE

	1		2		3		4		5	

	1		2		3		4		5	

	1		2		3		4		5	

Příloha F

F.1 Fotodokumentace pracovišť









Příloha G

G.1 Tabulky změřených hodnot na dálku

věková skupina 10 - 19 let	1. měření 80W/865			
Intenzita osvětlenosti [lx]	80	300	900	7 000
Počet jasně přečtených řádků	8	8	8	9
	9	9	9	10
	8	9	9	9
	7	8	8	9
	8	8	8	8
	8	9	9	9
	9	9	10	10
	8	8	9	9
	7	7	8	8
	8	8	9	9
	9	9	10	10
	9	9	9	10
	8	9	9	9
	8	9	9	10
Průměr	8,14	8,5	8,85	9,21

Tab. 51 Naměřené hodnoty při různých intenzitách osvětlenosti

věková skupina 10 - 19 let	2. měření 80W/840			
Intenzita osvětlenosti [lx]	100	350	900	6000
Počet jasně přečtených řádků	8	8	8	9
	8	9	9	10
	8	8	9	9
	8	8	8	9
	8	8	8	8
	8	9	9	9
	9	9	10	10
	9	9	9	9
	7	7	8	8
	8	9	9	9
	8	9	9	9
	8	9	9	9
	8	8	8	9
	8	8	9	9
Průměr	8,07	8,43	8,71	9

Tab. 52 Naměřené hodnoty při různých intenzitách osvětlenosti

věková skupina 10 - 19 let	3. měření 80W/827			
Intenzita osvětlenosti [lx]	95	300	850	4200
Počet jasně přečtených řádků	8	8	9	9
	8	9	9	10
	8	9	9	9
	8	8	9	9
	8	8	8	8
	8	9	9	9
	9	9	9	10
	8	9	9	9
	7	8	8	8
	7	7	8	8
	8	8	8	9
	8	8	9	9
	8	8	8	9
	8	8	9	9
Průměr	7,93	8,28	8,64	8,93

Tab. 53 Naměřené hodnoty při různých intenzitách osvětlenosti

věková skupina 20 - 29 let	1. měření 80W/865			
Intenzita osvětlenosti [lx]	80	300	900	7 000
Počet jasně přečtených řádků	7	7	8	8
	8	9	9	9
	7	8	9	9
	7	8	9	9
	5	7	7	8
	9	9	10	10
	5	6	7	8
	5	6	6	7
	6	7	8	8
	7	6	6	7
	8	9	9	9
	8	8	8	9
	8	9	9	9
	8	8	9	9
Průměr	7	7,64	8,14	8,5

Tab. 54 Naměřené hodnoty při různých intenzitách osvětlenosti

věková skupina 20 - 29 let	2. měření 80W/840			
Intenzita osvětlenosti [lx]	100	350	900	6000
Počet jasně přečtených řádků	7	8	8	8
	9	9	9	9
	8	9	9	9
	8	9	9	9
	3	4	7	8
	9	9	10	10
	5	6	6	7
	6	7	6	8
	7	7	8	9
	6	5	5	8
	8	9	9	9
	8	8	8	9
	8	9	9	9
	8	9	9	9
Průměr	7,14	7,71	8	8,64

Tab. 55 Naměřené hodnoty při různých intenzitách osvětlenosti

věková skupina 20 - 29 let	3. měření 80W/827			
Intenzita osvětlenosti [lx]	95	300	850	4200
Počet jasně přečtených řádků	6	7	8	8
	8	9	9	9
	7	8	9	9
	8	8	9	9
	4	3	5	6
	8	9	9	10
	6	7	6	6
	4	5	5	7
	5	6	7	8
	4	5	5	6
	8	8	9	9
	7	8	8	9
	8	8	9	9
	8	9	9	9
Průměr	6,5	7,14	7,64	8,14

Tab. 56 Naměřené hodnoty při různých intenzitách osvětlenosti

věková skupina 30 - 39 let	1. měření 80W/865			
Intenzita osvětlenosti [lx]	80	300	900	7 000
Počet jasně přečtených řádků	8	9	9	9
	7	8	8	8
	7	8	8	9
	8	9	9	9
	8	9	9	9
	8	8	8	8
	3	3	4	4
	8	8	9	9
	8	8	8	9
	9	9	9	9
	9	9	9	9
	8	9	9	9
	4	4	4	5
	9	9	9	9
	9	9	9	10
	8	9	9	9
	5	6	7	7
	8	8	9	9
	7	8	8	9
	6	7	8	9
Průměr	7,35	7,85	8,1	8,4

Tab. 57 Naměřené hodnoty při různých intenzitách osvětlenosti

věková skupina 30 - 39 let	2. měření 80W/840			
Intenzita osvětlenosti [lx]	100	350	900	6000
Počet jasně přečtených řádků	8	8	9	9
	7	7	8	8
	8	8	8	9
	8	9	9	9
	8	9	9	9
	8	8	8	8
	3	3	4	5
	8	9	9	9
	8	8	8	9
	9	9	9	9
	9	9	9	9
	8	9	9	8
	4	5	5	5
	8	8	9	8
	9	9	9	10
	8	8	9	9
	5	6	7	7
	8	9	9	9
	4	6	8	9
	6	7	8	8
Průměr	7,2	7,7	8,15	8,3

Tab. 58 Naměřené hodnoty při různých intenzitách osvětlenosti

věková skupina 30 - 39 let	3. měření 80W/827			
Intenzita osvětlenosti [lx]	95	300	850	4200
Počet jasně přečtených řádků	8	8	9	9
	6	7	8	8
	8	8	9	9
	8	9	9	9
	7	8	8	8
	8	8	8	8
	3	3	4	4
	8	8	9	9
	8	8	8	9
	9	9	9	9
	9	9	9	9
	8	8	8	9
	5	5	5	6
	7	8	8	8
	9	9	9	9
	8	8	8	8
	4	6	7	7
	8	8	9	9
	5	7	8	9
	7	8	8	9
Průměr	7,15	7,6	8	8,25

Tab. 59 Naměřené hodnoty při různých intenzitách osvětlenosti

věková skupina 40 - 49 let	1. měření 80W/865			
Intenzita osvětlenosti [lx]	80	300	900	7 000
	6	8	8	8
	5	6	6	6
	5	6	7	7
	9	9	9	9
	8	8	9	9
	7	7	7	8
	8	9	9	9
	6	4	5	7
	5	6	7	8
	8	8	8	9
	7	9	9	9
	8	9	9	9
	8	8	9	9
	7	8	9	9
	8	9	9	9
	8	9	9	9
	8	9	9	9
	8	9	9	9
	6	8	8	9
	8	9	9	10
	5	6	6	7
	6	7	8	8
	8	8	9	9
	8	9	9	10
	6	6	7	8
	8	9	9	9
	6	8	8	8
	6	8	9	9
	4	5	6	7
	7	8	8	8
	7	8	8	8
	5	7	8	8
	5	6	7	6
Průměr	6,75	7,62	8,03	8,34

Tab. 60 Naměřené hodnoty při různých intenzitách osvětlenosti

věková skupina 40 - 49 let	2. měření 80W/840			
Intenzita osvětlenosti [lx]	100	350	900	6000
	5	7	8	8
	5	6	8	7
	5	6	7	7
	8	8	9	9
	7	8	8	8
	7	7	8	8
	8	9	9	9
	6	6	7	7
	7	7	8	8
	7	8	8	8
	8	8	9	9
	8	8	9	9
	9	9	9	9
	7	8	9	9
	8	9	9	9
Počet jasně přečtených řádků	9	9	9	9
	8	9	9	9
	7	8	8	8
	9	9	9	10
	6	6	7	7
	6	7	8	8
	8	8	9	9
	9	9	9	10
	7	8	8	8
	8	9	9	9
	6	7	8	8
	6	8	9	9
	5	6	7	7
	7	8	8	8
	7	8	8	9
	6	7	7	7
	5	6	7	6
Průměr	7	7,68	8,25	8,28

Tab. 61 Naměřené hodnoty při různých intenzitách osvětlenosti

věková skupina 40 - 49 let	3. měření 80W/827			
Intenzita osvětlenosti [lx]	95	300	850	4200
	6	7	8	8
	5	6	6	7
	6	6	7	8
	9	8	9	9
	7	8	8	8
	7	7	8	8
	8	8	9	9
	7	6	7	6
	7	7	8	8
	7	8	8	9
	8	8	9	9
	7	8	8	9
	9	9	9	9
	8	9	9	9
	7	9	9	9
Počet jasně přečtených řádků	8	9	9	9
	9	9	9	9
	6	7	8	8
	9	9	9	10
	6	7	7	8
	6	7	8	8
	7	8	8	8
	8	9	9	9
	7	8	8	9
	7	8	9	9
	6	7	7	8
	6	8	9	9
	5	6	7	8
	7	8	8	8
	7	8	8	8
	4	6	5	5
	5	4	6	6
Průměr	6,9	7,56	8	8,25

Tab. 62 Naměřené hodnoty při různých intenzitách osvětlenosti

věková skupina 50 - 59 let	1. měření 80W/865			
Intenzita osvětlenosti [lx]	80	300	900	7 000
	7	8	8	8
	7	8	8	9
	7	7	7	9
	8	8	8	8
	8	9	9	9
	7	7	7	7
	7	8	8	8
	7	8	8	8
	6	6	8	8
	4	6	6	7
	8	7	7	7
	5	6	6	6
Počet jasně přečtených řádků	8	8	9	9
	6	7	8	9
	4	4	4	4
	8	8	9	9
	5	6	7	8
	5	5	6	7
	5	6	7	8
	6	7	8	9
	8	8	8	9
	5	6	7	8
	8	9	9	10
	8	9	9	9
	6	7	8	8
Průměr	6,52	7,12	7,56	8,04

Tab. 63 Naměřené hodnoty při různých intenzitách osvětlenosti

věková skupina 50 - 59 let	2. měření 80W/840			
Intenzita osvětlenosti [lx]	100	350	900	6000
	7	7	8	8
	7	7	8	8
	4	7	7	7
	8	8	8	8
	8	9	9	9
	7	7	7	7
	8	8	8	9
	7	7	8	7
	7	7	8	8
	5	7	7	7
	7	8	8	8
	5	6	6	7
Počet jasně přečtených řádků	8	8	8	9
	6	7	8	9
	4	4	5	5
	8	9	9	9
	5	6	7	8
	7	6	6	7
	6	6	7	8
	7	8	8	9
	7	8	8	8
	5	6	7	8
	8	9	9	10
	8	9	10	10
	6	7	8	9
Průměr	6,6	7,24	7,68	8,08

Tab. 64 Naměřené hodnoty při různých intenzitách osvětlenosti

věková skupina 50 - 59 let	3. měření 80W/827			
Intenzita osvětlenosti [lx]	95	300	850	4200
	7	7	7	8
	7	8	8	8
	7	8	8	8
	8	8	8	8
	8	9	9	9
	7	7	7	7
	7	7	7	7
	7	8	8	8
	7	7	8	8
	4	5	7	7
	7	8	8	8
	5	5	6	6
Počet jasně přečtených řádků	7	8	8	8
	6	6	7	7
	4	4	4	4
	8	8	9	9
	4	6	7	7
	7	6	7	8
	4	5	7	8
	6	8	8	9
	7	8	8	9
	6	7	7	8
	8	9	10	10
	9	9	9	10
	6	5	7	8
Průměr	6,52	7,04	7,56	7,88

Tab. 65 Naměřené hodnoty při různých intenzitách osvětlenosti

věková skupina 60 - 69 let	1. měření 80W/865			
Intenzita osvětlenosti [lx]	80	300	900	7 000
Počet jasně přečtených řádků	6	6	6	6
	6	7	8	8
	6	6	7	7
	7	8	8	8
	7	7	7	8
	6	7	8	8
	6	6	6	7
	4	5	6	6
	6	6	7	7
	6	7	7	8
	7	7	7	7
	5	5	6	6
	6	6	7	7
	6	7	7	8
	Průměr	6	6,42	6,92

Tab. 66 Naměřené hodnoty při různých intenzitách osvětlenosti

věková skupina 60 - 69 let	2. měření 80W/840			
Intenzita osvětlenosti [lx]	100	350	900	6000
Počet jasně přečtených řádků	6	6	6	7
	6	7	8	8
	6	7	7	7
	7	8	8	8
	7	7	7	7
	5	6	8	8
	6	6	6	6
	4	4	5	6
	6	6	6	7
	6	7	7	7
	7	7	7	7
	5	5	5	6
	6	6	7	7
	6	6	7	8
	Průměr	5,92	6,28	6,71

Tab. 67 Naměřené hodnoty při různých intenzitách osvětlenosti

věková skupina 60 - 69 let	3. měření 80W/827			
Intenzita osvětlenosti [lx]	95	300	850	4200
Počet jasně přečtených řádků	4	5	6	6
	6	7	7	8
	6	6	7	7
	6	7	8	8
	7	7	7	7
	6	7	7	8
	5	5	6	6
	4	4	5	5
	6	6	6	6
	6	6	7	7
	7	7	7	7
	5	5	5	5
	6	6	7	7
	6	6	7	7
Průměr	5,71	6	6,57	6,71

Tab. 68 Naměřené hodnoty při různých intenzitách osvětlenosti

věková skupina 70 - 79 let	1. měření 80W/865			
Intenzita osvětlenosti [lx]	80	300	900	7 000
Počet jasně přečtených řádků	4	5	6	7
	5	6	6	7
	4	4	5	5
	5	5	7	7
	4	4	4	5
	5	5	6	6
	5	6	7	7
	4	5	6	6
	5	5	5	5
	5	5	6	6
Průměr	4,6	5	5,8	6,1

Tab. 69 Naměřené hodnoty při různých intenzitách osvětlenosti

věková skupina 70 - 79 let	2. měření 80W/840			
Intenzita osvětlenosti [lx]	100	350	900	6000
Počet jasně přečtených řádků	3	5	6	7
	6	5	7	8
	3	4	5	5
	5	6	6	7
	4	4	4	4
	5	5	5	6
	5	6	6	7
	4	5	5	6
	5	5	5	5
	5	5	5	6
Průměr	4,5	5	5,4	6,1

Tab. 70 Naměřené hodnoty při různých intenzitách osvětlenosti

věková skupina 70 - 79 let	3. měření 80W/827			
Intenzita osvětlenosti [lx]	95	300	850	4200
Počet jasně přečtených řádků	3	4	5	6
	5	5	5	6
	3	5	5	5
	5	5	6	6
	4	4	4	4
	5	5	5	6
	5	5	6	6
	4	5	5	5
	5	5	5	5
	5	5	5	6
Průměr	4,4	4,8	5,1	5,5

Tab. 71 Naměřené hodnoty při různých intenzitách osvětlenosti

G.2 Tabulky změřených hodnot na blízko

věková skupina 10 - 19 let	1. měření 80W/865			
Intenzita osvětlenosti [lx]	50	400	1500	14 500
Počet jasně přečtených řádků	6	7	7	7
	7	7	7	7
	6	7	7	7
	6	6	7	7
	6	7	7	7
	5	6	7	7
	6	6	6	6
	6	7	6	7
	7	7	7	7
	6	6	7	7
Průměr	6,1	6,6	6,8	6,9

Tab. 72 Naměřené hodnoty při různých intenzitách osvětlenosti

věková skupina 10 - 19 let	2. měření 80W/840			
Intenzita osvětlenosti [lx]	50	450	1500	14000
Počet jasně přečtených řádků	6	7	7	7
	7	7	7	7
	6	7	7	7
	6	6	7	7
	6	7	7	7
	6	6	7	7
	6	6	6	6
	6	7	7	7
	7	7	7	7
	6	6	7	7
Průměr	6,2	6,6	6,9	6,9

Tab. 73 Naměřené hodnoty při různých intenzitách osvětlenosti

věková skupina 10 - 19 let	3. měření 80W/827			
Intenzita osvětlenosti [lx]	50	450	1500	7500
Počet jasně přečtených řádků	6	7	7	7
	7	7	7	7
	6	7	7	7
	6	6	7	7
	7	7	7	7
	6	7	7	7
	6	6	6	6
	6	7	7	7
	7	7	7	7
	6	7	7	7
Průměr	6,3	6,8	6,9	6,9

Tab. 74 Naměřené hodnoty při různých intenzitách osvětlenosti

věková skupina 20 - 29 let	1. měření 80W/865			
Intenzita osvětlenosti [lx]	50	400	1500	14 500
Počet jasně přečtených řádků	6	7	7	7
	6	6	7	7
	6	7	7	7
	6	7	7	7
	6	6	5	6
	6	6	6	7
	6	6	6	6
	6	7	7	7
	6	6	7	6
	5	5	5	6
	Průměr	5,9	6,3	6,4

Tab. 75 Naměřené hodnoty při různých intenzitách osvětlenosti

věková skupina 20 - 29 let	2. měření 80W/840			
Intenzita osvětlenosti [lx]	50	450	1500	14000
Počet jasně přečtených řádků	6	7	7	7
	6	7	7	7
	6	7	7	7
	6	6	7	7
	5	6	5	6
	7	7	7	7
	6	6	6	6
	6	7	7	7
	6	6	7	6
	5	5	5	6
Průměr	5,9	6,4	6,5	6,6

Tab. 76 Naměřené hodnoty při různých intenzitách osvětlenosti

věková skupina 20 - 29 let	3. měření 80W/827			
Intenzita osvětlenosti [lx]	50	450	1500	7500
Počet jasně přečtených řádků	6	7	7	7
	6	6	6	7
	6	7	7	7
	6	6	7	7
	6	5	5	6
	6	6	7	7
	6	6	6	6
	6	7	7	7
	6	6	7	6
	5	5	5	6
Průměr	5,9	6,1	6,4	6,6

Tab. 77 Naměřené hodnoty při různých intenzitách osvětlenosti

věková skupina 30 - 39 let	1. měření 80W/865			
Intenzita osvětlenosti [lx]	50	400	1500	14 500
Počet jasně přečtených řádků	5	6	6	7
	5	6	6	6
	6	7	7	7
	6	6	7	7
	6	7	7	7
	4	5	6	6
	7	7	7	7
	6	6	6	6
	7	7	7	7
	6	6	6	7
	6	6	6	7
	6	6	7	7
	6	7	7	7
Průměr	5,85	6,31	6,54	6,77

Tab. 78 Naměřené hodnoty při různých intenzitách osvětlenosti

věková skupina 30 - 39 let	2. měření 80W/840			
Intenzita osvětlenosti [lx]	50	450	1500	14000
Počet jasně přečtených řádků	5	6	6	7
	5	5	6	6
	6	7	7	7
	6	6	7	7
	6	6	7	7
	5	6	6	6
	7	7	7	7
	6	6	6	6
	7	7	7	7
	6	6	7	7
	6	6	6	7
	6	6	6	6
	6	7	7	7
Průměr	5,92	6,23	6,54	6,69

Tab. 79 Naměřené hodnoty při různých intenzitách osvětlenosti

věková skupina 30 - 39 let	3. měření 80W/827			
Intenzita osvětlenosti [lx]	50	450	1500	7500
Počet jasně přečtených řádků	6	6	6	7
	5	6	6	6
	6	7	7	7
	6	6	6	7
	6	6	7	7
	5	5	6	6
	7	7	7	7
	6	6	6	7
	7	7	7	7
	6	6	7	7
	7	7	7	7
	6	6	6	6
	6	7	7	7
Průměr	6,08	6,31	6,54	6,77

Tab. 80 Naměřené hodnoty při různých intenzitách osvětlenosti

věková skupina 40 - 49 let	1. měření 80W/865			
Intenzita osvětlenosti [lx]	50	400	1500	14 500
Počet jasně přečtených řádků	5	6	6	6
	5	6	6	6
	5	6	6	6
	5	6	6	6
	5	5	6	6
	5	6	6	6
	4	5	5	6
	5	6	6	6
	4	5	5	5
	5	6	6	6
	5	5	5	6
	5	6	6	6
	4	6	6	6
	3	4	5	5
	5	6	6	6
	6	6	7	7
	4	5	6	6
	4	5	6	6
5	6	6	6	
Průměr	4,68	5,58	5,84	5,95

Tab. 81 Naměřené hodnoty při různých intenzitách osvětlenosti

věková skupina 40 - 49 let	2. měření 80W/840			
Intenzita osvětlenosti [lx]	50	450	1500	14000
Počet jasně přečtených řádků	5	6	6	6
	5	6	6	6
	5	6	6	6
	5	6	6	6
	5	5	6	6
	5	6	6	6
	4	5	5	6
	6	6	6	6
	4	5	5	5
	6	6	6	6
	5	6	6	6
	5	6	6	6
	4	5	6	6
	5	5	7	6
	5	6	6	6
	6	6	7	7
	3	6	6	6
	5	6	6	6
	5	6	6	6
	Průměr	4,89	5,74	6,00

Tab. 82 Naměřené hodnoty při různých intenzitách osvětlenosti

věková skupina 40 - 49 let	3. měření 80W/827			
Intenzita osvětlenosti [lx]	50	450	1500	7500
Počet jasně přečtených řádků	5	6	6	6
	6	6	6	6
	5	6	6	6
	6	6	6	6
	5	5	5	5
	6	6	6	6
	4	5	6	6
	6	6	6	6
	4	5	5	5
	4	5	6	6
	5	6	5	6
	4	5	6	6
	5	6	6	6
	4	5	6	5
	5	6	6	6
	6	7	7	7
	4	6	6	6
	4	5	6	6
	5	6	6	6
	Průměr	4,89	5,68	5,89

Tab. 83 Naměřené hodnoty při různých intenzitách osvětlenosti

věková skupina 50 - 59 let	1. měření 80W/865			
Intenzita osvětlenosti [lx]	50	400	1500	14 500
Počet jasně přečtených řádků	5	5	6	6
	5	6	6	6
	5	6	6	6
	6	6	6	6
	5	5	5	6
	4	5	5	6
	6	6	6	6
	3	5	5	6
	5	6	6	6
	5	5	6	6
	5	5	6	7
	3	4	4	5
	5	6	6	6
	5	6	6	6
	5	6	6	6
	5	5	5	6
5	6	6	6	
Průměr	4,82	5,47	5,65	6,00

Tab. 84 Naměřené hodnoty při různých intenzitách osvětlenosti

věková skupina 50 - 59 let	2. měření 80W/840			
Intenzita osvětlenosti [lx]	50	450	1500	14000
Počet jasně přečtených řádků	5	6	6	7
	5	6	6	6
	5	6	6	6
	6	6	6	6
	5	6	6	6
	5	5	5	6
	5	6	6	6
	3	4	5	6
	5	6	6	6
	5	5	6	6
	5	6	6	7
	3	4	4	5
	6	6	6	6
	5	5	6	6
	5	6	5	6
	4	5	5	6
5	5	6	6	
Průměr	4,82	5,47	5,65	6,06

Tab. 85 Naměřené hodnoty při různých intenzitách osvětlenosti

věková skupina 50 - 59 let	3. měření 80W/827			
Intenzita osvětlenosti [lx]	50	450	1500	7500
Počet jasně přečtených řádků	5	6	7	7
	5	6	6	6
	5	6	6	6
	6	6	6	6
	5	5	6	6
	4	5	5	6
	5	6	6	6
	4	5	5	5
	6	6	6	6
	5	5	6	6
	6	6	6	7
	3	4	5	5
	5	6	6	6
	5	6	6	6
	6	6	6	6
	5	5	5	6
5	6	6	5	
Průměr	5,00	5,59	5,82	5,94

Tab. 86 Naměřené hodnoty při různých intenzitách osvětlenosti

věková skupina 60 - 69 let	1. měření 80W/865			
Intenzita osvětlenosti [lx]	50	400	1500	14 500
Počet jasně přečtených řádků	5	5	5	6
	6	6	6	6
	5	5	5	5
	4	5	5	5
	5	5	5	6
	4	4	4	5
	5	5	6	5
	5	5	5	5
	5	6	6	6
	6	6	6	6
	Průměr	5	5,2	5,3

Tab. 87 Naměřené hodnoty při různých intenzitách osvětlenosti

věková skupina 60 - 69 let	2. měření 80W/840			
Intenzita osvětlenosti [lx]	50	450	1500	14000
Počet jasně přečtených řádků	5	5	5	6
	6	6	6	6
	5	5	5	5
	4	4	5	5
	5	5	5	6
	4	4	4	5
	5	5	6	5
	5	5	5	5
	5	6	6	6
	6	6	6	6
Průměr	5	5,1	5,3	5,5

Tab. 88 Naměřené hodnoty při různých intenzitách osvětlenosti

věková skupina 60 - 69 let	3. měření 80W/827			
Intenzita osvětlenosti [lx]	50	450	1500	7500
Počet jasně přečtených řádků	4	5	5	5
	6	6	6	6
	5	5	5	5
	5	5	5	5
	5	5	5	6
	4	4	5	5
	5	6	6	5
	5	5	5	6
	5	6	6	6
	6	6	6	6
Průměr	5	5,3	5,4	5,5

Tab. 89 Naměřené hodnoty při různých intenzitách osvětlenosti

věková skupina 70 - 79 let	1. měření 80W/865			
Intenzita osvětlenosti [lx]	50	400	1500	14 500
Počet jasně přečtených řádků	5	6	5	6
	4	4	4	4
	3	4	5	5
	5	5	6	5
	4	5	5	5
	5	5	5	5
	4	5	5	4
	3	4	5	5
	5	6	6	6
	4	5	5	5
Průměr	4,2	4,9	5,1	5

Tab. 90 Naměřené hodnoty při různých intenzitách osvětlenosti

věková skupina 70 - 79 let	2. měření 80W/840			
Intenzita osvětlenosti [lx]	50	450	1500	14000
Počet jasně přečtených řádků	5	5	5	6
	4	4	4	4
	3	3	4	3
	5	5	5	5
	4	5	5	5
	5	5	5	5
	4	5	5	4
	3	4	4	5
	5	6	6	6
	4	5	5	5
Průměr	4,2	4,7	4,8	4,8

Tab. 91 Naměřené hodnoty při různých intenzitách osvětlenosti

věková skupina 70 - 79 let	3. měření 80W/827			
Intenzita osvětlenosti [lx]	50	450	1500	7500
Počet jasně přečtených řádků	5	5	4	6
	4	4	4	4
	4	4	4	4
	5	6	6	5
	4	5	5	5
	5	5	5	5
	4	5	5	5
	4	4	5	5
	6	6	6	6
	5	5	6	6
Průměr	4,6	4,9	5	5,1

Tab. 92 Naměřené hodnoty při různých intenzitách osvětlenosti