

PŘÍRODOVĚDECKÁ FAKULTA UNIVERZITY PALACKÉHO V OLOMOUCI

KATEDRA OPTIKY

# VLIV OSLNĚNÍ NA ZRAK ŘIDIČŮ

DIPLOMOVÁ PRÁCE

VYPRACOVALA:

Bc. Markéta Žáková

Obor 5345T008 OPTOMETRIE

Studijní rok 2021/2022

VEDOUCÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE:

doc. RNDr. Mgr. František Pluháček, Ph.D.

**Čestné prohlášení**

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci vypracovala samostatně, pod vedením doc. RNDr. Mgr. Františka Pluháčka, Ph.D., za použití literatury uvedené v závěru práce.

V Olomouci dne

.....

Bc. Markéta Žáková

### **Poděkování**

Ráda bych chtěla poděkovat vedoucímu mé práce doc. RNDr. Mgr. Františkovi Pluháčkovi, Ph.D. za poskytnutí cenných rad a pomoci při zpracování diplomové práce. Dále bych ráda poděkovala RNDr. Ing. Ladislavovi Stankemu, Ph.D. a Mgr. Lucii Viktorové, Ph.D. za pomoc při realizaci experimentální části práce. Na závěr bych chtěla poděkovat Tereze Altmanové za spolupráci při experimentální části práce.

Tato práce byla vytvořena za podpory projektů IGA PrF UP v Olomouci s názvem "Optometrie a její aplikace", č. IGA\_PrF\_2020\_008, IGA\_PrF\_2021\_012 a IGA\_PrF\_2022\_010.

# OBSAH

Úvod .....	6
1 Anatomie sítnice .....	7
1.1 Fotoreceptory sítnice .....	8
1.2 Bipolární a horizontální buňky .....	9
1.3 Gangliové a amakrinní buňky .....	10
2 Zraková ostrost .....	12
2.1 Měření zrakové ostrosti .....	13
2.2 Optotypy a jejich konstrukce .....	14
3 Kontrastní citlivost .....	18
2.1 Měření kontrastní citlivosti .....	19
4 Adaptace oka .....	23
4.1 Adaptace na tmou .....	23
4.2 Adaptace na světlo .....	25
5 Oslnění .....	27
5.1 Klasifikace oslnění .....	27
5.2 Redukce vlivu oslnění u řidičů .....	29
6 Automobilové zdroje světla .....	31
6.1 Halogenové světlomety .....	32
6.2 Xenonové světlomety .....	33
6.3 LED světlomety .....	34
7 Praktická část .....	37
7.1 Metodika .....	37
7.1.1 Probandi .....	37
7.1.2 Postup měření .....	37
7.1.3 Analýza dat .....	41

7.2	Výsledky měření .....	41
7.3	Diskuze .....	43
	Závěr.....	46
	Přílohy .....	47
	Seznam použité literatury.....	49

# ÚVOD

Řízení motorového vozidla vyžaduje koordinaci zrakových, motorických i kognitivních schopností. Pro řidiče je obzvlášť důležitá správná funkce zrakového systému, neboť právě pomocí zrakových informací řidiči vyhodnocují stav silničního provozu a orientují se v provozu. Pokud se však v zorném poli vyskytnou dva výrazně odlišné jasy (např. odraz světla od vozovky), nebo je-li jas náhle prudce změněn (např. změna z potkávacích světel na dálková), dochází ke zrakovému diskomfortu a omezení příjmu zrakových informací. Tento stav je nazýván oslnění a má výrazně negativní vliv na zrakové vnímání a funkce, včetně zrakové ostrosti a kontrastní citlivosti, a proto může vést až fatálním následkům. Nejčastějším zdrojem oslnění při jízdě za nočních podmínek jsou automobilové světlomety. Z tohoto důvodu stále více řidičů vyhledává možnosti, jakými by byl vliv oslnění na zrakový systém snížen, a tím byla v noci dosažena bezpečnější a příjemnější jízda.

Cílem práce je nejprve teoreticky shrnout problematiku oslnění a s ní související témata za účelem poskytnutí potřebného teoretického základu pro následující experiment, který je zaměřen na vyhodnocení vlivu oslnění na vybrané zrakové funkce řidičů. V první kapitole bude objasněna anatomie sítnice a její příslušné neurální struktury. Následující kapitoly se budou zabývat zrakovou ostrostí a kontrastní citlivostí, principy měření daných zrakových charakteristik a konstrukcí určitých testů. Následovně budou objasněny adaptační mechanismy oka za různých jasových podmínek. Těžištěm teoretické části je problematika oslnění obecně. Zde bude popsána klasifikace a možné typy oslnění, dále jeho vliv na zrak a možné způsoby, jak lze jeho vliv snížit, přičemž pozornost je zaměřena hlavně na využití brýlových čoček. Jelikož v případě řidičů motorových vozidel jsou nejčastějším zdrojem oslnění světlomety protijedoucího vozidla, věnuje se poslední kapitola konkrétním typům automobilových světlometů se zaměřením na typy použité v provedené experimentální studii.

Experimentální část práce má dva stěžejní cíle. Prvním cílem je posoudit vliv oslnění způsobeného vybranými světelnými automobilovými zdroji na zrakovou ostrost a kontrastní citlivost při simulaci podmínek silničního provozu. Druhým cílem je zkoumat dopad vybraných typů testových čoček na vliv oslnění.

# 1 ANATOMIE SÍTNICE

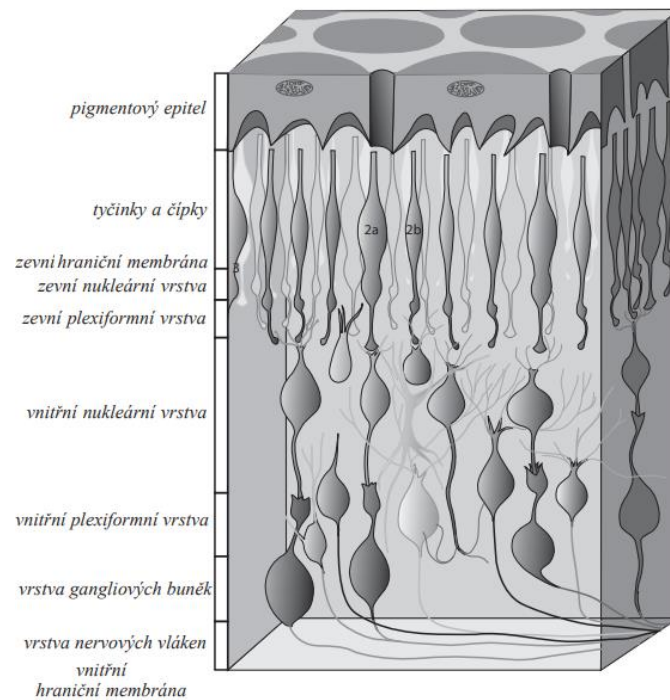
Hlavním úkolem sítnice je detekce světelného záření a jeho převodu na nervový signál, který je odváděn dále do mozku. Její struktura má tedy významný vliv na kvalitu i kvantitu vidění, charakterizované zrakovou ostrostí a kontrastní citlivostí. Dochází zde také k částečnému zpracování zrakového signálu, přičemž součástí celého procesu je též adaptace oka na světelné podněty, která je spojena s reakcí na oslnění. Při této aktivitě hrají podstatnou roli jednotlivé buňky sítnice. Znalost anatomie proto představuje jeden ze základních předpokladů pro pochopení těchto procesů. Následující text stručně shrne stavbu sítnice se zaměřením na příslušné neurony.

Sítnice je tenká průhledná vrstva tkáně, která vystýlá dutinovou stranu oční koule. Lze ji rozdělit podle stavby a funkčnosti na dvě části – optickou část (*pars optica retinae*), která pokrývá vnitřní povrch cévnatky, a slepou část (*pars coeca retinae*), která se v podobě dvouvrstevného epitelu přikládá k vnitřnímu povrchu řasnatého tělesa a k zadní ploše duhovky. Obě části jsou od sebe odděleny nerovnou linií, která se nazývá *ora serrata*. [1, 2, 3]

Optickou část sítnice lze charakterizovat jako tenkou blánu, která má vlivem prosvítání cév cévnatky červenou až oranžovou barvu. Mírně laterálně proti zadnímu pólu oka je umístěna žlutá skvrna eliptického tvaru, v jejímž středu je místo nejostřejšího vidění zvané fovea. Pro žlutou skvrnu je typické sytě červené zbarvení a vysoká koncentrace čípků. Slepá skvrna leží mediálně od žluté skvrny. Jedná se o místo, ze kterého vystupuje zrakový nerv z oční koule ven, a proto zde nejsou přítomny žádné světločivé buňky. [3]

Optická část sítnice je složená z devíti vrstev [1], kdy jaderné vrstvy obsahují těla buněk a plexiformní vrstvy vytváří propojení mezi neurony. Na optickou část sítnice přiléhá zevně pigmentový epitel (někdy též označovaný jako další vrstva sítnice), který slouží k pohlcování dopadajících světelných paprsků a zabránění jejich odrazu v oku. V pigmentovém epitelu jsou vnořeny vnější segmenty fotoreceptorů, a proto má odchlípení sítnice za následek jejich odumírání. Po pigmentovém epitelu následuje vrstva smyslových buněk sítnice, které přeměňují světlo na elektrické signály. Tato vrstva světločivých buněk tvoří první neuron sítnice. Synapse fotoreceptorů se napojují na vrstvu bipolárních buněk, které tvoří druhý neuron a zpracovávají vytvořené signály. Třetí neuron zrakové dráhy tvoří gangliové buňky, které navazují

na výběžky bipolárních buněk. Neurity gangliových buněk se sbíhají ve slepé skvrně a jako zrakový nerv vychází z oka směrem do mozku. Lidská sítnice je inverzního typu, tj. světelné paprsky musí projít celou sítnicí, aby mohly být detekovány segmenty fotoreceptorů. [1, 2, 3]

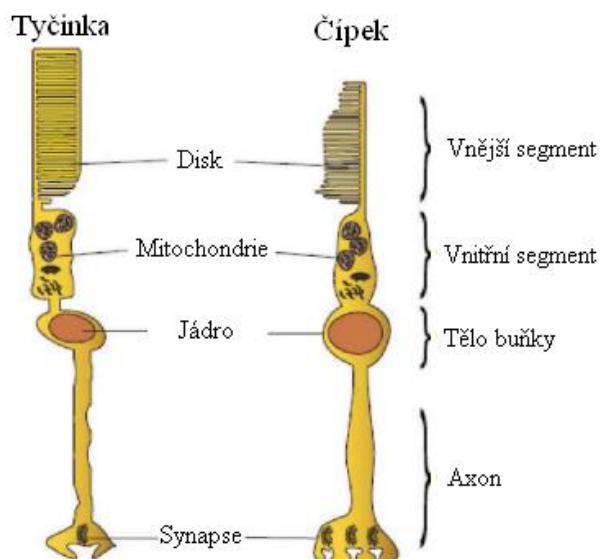


Obr. 1: Schéma vrstev sítnice. (upraveno) [1]

## 1.1 Fotoreceptory sítnice

Fotoreceptory jsou světločivné buňky sítnice, které mají schopnost přeměnit dopadající světlo na elektrické signály. Lze rozlišit dva typy receptorů – tyčinky a čípky. U každého fotoreceptoru je možné rozlišit čtyři části. Zevní segment obsahuje membranózní disky, ve kterých jsou umístěny pigmenty citlivé na světlo. Vnitřní segment je vyplněn mitochondriemi, ve kterých probíhají metabolické procesy. Pod vnitřním segmentem je umístěno jádro s DNA. Axon se svými synapsemi napojuje na bipolární a horizontální buňky, a tím přenáší signál dalším neuronům sítnice. Různé typy fotoreceptorů se odlišují tvarem zevních a vnitřních segmentů, umístěním jádra i tvarem synaptických zakončení axonů. [1, 2]





Obr. 2: Stavba tyčinky a čípku. (upraveno) [2]

Sítňice obsahuje přibližně 130 milionů tyčinek, jejichž koncentrace je nejvyšší asi 20° od žluté skvrny, a směrem do periferie jejich počet klesá. Tyčinky zajišťují vidění za zhoršených světelných podmínek a v noci (tzv. skotopické vidění), tudíž jsou v porovnání s čípkami citlivější. Oproti čípkům však nejsou schopné rozeznávat barvy a rozlišit drobné detaily. Tyčinky dosahují za skotopických podmínek maximální citlivosti při vlnové délce 507 nm. V jejich zevním segmentu je uložen pigment rodopsin. [1, 2, 4]

Množství čípků v sítnici je v porovnání s tyčinkami výrazně menší, a to pouhých 6 milionů. Největší koncentrace čípků se nachází ve fovee a směrem do periferie jejich počet rapidně klesá. Čípky zprostředkovávají vidění za dobrých světelných podmínek (tzv. fopické vidění) a umožňují vnímat barvy. V lidské sítnici se vyskytují tři typy čípků, které jsou citlivé na různé vlnové délky. Krátkovlnné (S) čípky dosahují nejvyšší citlivosti při vlnové délce 425 nm, středněvlnné (M) při 530 nm a dlouhovlnné (L) při 560 nm. Čípky mají ve svém zevním segmentu uložen fotocitlivý pigment jodopsin, který se skládá z fotopsinu a retinalu. [1, 4, 5]

## 1.2 Bipolární a horizontální buňky

Výběžky fotoreceptorů se napojují ve vnější plexiformní vrstvě na bipolární a horizontální buňky, jejichž těla a jádra leží ve vnitřní jaderné vrstvě. Bipolární buňky představují druhý neuron zrakové dráhy [1]. Podle množství napojených fotoreceptorů lze rozlišit tři typy bipolárních buněk. Čípkové (midget) bipolární buňky jsou napojeny

na jeden čípek, který leží v centrální oblasti žluté skvrny. Pro plošné (flat) bipolární buňky je typické napojení na 6–7 čípků, zatímco tyčinkové (rod) bipolární buňky se mohou napojit až na 50 tyčinek [5]. Bipolární buňky lze také dělit podle typu receptivního pole na ON bipolární buňky nebo OFF bipolární buňky. Receptivní pole je oblast zrakové dráhy, kde světlo způsobí odezvu dané buňky. ON bipolární buňky jsou aktivní při dopadu světla do středu receptivního pole, zatímco pro aktivitu OFF bipolárních buněk je důležité zamezení dopadu světla do středu receptivního pole. Činnost bipolárních buněk závisí na neurotransmiteru glutamátu, který se podílí na přenosu nervového vzruchu, a který je uvolňován z fotoreceptorů. Pokud na fotoreceptor dopadá světlo, sníží se množství uvolňovaného glutamátu, zatímco ve tmě je produkce glutamátu nejvyšší. Glutamát také inhibuje činnost ON bipolárních buněk a excituje funkci OFF bipolárních buněk. Při dopadu světla na čípky dochází k jejich hyperpolarizaci (membránový potenciál se stává negativní), která vede k excitaci ON bipolárních buněk a inhibici OFF bipolárních buněk. Uvedená, přibližně kruhová struktura receptivních polí se následně přenáší na další nervové vrstvy, kde dochází k různé kombinaci těchto polí do komplexních, komplikovaných struktur. Výsledná složená receptivní pole různého tvaru pak hrají významnou roli při detekci detailů, hran, pohybu, směru pohybu a mají značný význam také při vnímání odlišných jasů v receptivním poli. [4, 6]

Horizontální buňky vytváří laterální propojení mezi receptory. Jádra buněk jsou umístěna ve vnitřní jádrové vrstvě, zatímco jejich výběžky se synapticky napojují na fotoreceptory a bipolární buňky ve vnější plexiformní vrstvě. Horizontální buňky nejčastěji reagují na světlo svou hyperpolarizací. Celkem lze rozlišit dva druhy buněk – L-typ a C-typ. Buňky L-typu reagují na celé viditelné spektrum stejně a jejich reakce se s intenzitou osvětlení zesiluje. Naopak reakce buněk C-typu závisí na vlnové délce světla. Část buněk reaguje na červené světlo depolarizací (membránový potenciál se stává pozitivní) a na světlo zelené hyperpolarizací, zatímco druhá část při použití žlutého světla depolarizuje a při modrém světle hyperpolarizuje. [3, 4, 6]

### 1.3 Gangliové a amakrinní buňky

Gangliové buňky představují poslední funkční buňky v sítnici a jejich vlákna tvoří vlákna zrakového nervu směřujícího do zevního kolínkovitého tělíska (*corpus geniculatum laterale*). Sítnice obsahuje přibližně 1–2 miliony gangliových buněk, které

jsou rozprostřené po celé sítnici. Gangliové buňky jsou morfologicky velmi různorodé. Parvocelulární gangliové buňky, známé také pod názvem gangliové P-buňky, se nejčastěji vyskytují v centrální oblasti sítnice. Tento typ bipolárních buněk je v sítnici zastoupen nejvíce. Mají malé receptivní pole a nesou informace o drobných detailech pozorovaného obrazu a barvách. Magnocelulární gangliové buňky, nazývané také M-buňky, se v sítnici vyskytují nejméně. M-buňky jsou zaměřené na vnímání silných podnětů a pohybu, zároveň jsou velmi citlivé na změnu tonálního kontrastu. Tyto buňky získávají informace od několika bipolárních buněk, a proto mají větší receptivní pole. Koniocelulární gangliové buňky, zkráceně K-buňky, jsou velmi citlivé na informace od krátkovlnných čípků. Obdobně jako u bipolárních buněk lze rozlišit gangliové buňky typu ON a OFF, kdy gangliové buňky se napojují na stejný typ bipolárních buněk (ON gangliové buňky na ON bipolární buňky atd.). [1, 3, 4, 6, 7]

V roce 2002 byl objeven vzácný typ gangliových buněk, které jsou přirozeně fotosenzitivní a schopné reagovat na světelnou simulaci i při izolaci od synaptických výběžků. Tyto vnitřně fotosenzitivní sítnicové gangliové buňky (v angličtině intrinsically photosensitive retinal ganglion cells, zkráceně ipRGCs) jsou nejcitlivější na vlnovou délku 480 nm, která odpovídá světlu modré barvy. Dané gangliové buňky obsahují fotocitlivý pigment melanopsin, který zprostředkovává zrakové funkce jako reakce zornic na osvit, fotofobii, cirkadiánní rytmus a jiné. Melanopsin je obsažen v 0,2–5 % všech gangliových buněk sítnice. Koncentrace melanopsinových gangliových buněk je nejvyšší v centru fovey a směrem do periferie jejich počet klesá. [7, 8]

Amakrinní buňky, obdobně jako horizontální buňky, zajišťují laterální propojení s gangliovými buňkami. Buňky jsou obzvláště citlivé na časové změny podnětu. Zároveň jsou velmi různorodé, a proto lze rozlišit až 30 typů amakrinních buněk. Podle hloubky vnoření jejich výběžků lze amakrinní buňky rozdělit na difúzní a stratifikované. Výběžky difúzních amakrinních buněk prostupují vnitřní plexiformní vrstvou v celé její šířce, naopak u stratifikovaných amakrinních buněk prochází jejich výběžky pouze svrchní oblastí zmíněné vrstvy. [4, 7]

## 2 ZRAKOVÁ OSTROST

Zraková ostrost popisuje schopnost zrakového systému rozeznat drobné detaily a lze ji měřit pomocí tištěných nebo promítaných vizuálních podnětů. Je dána transparentí optických médií oka, refrakcí, normální funkcí sítnice, zrakové dráhy a mozkových center. Na zrakovou ostrost lze pohlížet z různých úhlů pohledu. Pro její číselný popis je vždy podstatná prahová hodnota příslušného podnětu, za které je právě splněn daný zrakový úkon. Mezi důležité prahové hodnoty popisující různé typy zrakové ostrosti patří:

- a) Minimum visibile – práh pro rozlišení přítomnosti znaku na základě rozdílného kontrastu mezi znakem a pozadím (detekční zraková ostrost)
- b) Minimum separabile – prahová hodnota úhlové vzdálenosti pro rozlišení dvou blízkých bodů, též označovaná jako minimální úhlové rozlišení (anglicky minimum angle of resolution, *MAR*) (rozlišovací zraková ostrost)
- c) Minimum cognibile – práh pro rozpoznání znaku nebo tvaru (identifikační zraková ostrost)
- d) Minimum legibile – prahová hodnota pro porozumění smyslu pojmu složených z několika znaků

V klinické praxi se nejčastěji při hodnocení zrakové ostrosti do dálky využívá rozlišovací zraková ostrost a minimum separabile, tj. *MAR*, popř. z něj odvozené veličiny. Tento parametr je též hodnocen v experimentální části práce, a proto mu bude věnována pozornost. *MAR* se z praktických důvodů obvykle vyhodnocuje pomocí identifikační zrakové ostrosti na základě velikosti detailů nejmenšího identifikovaného znaku. Z fyziologického hlediska jsou dva body považovány za rozlišené právě tehdy, jestliže mezi jejich obrazy na sítnici leží alespoň jeden nepodrážděný čípek. Pokud je daná podmínka splněna, je hodnota *MAR* přibližně rovna 1' a používá se jako referenční hodnota k měření zrakové ostrosti. U některých osob může být hodnota *MAR* lepší (nižší). Kromě *MAR* lze stanovit i noniovou rozlišovací mez, která popisuje nejmenší úhlovou vzdálenost dvou na sebe zdánlivě navazujících rovnoběžných úseček, při které jsou ještě jako dvě úsečky odlišeny. Její hodnota je oproti *MAR* až dvacetinásobně lepší. [5, 9, 10, 11, 12]

Zrakovou ostrost mohou ovlivnit psychologické, fyzikální i fyziologické faktory. Zraková ostrost bývá nejlepší ve foveole (centru fovey) a směrem do periferie klesá z důvodu menší hustoty fotoreceptorů. Při odklonu 5° od foveoly se zraková ostrost sníží o 25 %. Častou příčinou snížené zrakové ostrosti je nekorigovaná ametropie. Sférická refrakční vada se na sítnici projeví jako rozmazaný kruh, zatímco astigmatismus se může projevit i jako rozmazaná elipsa, nebo úsečka. Příčinou momentálního poklesu zrakové ostrosti může být i oslnění, vyvolané např. světly protijedoucího automobilu. Touto problematikou se zabývá experimentální část práce. Také mnoho onemocnění sítnice, např. věkem podmíněná makulární degenerace nebo makulární edém, má za následek snížení zrakové ostrosti. Na zrakovou ostrost má také vliv změna transparentnosti očních médií, která naruší rozptyl procházejícího světla a zvýší riziko oslnění. [10, 11]

Rozlišovací zrakovou ostrost lze mimo *MAR* kvantitativně vyhodnotit pomocí tzv. parametru *logMAR*, představujícího desítkový logaritmus *MAR*, a vízu *V*. *LogMAR* oproti *MAR* lépe vyjadřuje vlastnosti zrakového vjemu, který, jako i ostatní smyslové vjemy, se řídí tzv. Weber-Fechnerovým zákonem. Podle tohoto zákona, roste-li podnět geometrickou řadou, roste vjem řadou aritmetickou. Smyslový systém tedy logaritmuje podněty. *LogMAR* je obvykle využíván v experimentech či studiích. Naopak vízu je často využíván v klinické praxi. Je definován vztahem

$$V = \frac{1'}{MAR},$$

kde *MAR* je minimální úhlové rozlišení v úhlových minutách. Jestliže je *MAR* rovno 1', tak hodnota vízu  $V = 1$ ; tato hodnota je považována za referenční. Hodnotu vízu lze popsat decimálně nebo zlomkem (viz níže). [1, 5]

## 2.1 Měření zrakové ostrosti

K měření zrakové ostrosti do dálky se používají tzv. optotypy. Obvykle se jedná o soubor vhodných znaků s proměnnou velikostí. Detail nejmenšího rozlišeného znaku pak udává *MAR*. Odtud je pak možné určit *logMAR*, popř. *V*. V klinické praxi je znak považován za přečtený, je-li správně identifikován s pravděpodobností 60 %. Obvykle jsou znaky o stejné velikosti (a tedy odpovídající stejné zrakové ostrosti) řazeny na jednom řádku. Zraková ostrost je pak určena podle nejmenšího přečteného řádku, tj. nejmenšího řádku, na kterém je přečteno 60 % znaků (např. 3 z 5). Jedná se

o tzv. celořádkový vízus. Tuto hodnotu je možné upřesnit, je-li užito speciálních optotypů (viz níže). U daného znaku nebo řádku bývá přímo uvedena odpovídající hodnota *MAR*, *logMAR* nebo *V*. Dále je možné vízus stanovit jako poměr vyšetřovací vzdálenosti a tzv. čísla řádku, které bývá u optotypů uvedeno,

$$V = \frac{\text{vyšetřovací vzdálenost}}{\text{číslo řádku}},$$

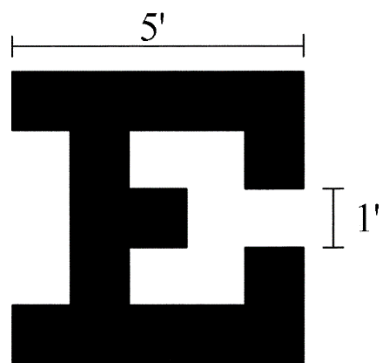
kde vyšetřovací vzdálenost označuje vzdálenost pacienta od optotypu (v metrech) a číslo řádku odpovídá vzdálenosti (v metrech), ze které je řádek přečten okem o vízu 1. Tato zjištěná hodnota se obvykle ponechává ve tvaru zlomku a nese informaci o vyšetřovací vzdálenosti. Číslo řádku není přímo závislé na vyšetřovací vzdálenosti. Pokud pacient na danou vzdálenost nedokáže přečíst největší řádek optotypu, může se vyšetřovací vzdálenost zmenšit. Pokud i přesto pacient nedokáže přečíst optotyp, zkouší se počítání prstů na rukou (např. ze vzdálenosti 1 m). Při neúspěšném počítání prstů se kontroluje vnímání pohybu rukou a následně reakce na světlo. Pokud pacient nerozezná ani přítomnost světla, mluvíme o amauróze. [1, 5, 9, 10]

Na vyšetření do dálky (zejména ve spojení se stanovením refrakční vady) je obvykle kladen požadavek na vyloučení akomodace, proto je doporučená vyšetřovací vzdálenost alespoň 5 nebo 6 m. Této vzdálenosti je též možné dosáhnout pomocí zobrazení optotypu přes zrcadlo. Některé speciální optotypy jsou konstruovány na 4 m (např. ETDRS, viz níže). Pro vyšetření do blízka je typická vzdálenost 40 cm, přičemž obvykle se určuje minimum legibile, a to na základě velikosti nejmenšího přečteného textu.

## 2.2 Optotypy a jejich konstrukce

Optotypy můžeme řadit na několik typů v závislosti na jejich konstrukci, prezentovaných znacích nebo způsobu prezentování znaků. Optotypové znaky často vychází z původní Snellenovy konstrukce. Znaky, které mají stejnou velikost, se nachází na stejném řádku. Velikost řádků se postupně směrem dolů zmenšuje. Každý znak je vepsán do čtverce o poměru 5 x 5, tj. tloušťka čáry znaku tvoří 1/5 jeho výšky. Novější optotypové znaky využívají rastr 5 x 4, přičemž je opět zachována velikost detailu jako tloušťka tvořící 1/5 výšky. Mezi obvykle používané znaky patří sada deseti písmen podle Sloanové (5 x 5) nebo sada tzv. British letters (5 x 4). Lze se setkat i se znaky jiných parametrů, dále s čísly či obrázky. Optimální je, mají-li všechny znaky

použité ve vyšetřovací sadě stejnou, nebo podobnou čitelnost. Tuto podmínku splňují např. Landoltovy prstence, znaky ve tvaru písmene „C“, u kterých vyšetřovaný vyhodnocuje orientaci štěrbinu znaku. Uvádí je též norma ČSN EN ISO 8596 195002 o vyšetření zrakové ostrosti a konstrukci optotypů [13]. Dále podmínku splňují E-háky nebo Pflügerovy háky, které oba připomínají svým tvarem písmeno „E“. Zatímco Pflügerovy háky mají střední horizontální rameno zkráceno o 1/5 své šířky, E-háky mají všechna horizontální ramena stejně dlouhá. V klinické praxi jsou z důvodu jednoduché komunikace s vyšetřovaným využívána většinou písmena. [5, 11, 12]



Obr. 3: Znak „E“ podle Snellenovy konstrukce. (upraveno) [11]

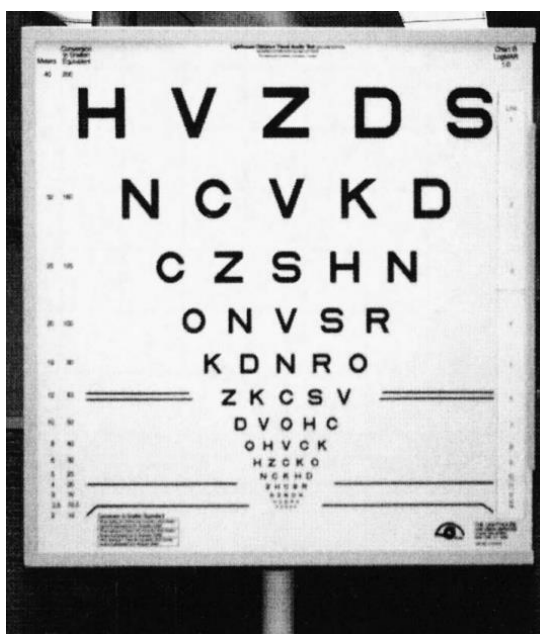
Velikost znaků na řádku se může měnit několika způsoby, nejčastěji se lze setkat s těmito třemi způsoby řazení řádků:

- Snellova řada: Tato řada byla stanovena empiricky a velmi přibližně odpovídá Weber-Fechnerovu zákonu. Vízy jednotlivých řádků, udané zlomkem, jsou 6/6; 6/30; 6/24; 6/18; 6/15; 6/12; 6/9; 6/6; 6/4.
- Aritmetická řada: Vízus se mění s krokem  $\Delta V = 0,1$  (aritmetickou řadou). Tato změna však nevyhovuje Weber-Fechnerovu zákonu, u nízkých hodnot vízu je toto dělení příliš hrubé, naopak u vysokých hodnot je zbytečně jemné.
- Logaritmická (geometrická) řada: Zraková ostrost je udávána v  $\log MAR$ , změna ostrosti mezi řádky odpovídá kroku  $\Delta \log MAR = 0,1$ , tj. vízus se mění řadou geometrickou s kvocientem  $\sqrt[10]{10}$ . Toto řazení plně respektuje Weber-Fechnerův zákon.

Aby byla zraková ostrost určena vždy se stejnou přesností, je nutné mít na každém řádku stejný počet znaků (obvykle 5). Také vzájemná vzdálenost znaků může

ovlivnit jejich čitelnost – tento jev je označován jako crowding fenomén. Proto je vhodné, aby vzdálenosti mezi znaky byly rovny alespoň šířce znaku a mezi řádky byla vzdálenost alespoň o výšce znaku menšího řádku. [5, 11, 12]

V klinických výzkumech a pro lepší zhodnocení zrakové ostrosti se používají optotypy, které korespondují s Weber-Fechnerovým zákonem, tj. jsou logaritmicky řazené, mají stejný počet znaků na řádek a dodržují vhodné rozestupy mezi znaky a řádky, tj. eliminují crowding fenomén. Jedná se o optotypy konstruované podle Baileyho a Lovieho, kteří tuto ideální konstrukci navrhli. Patří sem např. ETDRS (early treatment diabetic retinopathy study) optotypy. Skládají se ze 14 řádků po pěti znacích, které mají stejnou čitelnost. Znaky na řádku jsou od sebe vzdálené o šířku znaku a vzdálenost mezi řádky je rovna výšce znaku menšího řádku. Velikost znaků v řádcích se mění logaritmicky, kdy každé dva sousední řádky se od sebe liší o  $\Delta \log MAR = 0,1$ . Potom každý správně přečtený znak odpovídá změně  $\log MAR$  o  $0,1/5$ , tj.  $0,02$ . Takto lze stanovit zrakovou ostrost s přesností na jednotlivé přečtené znaky. [1, 5, 11]



Obr. 4: ETDRS optotyp. [11]

Podle provedení optotypů do dálky lze rozlišit optotypy tištěné, světelné nebo digitální. Tištěné optotypy jsou v porovnání s výše zmíněnými typy optotypů nejjednodušší a nejlevnější variantou. Jedná se o soubor potištěných tabulek z bílého kartonu nebo plastu, které se mohou pověsit na zeď. Problémem tištěných optotypů je však náchylnost podkladového papírového materiálu k nažloutnutí a nutnost dostatečného osvětlení. Oproti tištěným optotypům mají světelné optotypy vlastní zdroj



osvětlení. Kontrast znaků je dostatečně vysoký. Obvykle mají tvar světelné skříně, na jejichž čelní desce jsou prezentovány znaky optotypů. Nevýhodou světelných optotypů je potřeba dostatečného osvětlení místnosti, na které závisí kontrast prezentovaných znaků. V dnešní moderní době se využívají digitální optotypy, které jsou řízené počítačem a mají mnoho výhod. Tyto optotypy využívají LCD nebo LED obrazovky, a proto dosahují vysokého jasů a kontrastu. Znaky mohou být náhodně generovány, a tím je jejich zapamatování těžší. Z těchto důvodů byla tato konstrukce optotypů využita v experimentální části práce. [12, 14]

V klinické praxi se obvykle pro měření zrakové ostrosti do blízka používají tištěné optotypy ve formě tabulky, nebo souboru tabulek. V porovnání s optotypy do dálky, které využívají samostatných znaků, používají optotypy do blízka odstavce souvislého textu o různé velikosti. Vyšetřovaný při měření drží tabulku tak, aby poloha těla odpovídala přirozeným čtecím podmínkám vyšetřovaného nebo jeho nárokům pro práci do blízka. Nejčastěji se využívají Jägerovy tabulky. [10, 12]

### 3 KONTRASTNÍ CITLIVOST

Předměty lze od sebe nebo od daného pozadí lépe rozlišit, pokud je dostatečně velký rozdíl v jasů nebo barvě pozorovaných ploch. Největší význam má z těchto dvou faktorů jas. Pro zrakový systém není důležitý absolutní rozdíl jasů, nýbrž rozdíl relativní, který je vnímán vůči okolí pozorovaného předmětu. Tento relativní rozdíl lze vyjádřit pomocí tzv. kontrastu. Kontrast  $C$  lze popsat jako relativní rozdíl jasů dvou blízkých předmětů, který může být viditelný současně nebo s časovým odstupem. Kontrast může být definován podle Michelsona,

$$C = \frac{L_{\max} - L_{\min}}{L_{\max} + L_{\min}},$$

kde  $L_{\max}$  značí jas světlejšího předmětu a  $L_{\min}$  jas tmavšího předmětu v zorném poli. Tato definice se využívá většinou pro stanovení kontrastu sinusové mřížky. Další možnou definicí je tzv. Weberův kontrast,

$$C = \frac{L_p - L_o}{L_p}$$

kde  $L_o$  značí jas pozorovaného předmětu a  $L_p$  značí jas pozadí. Tato definice se využívá při hodnocení kontrastu znaků na monotónním pozadí. Aby oko bylo schopné vnímat kontrast, musí být rozdíl jasů větší než kontrastní práh. Lze jej popsat jako nejnižší kontrast dvou jasů, při kterém jsou ještě od sebe rozlišitelné jako různé jasy. Převrácená hodnota kontrastního prahu vyjadřuje kontrastní citlivost. Z tohoto důvodu platí, že pacienti s nízkým kontrastním prahem mají vysokou kontrastní citlivost a naopak. [5, 10, 15, 16, 17]

Pomocí kontrastní citlivosti lze zhodnotit vidění za podmínek běžného života, kdy pozorované předměty mají snížený kontrast. V reálném světě se nesetkáme pouze s objekty o vysokém kontrastu, ale skládá se z široké škály kontrastů, přičemž nízké kontrasty jsou zcela běžné. Proto je zraková ostrost, která je měřena za vysokých kontrastních podmínek, nedostačujícím ukazatelem kvality vidění za každodenních podmínek. Kontrastní citlivost poskytuje také představu o různých funkčních zrakových schopnostech, např. riziku pádu, dopravní nehody, schopnosti číst nebo řídit. Měření kontrastní citlivosti může dále odhalit přítomnost zrakové dysfunkce, která se nemusí projevit u jiných vyšetření zraku. Některá onemocnění se projevují snížením kontrastní citlivosti při normální zrakové ostrosti. K poklesu kontrastní citlivosti dochází buď ve

všech prostorových frekvencích (viz níže), např. při zánětu zrakového nervu, nebo pouze v určitých frekvencích, např. pokles vyšších prostorových frekvencí při onemocnění centrální části sítnice. Znalost kontrastní citlivosti a její závislost na prostorové frekvenci či vízu tak představuje jeden ze základních parametrů pro hodnocení kvality zraku a je využita pro hodnocení vlivu oslnění v experimentální části. [10, 15, 17]

## **2.1 Měření kontrastní citlivosti**

Kontrastní citlivost lze měřit pomocí vhodných znaků či struktur s proměnným kontrastem. Využívá se buďto optotypů s proměnným kontrastem a konstantní velikostí znaků, optotypů s proměnným kontrastem a proměnnou velikostí, nebo sinusové mřížky s proměnným kontrastem a variabilní tzv. prostorovou frekvencí. Poslední dvě možnosti umožňují hodnotit kontrastní citlivost v závislosti na velikosti pozorovaných detailů a přinášejí tak více informací. První metoda, reprezentovaná tzv. Pelli-Robsonovou tabulí, je však jednodušší a byla využita v experimentální části této práce.

### **Pelli-Robsonova tabule**

Pelli-Robsonova tabule využívá metody optotypů s proměnným kontrastem, a proto využívá písmena o stejné velikosti a různém kontrastu. Její rozměry jsou 86 x 63 cm a bývá zavěšena ve vzdálenosti 1 m od vyšetřovaného. Tabule se skládá ze šestnácti trojic písmen, které jsou uspořádány do osmi řádků po dvou trojicích písmen (šest písmen na řádku). Písmena mají v každé trojici stejný kontrast a každá trojice písmen se od následující liší o 0,15 log. Tabule je externě osvětlena a výsledná hodnota kontrastní citlivosti se při různých jasech mění málo. [10, 12, 15, 17]



Obr. 5: Pelli-Robsonova tabule. [18]

Pokud je tabule umístěna ve vzdálenosti 1 m, je kontrastní citlivost měřena pouze při nízkých prostorových frekvencích (okolo  $0,5\text{--}1\text{ c}/^\circ$ ). Proto je tato metoda vhodná pro vyhodnocení funkční ztráty zraku nebo ztráty vnímání nízkých prostorových frekvencí. Pelli-Robsonova tabule může být použita i při vyšší vyšetřovací vzdálenosti k vyhodnocení vyšších prostorových frekvencí. Pokud se tabule umístí do vzdálenosti 3 m od vyšetřovaného, bude kontrastní citlivost měřená pro prostorové frekvence okolo  $1,5\text{--}2\text{ c}/^\circ$ . [17]

Cílem vyšetřovaného je číst jednotlivé řádky tabule počínaje horním řádkem zleva doprava do doby, dokud dokáže písmena ještě rozlišit. Kontrastní citlivost je určena podle poslední přečtené trojice písmen, u které pacient správně rozezná alespoň dvě písmena z dané trojice. [12, 15]

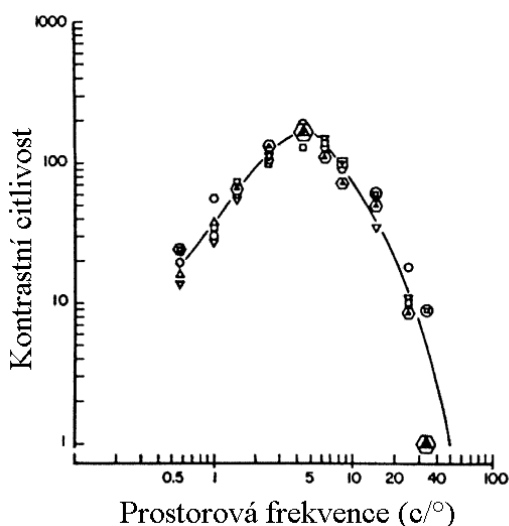
### **Měření kontrastní citlivosti v závislosti na prostorové frekvenci**

Základním vyšetřením kontrastní citlivosti je měření pomocí mřížky se sinusovým průběhem jasu. Mřížka je charakterizována pravidelným kolísáním hodnot jasu od minima po maxima, které se projeví střídáním světlých a tmavých pruhů. Vzdálenost hrany dvou tmavých pruhů je označována jako perioda (cyklus) a udává se v úhlové míře. Takovou mřížku lze popsat nejen pomocí kontrastu, ale také pomocí prostorové frekvence, která odpovídá převrácené hodnotě periody a udává se typicky v počtech cyklů na stupeň ( $\text{c}/^\circ$ ). [5, 10, 12, 15]

Vysoké prostorové frekvence odpovídají detailům pozorovaného obrazu, naopak nízké prostorové frekvence reprezentují pozvolné jasové přechody v pozorované scéně.

Čípky jsou velmi citlivé na kontrast a jsou schopné vnímat vysoké prostorové frekvence. Naopak tyčinky vnímají jen nižší prostorové frekvence, avšak mají vysokou časovou rozlišitelnost. [10]

Závislost kontrastní citlivosti na prostorové frekvenci vyjadřuje funkce kontrastní citlivosti. Tato křivka má za fotopických podmínek u zdravého pacienta zvonový tvar. Křivka nabývá maximální kontrastní citlivosti ve středních hodnotách prostorové frekvence (3–6  $c/^\circ$ ) a směrem k vyšším frekvencím prudce klesá. Plocha pod křivkou znázorňuje oblast vidění. Nízké prostorové frekvence (menší než 0,5  $c/^\circ$ ) jsou dostačující k rozeznání velkých předmětů, střední a vysoké frekvence pak poskytují detailnější informace. [10, 15]



Obr. 6: Funkce kontrastní citlivosti. (upraveno) [15]

Jako příklad testovací metody lze uvést Vistechovy tabulky (VCTS test). Jsou složeny z kruhových sinusových mřížek, které jsou uspořádány do pěti řad po devíti sloupcích. Směrem doprava se kontrast mřížek snižuje o 0,2 log jednotky, zatímco směrem dolů se zvyšuje prostorová frekvence mřížek. Pruhy mřížek mohou být orientovány třemi způsoby – vertikálně, mírně nakloněné doleva nebo mírně nakloněné doprava. [5, 12, 15]

Vyšetřovací vzdálenost je 3 metry, kdy oko vidí každou mřížku pod úhlem  $1^\circ$ . Úkolem vyšetřovaného je uvést, jakým způsobem jsou jednotlivé mřížky orientovány nebo zda jsou mřížky prázdné. Poslední mřížka, u které dokáže pacient správně určit orientaci pruhů, vyjadřuje kontrastní citlivost pro danou prostorovou frekvenci. [12, 15]

## **Měření kontrastní citlivosti v závislosti na zrakové ostrosti**

Optotypy s proměnným kontrastem a proměnnou velikostí znaků měří v porovnání s Pelli-Robsonovou tabulí nejmenší znak, který je vyšetřovaným ještě rozpoznán při daném kontrastu. Proto tyto optotypy neslouží přímo k měření kontrastní citlivosti, ale zrakové ostrosti při dané hodnotě kontrastu. Výsledky lze do určité míry korelovat s hodnotami prostorové frekvence – větší znaky s hrubšími detaily korelují se středními prostorovými frekvencemi, zatímco menší znaky s malými detaily odpovídají vyšším prostorovým frekvencím. Čím nižší je kontrast optotypů, tím citlivější jsou optotypy na drobný pokles zrakové ostrosti vyšetřovaného. [17]

Mezi dané optotypy lze zařadit sadu Bailey-Lovieho optotypů, které kromě běžného optotypu s vysokým kontrastem obsahují optotyp s nízkým kontrastem o hodnotě 10 % (jedná se o Michelsonův kontrast a odpovídá Weberovu kontrastu o hodnotě 18 %). Konstrukce zmíněných optotypů je rozebrána v podkapitole 2.2. Pro klinické výzkumy se obvykle využívají ETDRS optotypy se znaky podle Sloanové. Optotypy jsou v provedení o hodnotách kontrastu 100 %, 2,5 % nebo 1,25 %, kdy 100% kontrast odpovídá černým znakům na bílém pozadí. [17, 18]

## 4 ADAPTACE OKA

Adaptaci lze chápat jako schopnost zrakového systému se přizpůsobit různým intenzitám osvětlení nebo světelným podmínkám. V závislosti na hodnotě jasu, na kterou se má zrakový systém adaptovat, mluvíme o adaptaci na světlo a následném fotopickém vidění, nebo o adaptaci na tmu a skotopickém vidění. Na adaptaci se podílí několik faktorů. Nejvýznamnější z nich je přítomnost dvou typů fotoreceptorů s odlišnými typy pigmentu citlivého na světlo a jejich následné odlišné propojení na další neurální struktury sítnice. Čípky se podílí na fotopickém vidění, zatímco tyčinky poskytují skotopické vidění. Stav, při kterém se na adaptaci podílí tyčinky i čípky, se nazývá mezopické (přechodové) vidění. [4, 7]

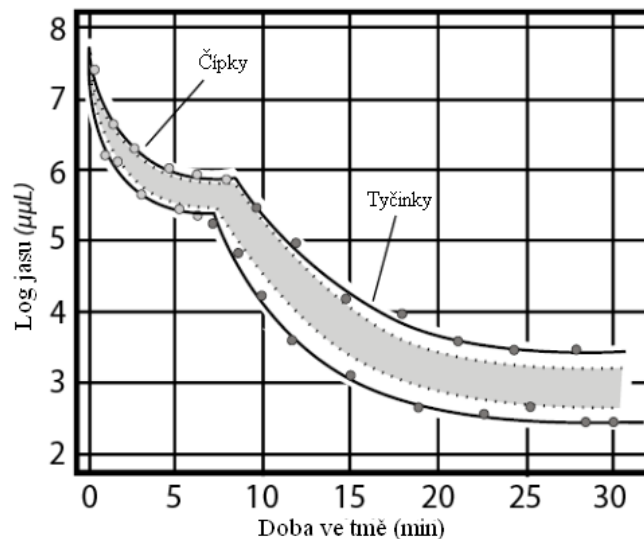
Zrakový systém je schopný vnímat jas v rozmezí  $10^{-6}$ ~ $10^6$  cd/m<sup>2</sup>. Fotopické vidění nastává při hodnotách jasu vyšších než  $\sim 3$  cd/m<sup>2</sup> a skotopické vidění při hodnotách jasu nižších než  $\sim 10^{-2}$  cd/m<sup>2</sup>, zatímco k mezopickému vidění dochází při hodnotě jasu  $10^{-2}$ ~ $3$  cd/m<sup>2</sup>. V daném okamžiku adaptace je oko schopné vnímat v rozsahu  $10^4$  cd/m<sup>2</sup>. Nejnižší hodnota jasu, kterou je oko schopno při dané adaptaci vnímat (přibližně 0,01-násobek adaptačního jasu), se nazývá prahový jas. Je-li jas pozorovaného objektu nižší než prahový, není objekt vidět. Překročí-li pozorovaný jas 100-násobek adaptačního jasu, dochází k oslnění (viz níže). Absolutní prahový jas popisuje nejnižší možnou hodnotu prahového jasu ( $\sim 10^6$  cd/m<sup>2</sup>). [4, 5]

Adaptační procesy, které probíhají u skotopického a fotopického vidění, se od sebe liší. Tyčinky mají schopnost při skotopickém vidění reagovat na jednotlivé fotony a zesílení v hlavní dráze tyčinek umožňuje, aby i takto malé vjemy vybudily nervovou aktivitu. Citlivost tyčinek klesá s adaptačním jasem. Čípky fungují při mezopickém vidění podobně jako tyčinky, protože reagují na malé množství fotonů. Při fotopickém vidění fungují pouze čípky, činnost tyčinek je utlumena. Fotopický systém se namísto vnímání jednotlivých fotonů snaží zaměřit na kontrasty v daném prostředí. Pokud jsou čípky dostatečně adaptovány na světlo, tak i při vyšších hodnotách jasu je zachována dostatečná kontrastní citlivost. [7]

### 4.1 Adaptace na tmu

Adaptace na tmu představuje pokles prahového jasu (tj. navýšení citlivosti) fotoreceptorů s časem, ke kterému dochází ve tmě (resp. při nízkých jasech). Časový

průběh adaptace na tmu závisí na předchozích adaptačních cyklech a intenzitě jasu, na kterou je oko zadaptováno (adaptační jas). Pokud je oko přizpůsobené na nízkou hodnotu jasu, pak je doba plné adaptace na tmu kratší. Adaptační křivku lze rozdělit na dvě oblasti – čípkovou a tyčinkovou. Prahový jas v prvních minutách prudce klesá a po 5–10 minutách dochází k ustálení křivky (rychlá adaptace). Křivka po několika minutách opět rychle klesá a k jejímu ustálení dochází přibližně po uplynutí 50 minut, kdy dosáhne absolutního prahového jasu (úplná adaptace). Prudké poklesy adaptační křivky značí nárůst citlivosti fotoreceptorů, nejdříve čípků a následně tyčinek. Pokud se na vidění podílejí čípky, je možné vnímat barevný podnět. Pokud se na vidění podílí pouze tyčinky, tak je podnět vnímán jen jako černobílý. Přibližně po 7 minutách adaptace nastává tzv. rod–cone break, tj. stav, kdy se tyčinky stávají citlivější než čípky. [4, 5, 7, 19]



Obr. 7: Křivka adaptace na tmu. (upraveno) [3]

Purkyňův jev popisuje pozvolný přechod z fotopického vidění na vidění skotopické při adaptaci na tmu. Za fotopických podmínek je oko nejcitlivější na vlnovou délku 555 nm. S poklesem jasu se snižuje citlivost oka na dlouhovlnné světlo, a naopak se zvyšuje pro kratší vlnové délky. Z tohoto důvodu klesá maximální citlivost oka z 555 nm na 500 nm. [4, 5]

Tvar adaptační křivky závisí na několika faktorech, např. na intenzitě předcházejícího osvětlení, velikosti stimulované oblasti sítnice nebo vlnové délce světla. Čím vyšší je hodnota adaptačního jasu při fotopickém vidění, tím delší se stává čípková část křivky a tím později dojde k přechodu na tyčinkovou křivku. Dosažení absolutního



prahového jasu je také oddáleno. Čím kratší je expozice oka světlem, tím rychlejší je pokles křivky. Pokud bylo oko vystaveno světlu pouze na extrémně krátkou dobu, pak adaptační křivka obsahuje pouze tyčinkovou část. Pokud světlo dopadá přímo do fovey, pak výsledná adaptační křivka obsahuje pouze fotopickou část. Při dopadu stimulu do periferní oblasti sítnice bude křivka obsahovat typický rod–cone break a dvě ramena křivky. Podobně to platí i při různé velikosti světelného paprsku. Pokud je prezentován malý světelný svazek, dochází k stimulaci fovey, a proto vzniká pouze fotopická křivka. Čím větší je velikost stimulu, tím více tyčinek bude při adaptaci stimulováno a tím větší bude citlivost oka na tmu. Při použití dlouhovlnného světelného stimulu, které tyčinky téměř nevnímají, se rod–cone break projeví později a méně zřetelněji. Naopak při kratších vlnových délkách, na které jsou tyčinky v porovnání s čípkami citlivější, bude rod–cone break nejvýraznější. [7, 19]

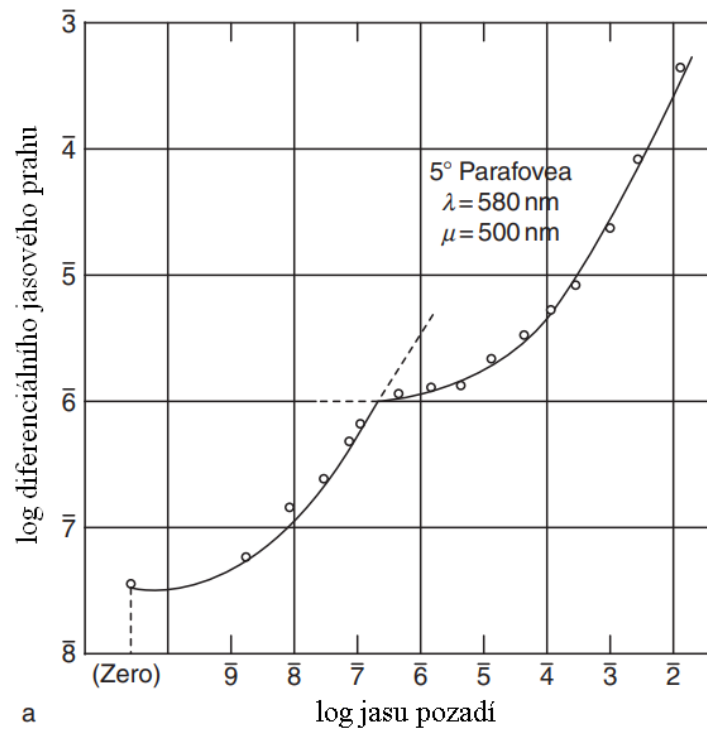
### **Funkce rodopsinu při adaptaci**

Hlavním adaptačním mechanismem oka na tmu je fotochemický děj, při kterém se zrakový pigment rodopsin působením světla rozkládá a syntetizuje vlivem tmy. Rodopsin neboli zrakový purpur se skládá z retinalu (zkratka pro aldehyd vitamínu A), který má schopnost absorbovat světlo, a z proteinu opsinu. V regenerované formě se retinal vyskytuje ve formě 11-cis a část jeho molekuly přesně zapadá do opsinové části molekuly. Absorpce světla rodopsinem má za následek dva jevy. Jedním z nich je proces izomerace, kdy se retinal mění z 11-cis formy na all-trans formu. V průběhu izomerace vnikají vlivem působení různých proteinů a enzymů různé přechodné formy retinalu (barthorodopsin, lumirodopsin, metarodopsin I, II, III). Druhým jevem je tzv. vybělení molekuly retinalu, které se projeví změnou barvy rodopsinu z fialové na žlutou a následně na bílou. Pouze vybělené molekuly jsou schopné reagovat na světlo. Po ukončení obou jevů se all-trans retinal odštěpí od opsinu a vstupuje do retinálního pigmentového epitelu. Rychlost rozpadu rodopsinu závisí na vlnové délce světla, kdy se rodopsin rozpadá nejpomaleji při působení červeného světla. [1, 3, 7, 20]

## **4.2 Adaptace na světlo**

V porovnání s adaptací na tmu se oko výrazně rychleji adaptuje na světlo, aby se dokázalo okamžitě zorientovat v prostoru. Adaptaci na světlo lze zkoumat pomocí diferenciálního jasového prahu ( $\Delta L$ ), který vyjadřuje právě rozlišitelný rozdíl jasů mezi stabilně osvětleným pozadím a testovacím podnětem. Jeho podíl s adaptačním jasem

v podstatě udává kontrastní práh. Adaptační křivka na světlo popisuje závislost diferenciálního jasového prahu na jasů pozadí. Křivka je rostoucí a lze na ní pozorovat dvě části – tyčinkovou, která dosahuje nižších hodnot, a na ni ostře navazující čípkovou, u které dosahuje diferenciální jasový práh vyšších hodnot. [5, 7, 19]



Obr. 8: Závislost diferenciálního jasového prahu ( $\Delta L_\lambda$ ) na jasů pozadí ( $L_\mu$ ). (upraveno) [7]

Obdobně jako u adaptace na tmů závisí tvar křivky na několika faktorech, např. na velikosti světelného stimulu, vlnové délce osvětlení pozadí i stimulu nebo místě dopadu stimulu na sítnici. Pokud je prezentován žlutý stimul na zeleném pozadí s excentricitou 5°, výsledná křivka bude složená z již zmíněných dvou ramen. Při určitých podmínkách se však projeví pouze jedno rameno, které popisuje funkci jen jednoho systému (např. tyčinek). Pro teoretické a popisné účely lze vytvořenou křivku funkce tyčinek rozdělit na čtyři oblasti. [7, 19]

## 5 OSLNĚNÍ

Oslnění je nepříznivý stav zraku, který narušuje zrakovou pohodu a zhoršuje vidění. K oslnění dochází tehdy, je-li celá sítnice nebo její větší část vystavena výrazně většímu jasů, než na který je adaptována. Nastává i při časovém střídání jasů o velmi rozdílných hodnotách. Zdroje oslnění mohou být přímé (např. slunce, žárovka) nebo nepřímé (např. odrazem primárních zdrojů od lesklých materiálů). Vlastnost primárních nebo sekundárních zdrojů světla způsobit osvětlení se nazývá oslnivost. [5, 17, 20]

Oslnění může mít nežádoucí dopady zejména při činnostech, při kterých se člověk spoléhá na získané zrakové informace. Jako příklad lze uvést řízení za nočních podmínek, kdy je pro řidiče zrak nesmírně důležitý pro vyhodnocení stavu vozovky včetně přítomnosti účastníků silničního provozu a okolních vlivů. V daném prostředí může být oslnění zapříčiněno světly protijedoucího vozidla nebo světelnými zdroji v okolí vozovky. Pro automobilové světlomety je tak velmi důležitý kompromis mezi poskytováním dostatečného světla pro viditelnost řidiče a potenciálními účinky oslnění, které pocítují protijedoucí řidiči. [21]

### 5.1 Klasifikace oslnění

Kritérií, podle kterých lze oslnění dělit, je několik. Podle příčiny vzniku lze oslnění dělit na absolutní, přechodové, kontrastem a závojevé. Absolutní oslnění nastává tehdy, jestliže se v zorném poli vyskytuje jas tak vysoký, že se na něj sítnice nedokáže adaptovat. Při fotopickém vidění je toto oslnění způsobeno jasnějším než  $\sim 10^6$  cd/m<sup>2</sup>, zatímco při skotopickém vidění stačí k oslnění již hodnota jasů  $\sim 10^3$  cd/m<sup>2</sup>. Přechodové oslnění vzniká při náhlé změně adaptačního jasů, na kterou zrakový systém nedokáže dostatečně rychle zareagovat. Nastává typicky při přechodu z tmavší místnosti do světlejší. Pokud bude relativní diferenciální jasový práh ( $\Delta L/L$ ) v poměru 10:1, dochází k narušení zrakové ostrosti. Při poměru 100:1 dochází k silnému oslnění. K oslnění kontrastem dochází tehdy, pokud se v zorném poli vyskytují plochy o výrazně odlišném jasů. Tento typ oslnění je zapříčiněn lokálním přesvětlením sítnice. Závojevé oslnění vzniká tehdy, jestliže je mezi pozorovatelem a pozorovaným objektem jasnější prostředí nebo předmět. Při adaptaci zraku pozorovatele na pozorovaný předmět dochází k jeho oslnění jasnějším prostředím. Mezi příčiny patří např. kouř, osvětlená záclona nebo mlha. [5, 22]

Oslnění kontrastem lze dále dělit podle síly působení na oslnění psychologické a fyziologické. Psychologické oslnění se subjektivně projeví pocitem zrakové nepohody, avšak nemá vliv na zrakové schopnosti. Oproti tomu oslnění fyziologické způsobí do určité míry pokles zrakových schopností, dokonce může v krajních případech zamezit vidění. Jako příklad psychologického oslnění lze uvést oslnění rušivé, zatímco oslnění omezující, oslepující a fotostres jsou typy fyziologického oslnění. [20, 22]

Rušivé oslnění (discomfort glare) je způsobeno přítomností vyššího jasu v zorném poli, který naruší zrakový komfort. Jedná se o přirozenou odezvu na abnormální osvětlení. Práh oslnění se individuálně liší. Zraková nepohoda se může projevit podrážděností, mrkáním, slzením, přivíráním očí nebo odvrácením pohledu od zdroje jasu. Rušivé oslnění závisí na adaptačním jasu jedince a na vlastnostech zdrojů světla. Čím větší je jas a prostorový úhel zdrojů světla, tím větší je vliv oslnění. Vliv oslnění se zvyšuje i při snižujícím se adaptačním jasu nebo excentricitě. Zrakový komfort závisí i na vlnové délce světla, přičemž lidské oko je nejcitlivější na vlnové délky mezi 510 až 550 nm při excentricitě 5°. Rušivé oslnění je ovlivněno binokulární sumací (tj. složením monokulárních signálů do jednoho binokulárního vjemu), a proto u oslněných osob s normálním binokulárním viděním dochází při zavření jednoho oka ke snížení vlivu oslnění. [20, 23]

Omezující oslnění (disability glare) je zapříčiněno nitroočním rozptylem světla (tzv. straylight), který snižuje zrakové funkce pacienta a vyvolává závojevý jas. Závojevý jas závisí na věku pacienta, pigmentaci oka, intenzitě osvětlení zdrojů, které způsobují oslnění, a úhlové vzdálenosti těchto zdrojů od zrakové osy. Světlo se v oku rozptyluje vlivem abnormalit v očních médiích, nebo v nitroočních čočkách. V závislosti na velikosti defektu lze rozlišit různé typy rozptylů (např. Rayleighův). [23]

Oslepující oslnění (dazzling/blinding glare), které odpovídá výše definovanému absolutnímu oslnění [24], je druh rušivého oslnění, jež omezuje zrakové funkce. Nastává tehdy, jestliže se vyskytne vysoký jas napříč celým zorným polem (např. zasněžená krajina, řízení směrem do západu slunce, světlomety). Zatímco typické omezující oslnění přitahuje pozornost pacienta k rozeznání zrakových informací, oslepující oslnění nutí člověka odvrátit pohled. [23]

Fotostres (tzv. photostress nebo skotomatické oslnění) nastává při nejvyšší hodnotě osvětlení, která může být sítnicí tolerována bez jejího tepelného nebo

fototoxického poškození. Nastává při úmyslném sledování nepříjemně jasného zdroje světla (např. tužková svítidla) nebo při střetu s intenzivním světelným zábleskem (např. kamera, laser). Skotomatické oslnění narušuje zrakovou pohodu a dočasně zamezuje vidění. Fotostres nastává v tyčinkách a čípcích po rozpadu fotopigmentů, kdy snižuje citlivost sítnice a vytvářejí se následné obrazy v doplňkových barvách. [23]

## 5.2 Redukce vlivu oslnění u řidičů

Jak již bylo zmíněno, oslnění má v dopravě velký význam a může mít až fatální následky. Vliv oslnění je mnohem větší v noci než ve dne, protože za nočních podmínek je zrakový systém řidičů zadaptován na nižší hodnoty jasu, a proto je zapotřebí vyššího tonálního kontrastu k rozlišení objektů na silnici. Tonální kontrast je redukován působením rozptýleného světla přímo od zdroje oslnění, nebo nepřímo z odrazu světlometů od mokré vozovky, zrcátek automobilu aj. Z tohoto důvodu vznikla snaha najít možná protiopatření, která by mohla pomoci zmírnit vliv oslnění na vidění a nepohodlí řidičů při řízení v noci. Protiopatření lze rozdělit podle principu snížení vlivu oslnění do čtyř skupin. Některá protiopatření redukují vliv oslnění snížením jasu zdroje oslnění nebo intenzity světla mířeného ve směru řidiče. Jako příklad lze uvést adaptivní světlometry nebo správné seřízení světlometů. Další skupina protiopatření je zaměřena na zamezení či filtraci světla, čímž snižují množství jasu dopadajícího do očí řidiče. Významnými příklady jsou brýle pro noční řízení nebo vhodná úprava zpětných zrcátek. Do třetí skupiny lze zařadit opatření, která fungují na principu navýšení úhlu mezi zdrojem oslnění a vozovkou. Typickým příkladem je rozšíření středního dělicího pásu vozovky. Poslední skupina protiopatření přímo nesnižuje oslnění, ale má potenciál nepřímým způsobem ovlivnit oslnění. Jako příklad daných protiopatření lze uvést pevně stanovené osvětlení vozovky veřejným osvětlením. [21]

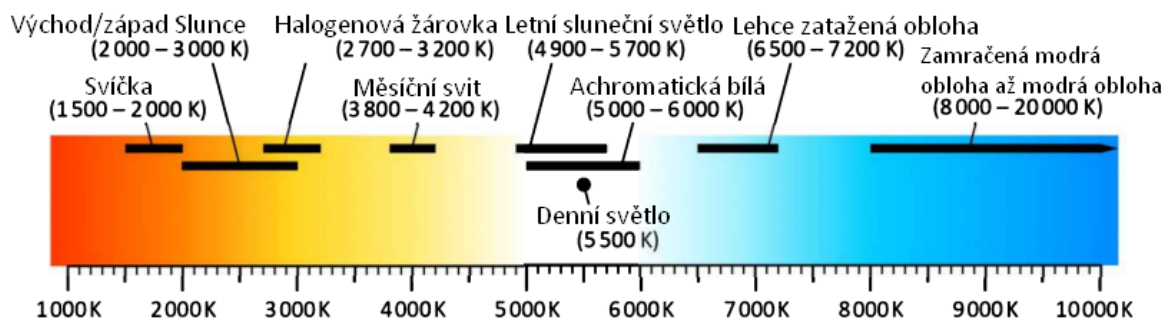
Jednou z možností, jak redukovat oslnění, jsou vhodné brýle, resp. vhodné brýlové čočky. Brýle pro noční řízení jsou komerčně dostupné již několik let a o jejich efektivitě se diskutovalo již od počátku 50. let 20. století. Tento typ brýlí využívá žlutě zbarvených brýlových čoček k filtraci světla o kratších vlnových délkách (modré barvy). Hlavní myšlenka pro vznik a princip fungování těchto brýlí je taková, že snížení množství dopadajícího světla do oka sníží negativní vliv oslnění. Bylo zjištěno, že rušivé oslnění je závislé na vlnové délce světla, kdy světlo o krátkých (480 nm) a dlouhých (650 nm) vlnových délkách je považováno za nejvíce nepříjemné, zatímco

střední vlnové délky (577 nm) byly vnímány jako nejméně nepříjemné. Z hlediska barev je nejpříjemněji vnímaná barva žlutá a nejméně příjemnými barvami jsou červená a modrá, kdy modrá je vnímána nejhůře. Možnou nevýhodou brýlí pro noční řízení je snížená viditelnost překážek na vozovce z důvodu filtrace světla. Brýle snižují vnímaný jas vozovky a tím snižují viditelnost. Na oslnění mohou mít vliv také různé typy vrstev, které na povrchu čočky snižují nežádoucí odrazy od různých světelných zdrojů. Z vlivu na oslnění však není problematika brýlových čoček a jejich vrstev dostatečně prostudována. Proto je toto téma zahrnuto do experimentální části práce. [21, 25]

## 6 AUTOMOBILOVÉ ZDROJE SVĚTLA

V dnešní době se na silnicích můžeme nejčastěji setkat se třemi typy světlometů – halogenovými, xenonovými nebo LED. Tyto světlometry se mezi sebou neliší pouze ve své konstrukci, ale i svými vlastnostmi např. v teplotě barvy, indexu podání barev a v ostrosti rozhraní mezi světlem a stínem. Tyto parametry mohou mít vliv na zrakovou pohodu řidiče, jeho soustředěnost, schopnost rozlišit barvy v osvětlené oblasti, dokonce mohou zapříčinit rušivé oslnění. [26]

Teplota chromatičnosti daného zdroje popisuje teplotu černého zářiče, jehož záření má stejný barevný odstín jako světlo zdroje. Světlo vyzářené zdrojem je vnímáno jako teplé, pokud se jeho vlnová délka blíží červené oblasti světla. Naopak světlo zdroje je vnímáno jako studené právě tehdy, je-li jeho vlnová délka blíže modré oblasti světla. S rostoucí teplotou chromatičnosti světelného zdroje roste přítomnost modré oblasti barevného spektra, a naopak klesá oblast červená. Teplé světlo má teplotu chromatičnosti okolo 2 500–3 500 K, zatímco studené světlo má teplotu vyšší než 5 000 K. U teploty chromatičnosti byl prokázán vliv na oslnění, kdy zvýšení teploty chromatičnosti (a tedy posun do modré oblasti spektra) má za následek zhoršení rušivého oslnění vyvolaného danými světelnými zdroji. [22, 27, 28, 29, 30]



Obr. 9: Teplota chromatičnosti různých světelných zdrojů. (upraveno) [30]

Index podání barev ( $R_a$ ) je důležitý aspekt světelného zdroje, který popisuje vnímání barev pozorovaného objektu při osvětlení daným zdrojem v porovnání s barvami vnímanými při osvětlení denním světlem. Index podání barev nabývá hodnot od 0 po 100, kdy čím vyšší je hodnota indexu podání barev, tím více je světlo zdroje podobá dennímu světlu. [28]



Obr. 10: Variance barevného vjemu osvětleného zdroji s různými indexy podání barev. [28]

Potkávácí světlomety používané v Evropě a v USA se od sebe liší ostrostití horizontálního rozhraní mezi světem a stínem. Evropské světlomety mají ostrou hranici rozhraní, která je zapříčiněna prudkým poklesem intenzity světla nad úrovní světlometů. Pro americké světlomety je naopak typická rozmazaná hranice rozhraní vlivem pomalého poklesu intenzity. Evropské světlomety poskytují více světla v okolí řidiče, ale s rostoucí vzdáleností klesá množství světla. Ostrá hranice rozhraní chrání protijedoucí řidiče před oslněním, avšak omezuje viditelnost v dálce. Problém nastává při jízdě po nerovné vozovce, která vede k „poskakování“ hranice rozhraní v zorném poli protijedoucího řidiče. Americké světlomety více oslňují protijedoucí řidiče, ale zato poskytují lepší viditelnost dopravních značek a více osvětlení do dálky. [21, 31]

## 6.1 Halogenové světlomety

Halogenové světlomety dnes ve své konstrukci nejčastěji využívají wolframové halogenové žárovky, které dokážou vyprodukovat okolo 24 lm/W (světelná účinnost). Baňka je vyrobená z křemíku nebo křemenného skla, které je odolné vůči vysokým teplotám a které obklopuje wolframové vlákno. Žárovky jsou plněné halogeny, prvky VII.A skupiny periodické tabulky, nejčastěji pak jodovými výpari. Z tohoto důvodu je wolframové vlákno schopné odolat vysokým teplotám a je chráněno před oxidací. Čím vyšší je teplota vlákna, tím jasněji žárovka svítí. [32, 33]

Dodaná elektrická energie rozžhává wolframové vlákno (přibližně na 3 400 °C), a tím dochází k vypařování povrchu vlákna a uvolňování atomů wolframu. Atomy halogenů reagují v blízkosti horké stěny baňky s atomy wolframu a vytváří halogenid wolframu. Vzniklá sloučenina se postupně vrací zpět k vláknu, kde dochází k jejímu rozpadu a návratu wolframu do vlákna. Z tohoto důvodu žárovka nikdy nezčerná a její výkon zůstane konstantní po celou dobu její životnosti. Halogenový cyklus probíhá



tehdy, je-li vnější teplota baňky vyšší než 250 °C. Z tohoto důvodu mají halogenové žárovky relativně malou baňku. [27, 32, 33, 34]

Napájecí napětí do určité míry ovlivňuje množství světelné energie (světelného toku) vyzárené z vlákna žárovky. Pokud se sníží množství napětí, sníží se teplota vlákna a tím i světelný tok. Zároveň se barva záření posune k červenému spektru. Nárůst napájecího napětí způsobí nárůst světelného toku a drastické snížení životnosti žárovky. Světelný výkon žárovky a její životnost nejvíce závisí na napětí procházející vláknem. Pokud se množství procházejícího napětí zvýší o 5 %, světelný tok se navýší o 20 % a spotřeba energie o 8 %, zatímco životnost klesne o polovinu. [27, 34]

Halogenové žárovky mají několik výhod, například vyzařují spojité spektrum nebo mají vysoký index podání barev ( $R_a = 100$ ). Další výhodou je vyšší teplota chromatičnosti v rozsahu 2 900 až 3 100 K, kdy se jeví jako příjemné bílé světlo. Halogenové žárovky dosahují hodnoty jasu  $\sim 1\,450\text{ cd/m}^2$  a jejich životnost je přibližně 500 hodin. Jejich světelný tok dosahuje hodnot 1 000 až 1 900 lm. Mezi nevýhody daných žárovek lze zařadit závislost jejich parametrů na napájecím napětí nebo náročnější technologii výroby. [27, 35]

## 6.2 Xenonové světlomety

Xenonové světlomety (v angličtině high-intensity discharge, HID) využívají inertní plyny k zesílení světla generovaného při elektrických výbojích mezi dvěma elektrodami. V porovnání s halogenovými světlomety vyzařují třikrát více světla, jejich spotřeba je o dvě třetiny nižší a jejich životnost je dvojnásobná. Xenonové světlomety produkují kromě viditelného světla i ultrafialové záření, které umožní silničním značkám a jiným reflexním materiálům zářit. [32]

Xenonová výbojka se skládá z vnější baňky tvořené křemenným sklem, ve které je umístěna vnitřní baňka ve tvaru obloukové trubice. Vnitřní baňka je vyrobená opět z křemenného skla a obsahuje dvě wolframové elektrody. Zároveň je vyplněná směsí xenonu, rtuti a halogenidů kovů. Světlo vzniká při elektrickém výboji ve formě elektrického oblouku mezi elektrodami. Funkcí xenonu je zesilovat intenzitu světla, která je generována obloukem. K zajištění elektrické energie je zapotřebí použití startéru a předřadníku. [32, 33]



Obr. 11: Xenonová výbojka (vlevo) a halogenová žárovka (vpravo). [34]

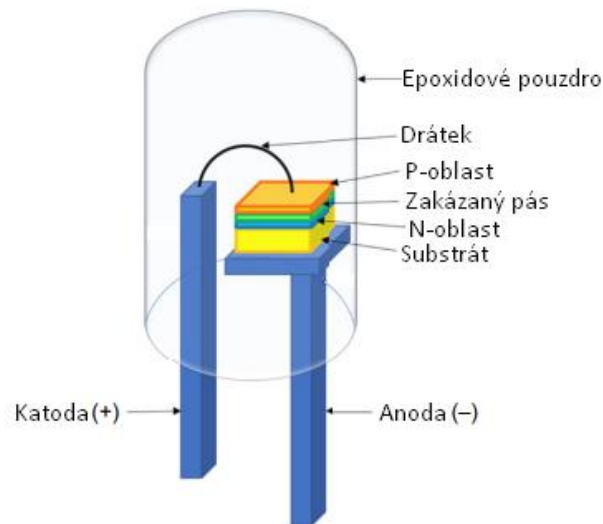
Startér generuje zapalovací napětí (v pulzech) v rozmezí 10 kV až 25 kV, aby mohla přeskočit jiskra mezi elektrodami. Plyn se vlivem vysokého napětí ionizuje a stává se vodivým. Proud začne protékat mezi elektrodami a vybudí xenon, který začne vyzařovat světlo. Dochází ke zvýšení výkonu výbojky a její teploty, která způsobí odpařování kapalných a pevných látek. Se zvyšujícím se světelným tokem se tlak v žárovce zvyšuje a barva světla se posouvá z modré oblasti k bílé. Úkolem předřadníku je snižovat množství proudu, aby bylo zamezeno zničení výbojky, a navyšovat napětí. Po určité době dosahuje výbojka ustáleného stavu. Tím je zajištěno, že vytvořené světlo nebude blikat a obloukový výboj zůstane stabilní. [27, 32, 33, 34]

V porovnání s halogenovými světlomety mají xenonové světlomety vyšší světelný tok (až 3 200 lm), světelnou účinnost ( $\sim 90$  lm/W) i jas ( $\sim 3000$  cd/m<sup>2</sup>). Dále se vyznačují výrazně delší životností a to přibližně 2 500 hodin. Xenonové světlomety mají teplotu chromatičnosti přibližně 4 100° K, jejich index podání barev dosahuje hodnot 70–95 a v porovnání s halogenovými světlomety mohou jevit namodralé. Výbojky vyzařují i ultrafialové záření, které může poškodit plastový kryt světlometů. Proto se vnější baňky plní vhodnými barvivy, které filtrují nežádoucí ultrafialovou oblast vyzařujícího světla. [27, 34, 36]

### 6.3 LED světlomety

LED (light emitting diodes) světlomety si v automobilovém průmyslu získaly oblibu díky svým mnoha výhodám, z nichž nejvýznamnější je dlouhá životnost. Dříve byly LED diody montovány výhradně do automobilů vyšší třídy, avšak v dnešní době jsou montovány do vozů střední a nižší třídy. [28, 33]

V porovnání s normální diodou je konstrukce LED světla odlišná. LED je polovodičová dioda s PN přechodem, která má schopnost přeměnit procházející elektrickou energii na optické záření. Tento princip se nazývá elektroluminiscence. Polovodičový čip se skládá ze tří vrstev, které jsou uloženy na substrátu. Horní vrstva odpovídá P oblasti (obsahuje tzv. díry, reprezentující kladné náboje), prostřední vrstva tzv. zakázanému pásu (viz níže) a spodní N oblasti (obsahující záporné elektrony). Anoda je připojená ke spodní části substrátu, zatímco katoda je připojená zlatým drátkem ke svrchní P vrstvě (tzv. bondování). Celá konstrukce je obklopena průhledným pouzdem ve tvaru polokoule, vyrobeným z tvrdé epoxidové pryskyřice. Díky tomu je LED světlo chráněno před okolními vlivy. [27, 28]



Obr. 12: Schéma konstrukce LED diody. (upraveno) [28]

Aby mohl proud procházet LED diodou, musí být zapojena v propustném směru, tj. pozitivní pól zdroje je zapojený k P oblasti a negativní pól k N oblasti. Při opačném zapojení (tzv. v závěrném směru) nebude diodou procházet proud a nebude fungovat. Volné díry se v propustném směru přesouvají z P oblasti k PN přechodu, zatímco volné elektrony se k přechodu přesouvají z N oblasti. Zakázaný pás je nevodivá zóna mezi N oblastí a P oblastí, kde se pozitivně nabitě díry a záporně nabitě elektrony přitahují a dochází k rekombinaci. Při rekombinaci se uvolní energie včetně energie ve formě fotonů. Oproti klasické diodě, kdy se snažíme v propustném směru rekombinaci omezit, u LED diody se snažíme rekombinaci naopak posílit. [28]

LED diody obecně vyzařují monochromatické světlo, tedy záření o specifické vlnové délce. Avšak u LED světlometů je potřeba bílého světla, tedy záření polychromatického charakteru. Způsobů, jakými je možné realizovat bílé LED světlo, je několik. Prvním z nich je použití tří LED čipů, z nichž každý produkuje záření základní barvy (červená, modrá a zelená). Záření se aditivně míchají a vytváří se finální bílé světlo. Druhý způsob využívá ultrafialový nebo fialový LED čip a luminofor, který absorbuje fialové záření a mění ho na širokospektrální bílé světlo. Třetí a nejvýznamnější metodou je použití modrého LED čipu a luminoforu, který vyzařuje zelené a červené záření. LED čip vyzařuje modré záření, kdy část je absorbována luminoforem a část prochází skrz luminofor. Výsledné bílé světlo vzniká kombinací modrého záření vyzářeného z LED čipu a zeleného a červeného záření vyzářeného luminoforem. [30]

V porovnání s předchozími světelnými zdroji mají LED světlometry řadu výhod. Standardní LED diody mají životnost 100 tisíc hodin, zatímco vysoce výkonné LED diody vydrží nanejvýš polovinu této doby (25–50 tisíc hodin). Životnost však silně závisí na přiváděném proudu; s rostoucím průtokem proudu roste teplota LED diody, a tím dochází ke zkrácení životnosti. Proto jsou LED diody navrženy k práci při nízkých teplotách okolo 150°C. Kromě zmíněné životnosti mají LED světlometry také menší spotřebu energie. Jejich index podání světla dosahuje hodnoty alespoň 80. Teplota chromatičnosti vyzářeného světla je ~6 500 K. LED světla jsou oproti halogenovým světlometům dražší. [27, 28, 33]

# 7 PRAKTICKÁ ČÁST

Oslnění může významně ovlivnit bezpečnost silničního provozu zejména při jízdě za šera a v noci. Praxe naznačuje, že různé druhy světelných zdrojů, případně jejich kombinace mohou u řidiče vytvářet různě příjemný či nepříjemný zrakový vjem. Bylo prokázáno, že čím vyšší je teplota chromatičnosti daného světelného zdroje, tím nepříjemnější je rušivé oslnění vyvolané daným zdrojem [29]. Proto jsou LED světlomety hůře tolerovány a vnímány jako oslnivé. Také se ukázalo, že řidiči, kteří preferují světlomety o vyšší teplotě chromatičnosti, byli otevřenější k výběru protijedoucího zdroje s vyšší teplotou chromatičnosti [26]. Řidiči, kteří preferovali LED světlomety jako vlastní zdroj osvětlení, preferovali tyto světlomety i jako zdroj protijedoucího vozidla. Avšak řidiči, kteří preferovali halogenové světlomety jako zdroj světla, preferovali pouze tyto světlomety jako zdroj protijedoucího vozidla. Cílem našeho experimentu bylo vyhodnotit, jaké změny ve zrakové ostrosti a v kontrastní citlivosti vyvolává kombinace halogenových a LED světlometů při oslnění. Dalším cílem bylo zjistit, zda je možné volbou vhodné brýlové čočky (s vhodnými vrstvami) případný nežádoucí efekt oslnění potlačit. Konkrétně byly sledovány brýlové čočky s povrchovou úpravou HardCoat a ProfiActiv, dále souhrnně označované jako testové čočky.

## 7.1 Metodika

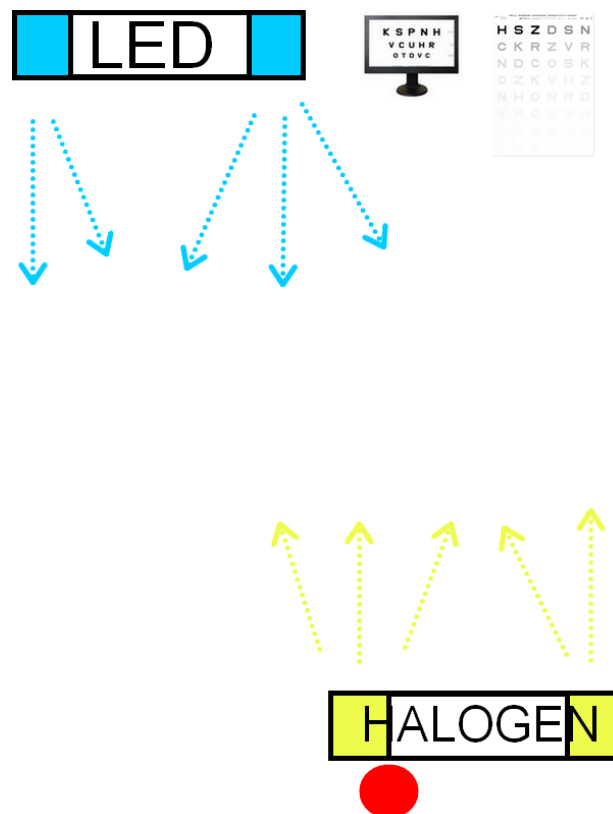
### 7.1.1 Probandi

Výzkumné části práce se zúčastnilo celkem 30 probandů, z toho 9 mužů a 21 žen ve věku 19–40 let. Průměrný věk participantů byl 22,8 let se směrodatnou odchylkou 4,1 let. Výzkumu se mohly zúčastnit osoby ve věku 18–40 let, bez vážných zdravotních problémů (epilepsie) a s binokulární zrakovou ostrostití alespoň 1,0 bez korekce nebo s korekcí. Doba trvání měření byla přibližně 60 minut. Před samotným měřením byl každý proband seznámen s průběhem měření a s potenciálními riziky. Všichni probandi se zúčastnili výzkumu dobrovolně a svou účast potvrdili podepsáním informovaného souhlasu.

### 7.1.2 Postup měření

Měření probíhalo v laboratoři katedry psychologie Filozofické fakulty Univerzity Palackého v Olomouci. Prostory laboratoře byly upraveny tak, aby bylo

zamezeno vstupu slunečních paprsků do místnosti. Schéma laboratoře je zobrazeno na obr. 13. K realizaci měření byly použity dva speciálně navržené hliníkové stojany, ve kterých byly umístěny automobilové světlomety, dále opěrka brady a čela, LCD monitor připojený na počítač s programem pro projekci optotypů a Pelli-Robsonova tabule. Hliníkové stojany sloužily k simulaci noční dopravy pro dva směry provozu. První stojan byl umístěn mezi probandem a LCD monitorem a Pelli-Robsonovou tabulí. V konstrukci byly umístěny halogenové světlomety, které svítily ve směru pohledu probanda a osvětlovaly zmíněné vyšetřovací testy. Druhý stojan byl umístěn naproti probandovi a posunutý k levé straně probanda. Použité LED světlomety zářily proti směru pohledu probanda. Obě konstrukce s umístěnými světlometry bylo možné naklonit, a tím měnit úhel osvětlení. V případě světlometů umístěných naproti probandovi bylo možné dosáhnout jejich nakloněním situace, kdy osvětlovaly pouze podlahu a dolní polovinu těla probanda (pozice 1), situace, kdy přímo oslňovaly probanda (pozice 2) a situace, kdy svítily nad probanda (pozice 3). Vyšetřovací vzdálenost byla 9,6 m.



Obr. 13: Schématické zobrazení laboratoře, červené kolečko symbolizuje probanda.

Před měřením byla každému probandovi nasazena zkušební obruba. V případě potřeby dioptrické korekce byla tato korekce vložena do obruby ve formě čířích

zkušebních čoček bez jakékoli povrchové úpravy. Nejprve proběhla základní (baseline) série čtyř testů, při které byla pozorovaná scéna (optotypové testy) osvětlena pouze halogenovými světly simulujícími vlastní vozidlo. Při každém dílčím testu byl určen vízus a kontrastní citlivost (hodnoty *baseline*). První test proběhl bez předřazených testových čoček (případně pouze s výše uvedenou korekcí dioptrické vady zkušebními čočkami, ozn. jako *naturální* test), další testy proběhly s předřazenými testovými čočkami (ozn. *Hard* a *Profi* dle typu čočky) nebo s předřazeným placebem (ozn. *placebo*; dvojice čirých čoček bez povrchových úprav o hodnotách + a – 0,125 D). Pořadí testových čoček a placebo použitých v jednotlivých testech bylo voleno pseudonáhodně tak, aby se všechny kombinace jejich pořadí vyskytovaly v celém vzorku probandů přibližně stejně často.

Poté následovala série čtyř testů s oslněním protijedoucím vozidlem. Mezi jednotlivými sériemi byla prodleva 4 minuty. První dílčí test opět proběhl bez testových čoček či placebo, další testy zahrnovaly použití těchto čoček, a to ve stejném pořadí jako při základním měření u daného probanda. Během každého testu byly ponechány rozsvíceny halogenové světly simulující vlastní vozidlo a byly rozsvíceny LED světly simulující protijedoucí vozidlo při náklonu do pozice 1. V tomto okamžiku byl změřen vízus a kontrastní citlivost (hodnoty *před oslněním*). Následně byly LED světly nakloněny z pozice 1 přes pozici 2 do pozice 3 a po pauze 30 s opět do pozice 1. Tento cyklus se opakoval v každém testu dvakrát, vždy s prodlevou 30 s. Po 30 s od ukončení posledního cyklu následovalo přeměření vízu a kontrastní citlivosti (hodnoty *po oslnění*). Mimo vlastní měření sledoval proband jeden optotypový znak odpovídající vízu o řádek horšímu, než byl vízus před oslněním.

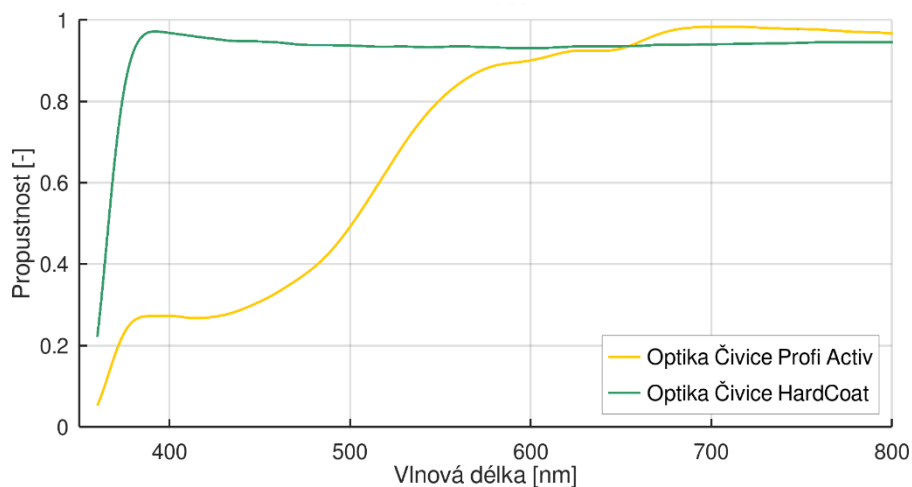
### **Použité testové čočky**

Pro účely experimentu byly vybrány dva typy testových čoček – jednalo se o standartní plastové brýlové čočky o indexu lomu 1,5 od firmy Optika Čivice, jedna s povrchovou úpravou HardCoat, druhá s úpravou ProfiActiv. Vlastnosti brýlových čoček jsou uvedeny v tab. 1. Spektrální propustnost obou typů čoček je uvedena na obr. 14. Výrobce čoček popisuje čočky s úpravou HardCoat jako odolnější proti oděru a poškrábání, avšak tato povrchová úprava nezlepšuje zrakové vlastnosti. Úprava ProfiActiv je výrobcem popsána jako žlutooranžový filtr o intenzitě zabarvení 50 %, který je vhodný pro řidiče a sport. Tyto čočky mají mimo barevnou úpravu také úpravu

MAR Green, ve které je kromě HardCoat a hydrofobní úpravy zahrnuta i zelená antireflexní vrstva. [37]

Tab. 1: Vlastnosti testových čoček HardCoat a ProfiActiv. [37]

	HardCoat	ProfiActiv
<b>Materiál</b>	CR 39	CR 39
<b>Index lomu</b>	1,5	1,5
<b>Abbeovo číslo</b>	58	58
<b>Hustota</b>	1,32	1,32
<b>Antireflexní úpravy</b>	-	MAR Green
<b>Barevné úpravy</b>	-	ProfiActiv



Obr. 14: Graf spektrální propustnosti pro brýlové čočky HardCoat a ProfiActiv.

### Vyšetření zrakové ostrosti

Zraková ostrost probanda byla vyšetřována pomocí optotypu prezentovaného na LCD monitoru přes počítač s příslušným programem. Tento monitor byl umístěn před probandem ve vzdálenosti 9,6 m ve výši jeho očí a byl osvětlený halogenovými světly. Probandovi byly při vyšetření prezentovány znaky podle Sloanové, které byly uspořádány do tří řádků po pěti písmenech. Pro hodnocení vízu probanda byla využita metoda celořádkového vízu, kdy řádek je považován za přečtený, jestliže



proband správně rozliší alespoň 60 % znaků na řádku (v tomto případě alespoň 3 znaky). Před začátkem experimentální části byl zhodnocen vÍzus probanda k ověření, zda je jeho binokulární zraková ostrost alespoň 1,0. Pokud byla hodnota vÍzu horší, byla provedena dokorekce refrakce za daných světelných podmÍnek. Pokud nedošlo ke zlepšení vÍzu, proband byl vyřazen z experimentu.

### **Vyšetřování kontrastní citlivosti**

Pro vyšetřování kontrastní citlivosti byla použita Pelli-Robsonova tabule, která byla umístěna naproti probandovi po jeho pravé straně ve vzdálenosti 10 m a osvětlena halogenovými světly. Tabule obsahuje sedm řádků, kdy na každém řádku leží tři trojice znaků. Každá trojice znaků se od následující liší o hodnotu 0,1 log. Rozsah testu je v hodnotách od 0 log po 2 log. Výsledná hodnota binokulární kontrastní citlivosti probanda byla určena podle poslední správně rozlišené trojice znaků, kdy proband musel správně rozlišit alespoň dva znaky z trojice.

#### **7.1.3 Analýza dat**

Naměřené hodnoty vÍzu a kontrastní citlivosti včetně pořadí použití daných brýlových filtrů byly zaznamenány do vyšetřovacího protokolu. Normalita dat byla testována pomocí Shapiro-Wilkova testu. Jelikož většina dat neměla normální rozdělení, byl pro srovnání hodnot vÍzu i kontrastní citlivosti za jednotlivých světelných podmÍnek použit Friedmanův neparametrický test na hladině významnosti  $p = 0,05$ . Statistické testy byly provedeny programem STATISTICA 13, zatímco pro úvodní zpracování a přípravu dat byl využit program MS Excel.

## **7.2 Výsledky měření**

Průměrné hodnoty vÍzu včetně jejich směrodatných odchylek a mediánů jsou prezentovány v tab. 2 a 3. Statistická analýza pomocí Friedmanova neparametrického testu prokázala, že hodnoty vÍzu získané za různých podmÍnek a pohledem přes různé testové čočky, resp. placebo či v naturálním stavu, se mezi sebou statisticky významně liší ( $p = 0,0014$ ). Dále byly doplňujícím Friedmanovým testem vzájemně porovnávány hodnoty vÍzu samostatně pro každou z uvedených situací (s testovou čočkou, placebem, naturálně) za různých pozorovacích podmÍnek (baseline, před oslněním, po oslněním). VÍzus se mezi jednotlivými podmínkami významně liší pouze při pohledu bez čočky ( $p = 0,0065$ ), kdy nejlepších hodnot dosahuje za podmínky před oslněním. Nalezený

signifikantní rozdíl je (v mediánech i v průměru) na hranici klinické významnosti. V ostatních případech nebyla nalezena významná změna ( $p = 0,14$  pro *placebo*,  $p = 0,087$  pro *Hard* a  $p = 0,31$  pro *Profi*). Individuální rozdíly až na jeden případ odpovídaly maximálně změně o jeden řádek, tj. opět na hranici klinické významnosti.

Tab. 2: Průměrné hodnoty vízu při baseline měření, jejich směrodatné odchylky a mediány.

Baseline měření				
	Natural	Placebo	Hard	Profi
Průměr	1,39	1,41	1,4	1,44
Směrodatná odchylka	0,31	0,28	0,29	0,3
Medián	1,25	1,25	1,25	1,25

Tab. 3: Průměrné hodnoty vízu při měření před a po oslnění, jejich směrodatné odchylky a mediány.

Měření s oslněním								
	Před oslněním				Po oslnění			
	Natural	Placebo	Hard	Profi	Natural	Placebo	Hard	Profi
Průměr	1,46	1,47	1,47	1,47	1,34	1,43	1,4	1,43
Směr. odchylka	0,26	0,25	0,28	0,28	0,31	0,28	0,3	0,28
Medián	1,43	1,43	1,60	1,43	1,25	1,25	1,43	1,25

Dále byly hodnoceny rozdíly mezi jednotlivými čočkami za dané pozorovací podmínky. Zde bylo Friedmanovým testem zjištěno, že při měření baseline a před oslněním se vízus mezi různými testovými čočkami, naturálním stavem a placebem významně neliší ( $p = 0,37$  a  $p = 0,97$ ), při měření po oslnění byl zjištěn nejnižší vízus při pohledu naturálním ( $p = 0,036$ ). Změna větší než jeden řádek byla zjištěna pouze ve třech jednotlivých srovnáních.

Průměrné hodnoty kontrastní citlivosti včetně jejich směrodatných odchylek a mediánů jsou prezentovány v tab. 4 a 5. Statistická analýza pomocí Friedmanova neparametrického testu prokázala, že hodnoty kontrastní citlivosti se za různých podmínek a použití různých testových čoček, placebo či v naturálním stavu významně liší ( $p < 0,0001$ ). Dodatečnou analýzou bylo zjištěno, že kontrastní citlivost se u každé pozorovací podmínky a pro každou z použitých testových čoček, placebo nebo v naturálním stavu signifikantně liší mezi hodnotami baseline, před a po oslnění ( $p < 0,0001$  pro naturální stav, *placebo* a *Profi*,  $p = 0,001$  pro *Hard*). Za dané podmínky se hodnoty kontrastní citlivosti při použití různých testových čoček, placebo nebo

v naturálním stavu významně neliší, kdy nejnižší hodnoty byly zjištěny vždy po oslnění, konkrétně při pohledu naturálním ( $p = 0,063$  pro baseline,  $p = 0,525$  před oslněním a  $p = 0,447$  po oslnění).

Tab. 4: Průměrné hodnoty kontrastní citlivosti při baseline měření, jejich směrodatné odchylky a mediány.

Baseline měření				
	Natural	Placebo	Hard	Profi
Průměr	1,83	1,81	1,8	1,84
Směrodatná odchylka	0,16	0,16	0,15	0,13
Medián	1,9	1,9	1,8	1,9

Tab. 5: Průměrné hodnoty kontrastní citlivosti měření před a po oslnění, jejich směrodatné odchylky a mediány.

Měření s oslněním								
	Před oslněním				Po oslnění			
	Natural	Placebo	Hard	Profi	Natural	Placebo	Hard	Profi
Průměr	1,84	1,81	1,82	1,83	1,67	1,71	1,71	1,71
Směr. odchylka	0,12	0,15	0,14	0,12	0,23	0,2	0,2	0,21
Medián	1,9	1,9	1,85	1,9	1,7	1,7	1,7	1,8

### 7.3 Diskuze

Cílem experimentální části práce bylo určit vliv oslnění zapříčiněného LED světloem na zrakovou ostrost a kontrastní citlivost při simulaci podmínek silničního provozu, a také zjistit dopad použitých brýlových čoček na vliv oslnění. V případě vízu výsledky prokázaly statisticky významně nižší hodnoty při naturálním pohledu oproti testovým čočkám a placebo při měření po oslnění. Dále jsme zjistili, že v průběhu experimentu vízus klesl po oslnění pouze u naturálního stavu, zatímco při použití testových čoček či placebo se neměnil. Žádná z uvedených změn však nebyla klinicky významná. Oproti tomu se kontrastní citlivost mezi jednotlivými testovými čočkami, naturálním stavem a placebem neměnila za žádné z pozorovacích podmínek (baseline, před a po oslnění). Avšak u každé z testových čoček, u placebo i v naturálním stavu byl zaznamenán významný pokles po oslnění. Lze tedy shrnout, že oslnění má významný vliv především na kontrastní citlivost, která krátce po oslnění klesne, a to bez ohledu na použití testových čoček. U zrakové ostrosti výsledky ukazují, že použití testových

čoček, ale i placebo zřejmě má oproti naturálnímu stavu vliv, nicméně klinicky nevýznamný.

Ve studii [38] byl obdobně prokázán významný pokles kontrastní citlivosti při naturálním stavu, způsobený vlivem oslnění. Tato studie se dále zaměřila na vliv antireflexních vrstev a (navíc oproti naší studii) také na vliv barevných filtrů – žlutého a růžového. Mezi uvedenými typy úprav nebyl zaznamenán významný vliv na hodnoty kontrastní citlivosti s ohledem na oslnění podobně jako v naší studii. Významný pokles kontrastní citlivosti po oslnění byl pozorován i v další studii [39], a to zejména u probandů vyššího věku (41 let a více). Tato studie navíc prokázala, že přítomnost žluté brýlové čočky měla vliv na dopad oslnění, avšak pouze u skupiny probandů ve věku 51–60 let došlo při použití této čočky k významnému zlepšení. Nicméně nebyl prokázán signifikantní vliv žlutých brýlových čoček na zrakovou ostrost, který nebyl zaznamenán ani u námi sledovaných čoček. V porovnání s výsledky našeho měření však ve studii nebyl pozorován statisticky významný vliv oslnění na naturální hodnoty zrakové ostrosti. Další studie [25] srovnávala vliv oslnění na binokulární hodnoty zrakové ostrosti a kontrastní citlivosti při použití tří brýlových čoček, které měly žlutou barevnou úpravu. Nebyl prokázán vliv těchto čoček ani na zrakovou ostrost, ani na kontrastní citlivost, a to bez ohledu na věk. Massof [40], který se zabýval důvodem neefektivity žlutých brýlových čoček, došel k závěru, že použité žluté čočky nedostatečně filtrují dopadající světlo, a proto nemají významný vliv na zrakové schopnosti. Proto je pro prokázání souvislosti mezi zrakovými schopnostmi a žlutými čočkami potřeba dostatečné zabarvení daných čoček.

Výsledky našeho experimentu jsou limitovány zejména v oblasti měření vízu, kde jsme použili metodu celořádkového vízu. Vzhledem k malým změnám tak nemusely být některé drobné nuance ve vízu v průběhu měření zaznamenány. Měření naturálního stavu mohlo být také ovlivněno skutečností, že probíhalo vždy jako první, a proband ještě neměl s měřením zkušenosti. To může být příčina výrazného poklesu vízu v této situaci oproti ostatním. Nicméně tento jev není patrný při měření kontrastní citlivosti. Dalším limitem práce mohla být časová prodleva po posledním oslnění probanda a měřením hodnot zrakové ostrosti a kontrastní citlivosti po oslnění. Vliv oslnění na zrakové charakteristiky bývá velmi krátký, a proto daná prodleva mohla zapříčinit snížení vlivu oslnění na naměřené hodnoty zrakové ostrosti a kontrastní citlivosti.

Z předchozích studií i z našich výsledků tedy vyplývá, že vliv antireflexních vrstev na působení oslnění je zanedbatelný, pokud vůbec nějaký je [38]. Obdobně je tomu i u barevných úprav, které ale přímo nebyly do naší vlastní práce zahrnuty. Zde většina studií nevykazuje při jejich použití podstatný efekt [25, 38], pouze publikace [39] poukazuje na určité účinky u starší populace.

# ZÁVĚR

Teoretická část diplomové práce shrnula problematiku oslnění a možné metody pro snížení jejího vlivu při podmínkách silničního provozu. Úvod práce je věnován anatomii sítnice, zejména její optické části a příslušným neuronům včetně jejich funkce. Dále se práce zabývá základními charakteristikami zrakového systému, zrakovou ostrostí a kontrastní citlivostí, jejichž popis je důležitý pro experimentální část práce. V kapitolách jsou popsány teoretické poznatky daných charakteristik, dále principy jejich měření a vybrané možnosti testování včetně popisu jejich konstrukcí. Čtvrtá kapitola je věnována adaptačním procesům oka na různé světelné požadavky včetně fotochemických dějů, které probíhají v určitých světločivných buňkách sítnice. Těžištěm textu byl popis oslnění, kdy je pozornost zaměřena na jeho možnou klasifikaci, včetně popisu daných typů a možností předcházení jeho vlivu na zrakový systém za podmínek silničního provozu. V poslední kapitole jsou popsány určité typy automobilových světlometů včetně konstrukce a principů jejich fungování a odlišnostmi mezi nimi.

Z praktického hlediska se vlivem oslnění zabývala experimentální část práce, která hodnotila vliv oslnění vyvolaného LED světlomety na zrakovou ostrost a kontrastní citlivost při simulaci podmínek silničního provozu. Zároveň byl v průběhu experimentu vyhodnocován dopad dvou různých typů testových čoček na vliv vzniklého oslnění. Výsledky experimentu v souladu s dosavadními poznatky ukázaly, že oslnění jako takové má významný a negativní vliv na kontrastní citlivost, avšak dopad na zrakovou ostrost nebyl potvrzen. Efekt použitých brýlových čoček na eliminaci nežádoucích dopadů oslnění oproti naturálnímu stavu testovaných osob (tj. s čočkami bez jakýchkoliv úprav) za námi testovaných podmínek byl jen minimální v případě vízu a žádný u kontrastní citlivosti. Z výsledků předchozích studií též vyplývá, že i barevné úpravy (zejména žluté filtry) nemají v případě eliminace dopadů oslnění podstatný vliv.

# PŘÍLOHY

## Příloha 1: Vyšetřovací protokol pro experimentální část práce

### Protokol z testování

Č. participanta: \_\_\_\_\_

Datum: \_\_\_\_\_

Demografie:

Pohlaví:  muž

žena

Věk: \_\_\_\_\_




Řidič:  ano

ne




Korekce (při měření):

P	
L	

### Baseline testování (bez osvětlení v protisměru) (Halogen)

Pořadí	Situace	Vízus	Kontrast																																																															
1.	Naturální		<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; font-size: 8px;"> <tr><td>S</td><td>Z</td><td>N</td><td>H</td><td>D</td><td>V</td><td>R</td><td>O</td><td>S</td></tr> <tr><td>H</td><td>D</td><td>K</td><td>Z</td><td>C</td><td>R</td><td>O</td><td>N</td><td>K</td></tr> <tr><td>R</td><td>Z</td><td>S</td><td>V</td><td>R</td><td>C</td><td>K</td><td>D</td><td>H</td></tr> <tr><td>O</td><td>D</td><td>K</td><td>N</td><td>H</td><td>V</td><td>R</td><td>S</td><td>K</td></tr> <tr><td>K</td><td>V</td><td>Z</td><td>O</td><td>R</td><td>H</td><td>N</td><td>D</td><td>C</td></tr> <tr><td>Z</td><td>S</td><td>V</td><td>D</td><td>C</td><td>O</td><td>R</td><td>K</td><td>S</td></tr> <tr><td>C</td><td>D</td><td>N</td><td>H</td><td>K</td><td>Z</td><td>S</td><td>C</td><td>R</td></tr> </table>	S	Z	N	H	D	V	R	O	S	H	D	K	Z	C	R	O	N	K	R	Z	S	V	R	C	K	D	H	O	D	K	N	H	V	R	S	K	K	V	Z	O	R	H	N	D	C	Z	S	V	D	C	O	R	K	S	C	D	N	H	K	Z	S	C	R
	S	Z	N	H	D	V	R	O	S																																																									
	H	D	K	Z	C	R	O	N	K																																																									
	R	Z	S	V	R	C	K	D	H																																																									
	O	D	K	N	H	V	R	S	K																																																									
K	V	Z	O	R	H	N	D	C																																																										
Z	S	V	D	C	O	R	K	S																																																										
C	D	N	H	K	Z	S	C	R																																																										
Placebo			<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; font-size: 8px;"> <tr><td>S</td><td>Z</td><td>N</td><td>H</td><td>D</td><td>V</td><td>R</td><td>O</td><td>S</td></tr> <tr><td>H</td><td>D</td><td>K</td><td>Z</td><td>C</td><td>R</td><td>O</td><td>N</td><td>K</td></tr> <tr><td>R</td><td>Z</td><td>S</td><td>V</td><td>R</td><td>C</td><td>K</td><td>D</td><td>H</td></tr> <tr><td>O</td><td>D</td><td>K</td><td>N</td><td>H</td><td>V</td><td>R</td><td>S</td><td>K</td></tr> <tr><td>K</td><td>V</td><td>Z</td><td>O</td><td>R</td><td>H</td><td>N</td><td>D</td><td>C</td></tr> <tr><td>Z</td><td>S</td><td>V</td><td>D</td><td>C</td><td>O</td><td>R</td><td>K</td><td>S</td></tr> <tr><td>C</td><td>D</td><td>N</td><td>H</td><td>K</td><td>Z</td><td>S</td><td>C</td><td>R</td></tr> </table>	S	Z	N	H	D	V	R	O	S	H	D	K	Z	C	R	O	N	K	R	Z	S	V	R	C	K	D	H	O	D	K	N	H	V	R	S	K	K	V	Z	O	R	H	N	D	C	Z	S	V	D	C	O	R	K	S	C	D	N	H	K	Z	S	C	R
S	Z	N	H	D	V	R	O	S																																																										
H	D	K	Z	C	R	O	N	K																																																										
R	Z	S	V	R	C	K	D	H																																																										
O	D	K	N	H	V	R	S	K																																																										
K	V	Z	O	R	H	N	D	C																																																										
Z	S	V	D	C	O	R	K	S																																																										
C	D	N	H	K	Z	S	C	R																																																										
HardCoat			<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; font-size: 8px;"> <tr><td>S</td><td>Z</td><td>N</td><td>H</td><td>D</td><td>V</td><td>R</td><td>O</td><td>S</td></tr> <tr><td>H</td><td>D</td><td>K</td><td>Z</td><td>C</td><td>R</td><td>O</td><td>N</td><td>K</td></tr> <tr><td>R</td><td>Z</td><td>S</td><td>V</td><td>R</td><td>C</td><td>K</td><td>D</td><td>H</td></tr> <tr><td>O</td><td>D</td><td>K</td><td>N</td><td>H</td><td>V</td><td>R</td><td>S</td><td>K</td></tr> <tr><td>K</td><td>V</td><td>Z</td><td>O</td><td>R</td><td>H</td><td>N</td><td>D</td><td>C</td></tr> <tr><td>Z</td><td>S</td><td>V</td><td>D</td><td>C</td><td>O</td><td>R</td><td>K</td><td>S</td></tr> <tr><td>C</td><td>D</td><td>N</td><td>H</td><td>K</td><td>Z</td><td>S</td><td>C</td><td>R</td></tr> </table>	S	Z	N	H	D	V	R	O	S	H	D	K	Z	C	R	O	N	K	R	Z	S	V	R	C	K	D	H	O	D	K	N	H	V	R	S	K	K	V	Z	O	R	H	N	D	C	Z	S	V	D	C	O	R	K	S	C	D	N	H	K	Z	S	C	R
S	Z	N	H	D	V	R	O	S																																																										
H	D	K	Z	C	R	O	N	K																																																										
R	Z	S	V	R	C	K	D	H																																																										
O	D	K	N	H	V	R	S	K																																																										
K	V	Z	O	R	H	N	D	C																																																										
Z	S	V	D	C	O	R	K	S																																																										
C	D	N	H	K	Z	S	C	R																																																										
ProfiActiv			<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; font-size: 8px;"> <tr><td>S</td><td>Z</td><td>N</td><td>H</td><td>D</td><td>V</td><td>R</td><td>O</td><td>S</td></tr> <tr><td>H</td><td>D</td><td>K</td><td>Z</td><td>C</td><td>R</td><td>O</td><td>N</td><td>K</td></tr> <tr><td>R</td><td>Z</td><td>S</td><td>V</td><td>R</td><td>C</td><td>K</td><td>D</td><td>H</td></tr> <tr><td>O</td><td>D</td><td>K</td><td>N</td><td>H</td><td>V</td><td>R</td><td>S</td><td>K</td></tr> <tr><td>K</td><td>V</td><td>Z</td><td>O</td><td>R</td><td>H</td><td>N</td><td>D</td><td>C</td></tr> <tr><td>Z</td><td>S</td><td>V</td><td>D</td><td>C</td><td>O</td><td>R</td><td>K</td><td>S</td></tr> <tr><td>C</td><td>D</td><td>N</td><td>H</td><td>K</td><td>Z</td><td>S</td><td>C</td><td>R</td></tr> </table>	S	Z	N	H	D	V	R	O	S	H	D	K	Z	C	R	O	N	K	R	Z	S	V	R	C	K	D	H	O	D	K	N	H	V	R	S	K	K	V	Z	O	R	H	N	D	C	Z	S	V	D	C	O	R	K	S	C	D	N	H	K	Z	S	C	R
S	Z	N	H	D	V	R	O	S																																																										
H	D	K	Z	C	R	O	N	K																																																										
R	Z	S	V	R	C	K	D	H																																																										
O	D	K	N	H	V	R	S	K																																																										
K	V	Z	O	R	H	N	D	C																																																										
Z	S	V	D	C	O	R	K	S																																																										
C	D	N	H	K	Z	S	C	R																																																										
			<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; font-size: 8px;"> <tr><td>S</td><td>Z</td><td>N</td><td>H</td><td>D</td><td>V</td><td>R</td><td>O</td><td>S</td></tr> <tr><td>H</td><td>D</td><td>K</td><td>Z</td><td>C</td><td>R</td><td>O</td><td>N</td><td>K</td></tr> <tr><td>R</td><td>Z</td><td>S</td><td>V</td><td>R</td><td>C</td><td>K</td><td>D</td><td>H</td></tr> <tr><td>O</td><td>D</td><td>K</td><td>N</td><td>H</td><td>V</td><td>R</td><td>S</td><td>K</td></tr> <tr><td>K</td><td>V</td><td>Z</td><td>O</td><td>R</td><td>H</td><td>N</td><td>D</td><td>C</td></tr> <tr><td>Z</td><td>S</td><td>V</td><td>D</td><td>C</td><td>O</td><td>R</td><td>K</td><td>S</td></tr> <tr><td>C</td><td>D</td><td>N</td><td>H</td><td>K</td><td>Z</td><td>S</td><td>C</td><td>R</td></tr> </table>	S	Z	N	H	D	V	R	O	S	H	D	K	Z	C	R	O	N	K	R	Z	S	V	R	C	K	D	H	O	D	K	N	H	V	R	S	K	K	V	Z	O	R	H	N	D	C	Z	S	V	D	C	O	R	K	S	C	D	N	H	K	Z	S	C	R
S	Z	N	H	D	V	R	O	S																																																										
H	D	K	Z	C	R	O	N	K																																																										
R	Z	S	V	R	C	K	D	H																																																										
O	D	K	N	H	V	R	S	K																																																										
K	V	Z	O	R	H	N	D	C																																																										
Z	S	V	D	C	O	R	K	S																																																										
C	D	N	H	K	Z	S	C	R																																																										

Měření s oslněním (osvětlení v protisměru) (LED) (parametry před oslněním ↑, po↓)

Pořadí	Situace	Vízus	Kontrast (před oslněním)	Kontrast (po oslnění)	Oslnění 1 = nezaznamatelné 3 = slabé 5 = přijatelné 7 = rušivé 9 = nesnesitelné
1.	Naturální		S Z N H D V R O S H D K Z C R O N K R Z S V R C K D H O D K N H V R S K K V Z O R H N D C Z S V D C O R K S C D N H K Z S C R	S Z N H D V R O S H D K Z C R O N K R Z S V R C K D H O D K N H V R S K K V Z O R H N D C Z S V D C O R K S C D N H K Z S C R	
			S Z N H D V R O S H D K Z C R O N K R Z S V R C K D H O D K N H V R S K K V Z O R H N D C Z S V D C O R K S C D N H K Z S C R	S Z N H D V R O S H D K Z C R O N K R Z S V R C K D H O D K N H V R S K K V Z O R H N D C Z S V D C O R K S C D N H K Z S C R	
	Placebo 		S Z N H D V R O S H D K Z C R O N K R Z S V R C K D H O D K N H V R S K K V Z O R H N D C Z S V D C O R K S C D N H K Z S C R	S Z N H D V R O S H D K Z C R O N K R Z S V R C K D H O D K N H V R S K K V Z O R H N D C Z S V D C O R K S C D N H K Z S C R	
			S Z N H D V R O S H D K Z C R O N K R Z S V R C K D H O D K N H V R S K K V Z O R H N D C Z S V D C O R K S C D N H K Z S C R	S Z N H D V R O S H D K Z C R O N K R Z S V R C K D H O D K N H V R S K K V Z O R H N D C Z S V D C O R K S C D N H K Z S C R	
	HardCoat 		S Z N H D V R O S H D K Z C R O N K R Z S V R C K D H O D K N H V R S K K V Z O R H N D C Z S V D C O R K S C D N H K Z S C R	S Z N H D V R O S H D K Z C R O N K R Z S V R C K D H O D K N H V R S K K V Z O R H N D C Z S V D C O R K S C D N H K Z S C R	
	ProfiActiv 		S Z N H D V R O S H D K Z C R O N K R Z S V R C K D H O D K N H V R S K K V Z O R H N D C Z S V D C O R K S C D N H K Z S C R	S Z N H D V R O S H D K Z C R O N K R Z S V R C K D H O D K N H V R S K K V Z O R H N D C Z S V D C O R K S C D N H K Z S C R	



# SEZNAM POUŽITÉ LITRATURY

- [1] Kuchynka P a kol. Oční lékařství. Praha: Grada; 2007.
- [2] Artal P. Handbook of visual optics: Fundamentals and Eye Optics. Boca Raton, FL: CRC Press, Taylor & Francis Group; 2017.
- [3] Synek S, Skorkovská Š. Fyziologie oka a vidění. 2. vyd. Praha: Grada; 2014.
- [4] Valberg A. Light Vision Color. Chichester, United Kingdom: John Wiley & Sons; 2005.
- [5] Pluháček F. Výukové materiály k předmětu Fyziologická optika. Katedra optiky Přírodovědecké fakulty Univerzity Palackého v Olomouci. Olomouc; 2015.
- [6] Feher J. Vision. In: Quantitative Human Physiology: An Introduction. 2nd ed. Waltham, MA: Academic Press; 2012.
- [7] Squire LR. Encyclopedia of Neuroscience. Amsterdam, Netherlands: Academic Press; 2009.
- [8] Duda M, Domagalik A, Orłowska-Feuer P et al. Melanopsin: From a small molecule to brain functions. *Neurosci Biobehav R.* 2020;113:190-203.
- [9] Levenson JH, Kozarsky A. Visual Acuity. In: Clinical Methods: The History, Physical, and Laboratory Examinations. 3rd ed. Boston, MA: Butterworths; 1990.
- [10] Anton M. Refrakční vady a jejich vyšetřovací metody. 3. vydání. Brno: Národní centrum ošetřovatelství a nelékařských zdravotních oborů; 2004.
- [11] Kniestedt C, Stamper RL. Visual acuity and its measurement. *Ophthalmol Clin North Am.* 2003;16:155-170.
- [12] Rutrle M. Přístrojová optika: učební texty pro oční optiky a oční techniky, optometristy a oftalmology. Brno: Institut pro další vzdělávání pracovníků ve zdravotnictví; 2000.
- [13] Úplná nabídka – Třída 19 - Optické přístroje, zařízení pro kinematografii a reprografii – 1950 Oční optika, obecné požadavky – ČSN EN ISO 8596 (195002). Prodej norem ČSN. <https://shop.normy.biz/>. [online 1.4.2022]

- [14] Hom MM, Bruce AS. Manual of Contact Lens Prescribing and Fitting. 3rd ed. St. Louis, MO: Butterworth-Heinemann; 2006.
- [15] Owsley C. Contrast sensitivity. *Ophthalmol Clin North Am.* 2003;16:171-177.
- [16] Barten PGJ. Contrast Sensitivity of the Human Eye and Its Effects on Image Quality. Bellingham, WASH: SPIE Optical Engineering Press; 1999.
- [17] Benjamin WJ. Borish's Clinical Refraction. 2nd ed. St. Louis, MO: Butterworth-Heinemann; 2006.
- [18] Balcer LJ, Raynowska J, Nolan R et al. Validity of low-contrast letter acuity as a visual performance outcome measure for multiple sclerosis. *Mult Scler J.* 2017;23:734-747.
- [19] Kalloniatis M, Luu C. Light and Dark Adaptation. In: *Webvision : The organization of the Retina and Visual System.* Salt Lake City, UT: University of Utah Health Sciences Center; 1995.
- [20] Krtilová A, Monzer L, Matoušek J. Světlo a osvětlování. Praha: Avicenum; 1981.
- [21] Mace D, Garvey P, Porter R, Schwab R, Adrian W. Countermeasures for Reducing the Effects of Headlight Glare. Washington, D.C.: American Automobile Association Foundation for Traffic Safety; 2001.
- [22] Šula O. Příručka osvětlovací techniky. Praha: SNTL; 1979.
- [23] Mainster MA, Turner PL. Glare's Causes, Consequences, and Clinical Challenges After a Century of Ophthalmic Study. *Am J Ophthalmol.* 2012;153:587-93.
- [24] Habel J. Základy světelné techniky (2). *Světlo.* 2008;6:52-55.
- [25] Hwang AD, Tuccar-Burak M, Peli E. Comparison of Pedestrian Detection With and Without Yellow-Lens Glasses During Simulated Night Driving With and Without Headlight Glare. *JAMA Ophthalmol.* 2019;137:1147-1153.
- [26] Viktorová L, Stanke L. Lighting color preferences in Czech drivers-do they matter in subjective glare evaluation? *PERCEPTION.* 2021;50:168-168.

- [27] Technika – Technické dokumenty – Osvětlení – Brožura Světelná technika. Hella Tech World Česká republika. <https://www.hella.com/hella-tech-world-cz-cs/index.html>. [online 18.4.2022]
- [28] Nair GB, Dhoble SJ. The Fundamentals and Applications of Light-Emitting Diodes: The Revolution in the Lighting Industry. Duxford, United Kingdom: Woodhead Publishing; 2020.
- [29] Sivak M, Schoettle B, Minoda T, Flannagan MJ. Blue Content of LED Headlamps and Discomfort Glare. Ann Arbor , MI: University of Michigan; 2005.
- [30] Schubert EF. Light-Emitting Diodes. 3rd ed. Troy, NY: E. Fred Schubert; 2018.
- [31] Mainster MA, Timberlake GT. Why HID headlights bother older drivers. Brit J Ophthalmol. 2003;87:113-117.
- [32] Hollembeak B. Today's Technician: Automotive Electricity & Electronics. 7th ed. Boston, MA: Cengage Learning; 2018.
- [33] Denton T. Automobile Electrical and Electronic Systems. 5th ed. London, United Kingdom: Routledge, Taylor & Francis Group; 2018
- [34] Wördenweber B, Wallaschek J, Boyce P, Hoffman DD. Automotive Lighting and Human Vision. Berlin, Germany: Springer; 2007.
- [35] Dvořáček V. Světelné zdroje – halogenové žárovky. Světlo. 2008;5:56-58.
- [36] Yamamoto H. White LED phosphors: the next step. P Soc Photo-Opt Ins. 2010;7598:73-82.
- [37] Produkty – brýlové čočky. Optika Čivice. <https://www.optikacivice.cz/>. [online 13.4.2022]
- [38] Mahjoob M, Heydarian S. Effects of color filters and anti-reflective coating on contrast sensitivity under glare condition. J Res Clin Med. 2020;8:28-28.
- [39] Mahjoob M, Heydarian S, Koochi S. Effect of yellow filter on visual acuity and contrast sensitivity under glare condition among different age groups. Int Ophthalmol. 2016;36:509-514.
- [40] Massof RW. Why Don't Yellow Night Vision Glasses Work? JAMA Ophthalmol. 2019;137:1154-1155.