

PŘÍRODOVĚDECKÁ FAKULTA UNIVERZITY PALACKÉHO
V OLOMOUCI
KATEDRA OPTIKY

MĚŘENÍ VÍZU POMOCÍ PÍSM POUŽÍVANÉHO NA DOPRAVNÍM ZNAČENÍ

Diplomová práce

VYPRACOVALA:

Bc. Barbora Zapletalová

Obor 5345T008 OPTOMETRIE

Studijní rok 2016/2017

VEDOUcí DIPLOMOVÉ PRÁCE:

RNDr. František Pluháček, Ph.D.

Čestné prohlášení

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

V Olomouci dne 2.5.2017

Poděkování

Na tomto místě bych chtěla poděkovat RNDr. Františku Pluháčkovi, Ph.D., vedoucímu své diplomové práce, za jeho cenný čas, velkou pomoc a vstřícné jednání.

Tato práce byla vytvořena za podpory projektu IGA PřF UP v Olomouci s názvem “Optometrie a její aplikace“, č. IGA_PrF_2017_003.

OBSAH

1 ÚVOD.....	6
2 ZRAKOVÉ FUNKCE DŮLEŽITÉ PRO ŘÍZENÍ MOTOROVÉHO VOZIDLA.....	7
2.1 Zraková ostrost.....	7
2.2 Zorné pole.....	9
2.3 Binokulární vidění.....	9
2.4 Barvocit.....	11
2.5 Adaptace na světlo a tmu.....	12
2.6 Kontrastní citlivost.....	14
2.7 Fyziologické změny zraku ve stáří s ohledem na řízení.....	16
2.7.1 Změny zrakové ostrosti a kontrastní citlivosti.....	17
2.7.2 Změny zorného pole.....	17
2.7.3 Změny v binokulárním vidění.....	18
2.7.4 Změny v barvocitu.....	18
2.7.5 Změny ve schopnosti adaptace.....	19
3 ŘÍZENÍ Z HLEDISKA DALŠÍCH SMYSLŮ A PSYCHOLOGIE.....	20
3.1 Ostatní smysly při řízení.....	20
3.2 Pozornost.....	21
3.3 Rozhodování.....	22
3.4 Reakce.....	23
4 MĚŘENÍ VÍZU.....	25
4.1 Konstrukce optotypů.....	25
4.2 Typy optotypů.....	28
4.3 Crowding efekt.....	28
4.4 Zápis vízu.....	29
5 POŽADAVKY NA ZRAK ŘIDIČŮ STANOVENÉ ZÁKONEM.....	31

6 TECHNICKÉ PARAMETRY DOPRAVNÍCH ZNAČEK A POUŽÍVANÉHO PÍSMÁ.....	34
6.1 Základní technické údaje dopravních značek.....	34
6.2 Zásady užití dopravních značek.....	35
6.3 Umístění dopravního značení.....	35
6.4 Písmo DIN 1451.....	36
7 PRAKTICKÁ ČÁST.....	38
7.1 Metodika.....	38
7.2 Výsledky.....	42
7.2.1 Vliv optotypového znaku na vÍzus.....	43
7.2.2 Vzdálenost, ze které jsou názvy obcí čitelné.....	44
7.3 Diskuze.....	46
8 ZÁVĚR.....	50
SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ.....	51

1 ÚVOD

Základní činností optometristy a oftalmologa je vyšetření zrakové ostrosti, tedy měření vízu. Používá k tomu optotypy, „velké tabule s písmeny“, které má pacient číst, a také je to často to jediné, s čím mají lidé vzpomínku na očního lékaře spojenou. Na českých silnicích přibývá aut, osobní doprava je často upřednostňována před hromadnou, a tak jistě také roste počet držitelů řidičského oprávnění. Ti mají povinnost před jeho nabytím přijít k lékaři, který zhodnotí jejich zdravotní způsobilost k řízení motorového vozidla. Jednou ze zkoumaných oblastí je zrak a přicházejí na řadu zmíněné optotypy. Motivací k této práci byla otázka, zda vyšetření v ordinaci lékaře či optometristy, tedy čtení písmen na optotypech, skutečně vypovídá o schopnosti řidiče správně číst nápisy i v reálné situaci na silnici. Cílem experimentální části je tedy měření vízu pomocí Sloan letters a pomocí slov napsaných písmem používaným na dopravním značení. Dalším cílem je pomocí dat nasbíraných v rámci experimentu vypočítat vzdálenost, ze které je nápis na značce rozpoznatelný, což jistě do velké míry závisí na zrakové ostrosti řidiče a na konstrukci značky, a tuto hodnotu porovnat s doporučením BESIPu.

Teoretická část poskytuje základní přehled problematiky, ze které experimentální část vychází. V první řadě je pozornost věnována zrakovým funkcím důležitým pro řízení a jejich možným negativním změnám v čase, které naopak bezpečné řízení ohrožují. Zmíněny jsou i další faktory ovlivňující řidičův výkon, a to ostatní smysly a psychologie řízení – pozornost, rozhodování a reagování. Těžištěm teoretické části práce detailnější pohled na vízus, jeho měření a problematiku optotypů. Pátá kapitola uvádí konkrétní požadavky na zrakové funkce potřebné k získání řidičského oprávnění. Na závěr jsou pak představeny technické parametry, podle kterých jsou konstruovány, umístovány a udržovány dopravní značky. Pozornost je věnována hlavně písmu DIN 1451, které se používá na dopravním značení a které bylo využito také v experimentu prováděném v rámci této práce.

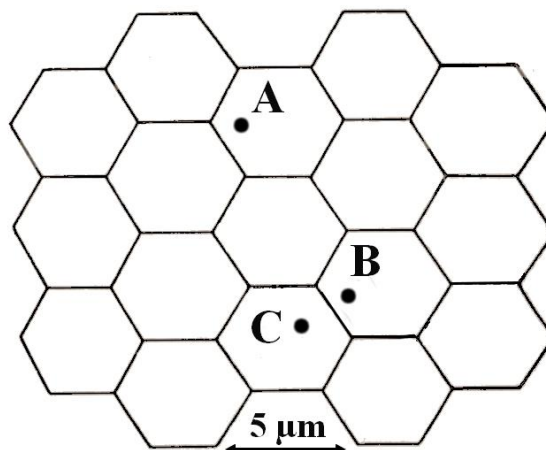
2 ZRAKOVÉ FUNKCE DŮLEŽITÉ PRO ŘÍZENÍ MOTOROVÉHO VOZIDLA

Pro účastníka silničního provozu je zrak nejvýznamnějším smyslem, zvláště pak pro řidiče, protože s jeho pomocí se orientuje, rozhoduje a jedná. Není ale pochyb o tom, že i ostatní smysly mají při řízení svůj význam. Těm se bude věnovat podkapitola 3.1, ovšem jen v krátkém rozsahu, neboť těžištěm této práce je především zrak.

Rozlišuje se několik zrakových funkcí: zraková ostrost, zorné pole, binokulární vidění, barvocit, kontrastní citlivost a adaptace na světlo a tmou. Všechny tyto vyjmenované funkce jsou pro řidiče důležité a všechny jsou zmíněny v zákoně jako oblasti, které mají být při posuzování zdravotní způsobilosti k řízení vyšetřovány a v případě jejich poruch může být řízení omezeno nebo zakázáno (více v kapitole 5). Z důvodu velkého významu pro bezpečnost silničního provozu budou zrakové funkce v dalším textu blíže popsány.

2.1 Zraková ostrost

Zraková ostrost je základní zraková funkce, díky níž může oko rozlišit detaily. Pojem „zraková ostrost“ je také chápán jako veličina, nazývaná též vízus (V), která říká, jak velké detaily je oko schopno rozpoznat.



Obr. 1 Struktura čípků na sítnici; body A a B budou rozlišeny jako dva body, body B a C splynou v jeden. Podle [1]

Je popsána pomocí úhlové rozlišovací meze oka – tedy nejmenší úhlové vzdálenosti dvou bodů, které oko ještě rozliší. To nastává tehdy, pokud obrazy těchto bodů při dopadu na sítnici podráždí spolu nesousedící čípky – na obrázku 1 body A a B. V případě podráždění čípků, které leží těsně vedle sebe, budou dva body (na obrázku 1 body B a C) zrakovým systémem vnímány jako jeden. Velikost čípku je asi 5 μm . Dá se tedy říct, že dva nesousedící čípky jsou od sebe vzdáleny právě o tuto hodnotu a je možné vypočítat úhlovou rozlišovací mez, neboli minimální úhlové rozlišení (MÚR), anglicky minimum angle of resolution (MAR). U normálního oka je úhlová rozlišovací mez asi 1' a tato hodnota je považována za referenční.

Vízus je bezrozměrná veličina, která porovnává referenční MAR zdravého oka (1') s reálným MAR vyšetřovaného člověka a číselně je definován vztahem

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

Vízus dobře vidícího člověka by tedy měl být 1, vízus mladého člověka bývá často vyšší, kolem 1,25 (protože rozliší menší detaily, než předpokládá referenční MAR). V periférii sítnice je kvůli rozložení receptorů zraková ostrost až 20x horší než v centru.

Místo hodnoty vízu se často (hlavně pro účely experimentů a výzkumů) používá logMAR, tedy logaritmus o základu 10 z minimálního úhlového rozlišení. LogMAR odvodíme z vízu V následujícími úpravami:

$$\log V = \log \frac{1'}{\text{MAR}} = \log \text{MAR}^{-1} = -\log \text{MAR},$$

tedy

$$\log \text{MAR} = -\log V.$$

Vízus se v praxi měří na optotypech, jejichž problematice se bude více věnovat samostatná kapitola 4. [2, 3]

2.2 Zorné pole

Část prostoru, kterou je možné vidět při fixaci daného bodu, se nazývá zorné pole (dále ZP). Rozlišuje se zorné pole relativní (při statické poloze hlavy zavazí nos, nadočnicové oblouky, vystouplé lícní kosti) a absolutní (anatomické překážky jsou eliminovány pohybem hlavy).

Monokulární ZP, čili prostor, který je viděn pouze jedním okem, má rozsah asi 60° nazálně, 100° temporálně, 60° nahoru a 70° dolů. Při pohledu jen jedním okem se projeví tzv. Mariottův bod. Jedná se o malý výpadek ZP odpovídající papile zrakového nervu neboli slepé skvrně, která se na sítnici nachází asi 15° nazálně; výpadek ZP tedy bude asi 15° temporálně. Při současném pohledu oběma očima je Mariottův bod překryt zorným polem druhého oka.

Za binokulární zorné pole se považuje průnik obou monokulárních ZP obou očí. Jeho rozsah je tedy 60° nazálně i temporálně, nahoru a dolů má stejnou velikost jako ZP jednoho oka. V této oblasti je přítomno pravé prostorové vidění – stereopse (více v kapitole 2.3). [4]

Dostatečná šíře ZP je pro řízení nutná, protože řidiči umožňuje vidět široké spektrum objektů, které mohou jeho bezpečný pohyb ovlivňovat, tedy například chodce, dopravní značky, předjíždějící nebo ze strany přijíždějící vozidlo. Usnadňuje také vnímání sama sebe v kontextu prostoru a výrazně pomáhá při vnímání vlastní rychlosti. [5]

Ve spojitosti s řízením motorového vozidla je používán pojem „funkční zorné pole“ (useful field of view – UFOV), dále jen FZP. Ball a kol. [6] používá tento termín jako označení oblasti, ze které je možné získat informace během krátkého pohledu bez pohybu očí a hlavy. Tato funkce nevypovídá jen o dobrém vidění, ale také o kognitivních funkcích člověka a ukazuje se, že její testování je velmi dobrým ukazatelem schopnosti bezpečně řídit. Z důvodu přesahu do psychologie bude FZP a jeho význam pro řízení popsáno v kapitole 3.

2.3 Binokulární vidění

Určitý předmět je při pohledu oběma očima viděn každým okem zvlášť. Pokud zrakový systém zpracuje tyto dva vjemy tak, aby člověk vnímal předmět jednoduše, ostře a prostorově, pak hovoříme o jednoduchém binokulárním vidění. To má tři složky

– optickou, motorickou a senzoryckou. Optická složka (optický aparát oka) zajišťuje, aby obraz pozorovaného předmětu dopadl na sítnici a aby byl ostrý. Pojmem motorická složka se myslí natočení očí tak, aby obraz dopadal do fovey jednoho i druhého oka. Senzorická složka zajišťuje převod a zpracování signálů ze sítnic do zrakových center v mozku. Při nesprávné funkci některé složky je jednoduché binokulární vidění patologické.

V oblasti binokulárního zorného pole hovoříme o tzv. binokulární sumaci, což znamená zlepšení některých funkcí vidění. Je zde přítomna stereopse (vysvětlena níže), zlepšuje se vÍzus obvykle o jeden řádek, kontrastní citlivost a vnímání jasu.

Hlavním přínosem binokulárního vidění pro řízení motorového vozidla je stereopse, nejvyšší stupeň prostorového vidění. Na sítnicích obou očí jsou dvojice míst, která spolu korespondují – při hypotetickém překrytí sítnic by ležely na sobě. Hovoříme o korespondujících bodech sítnic. Oproti tomu místa, která by při překrytí sítnic na sobě neležela, se nazývají disparátní body sítnic. Stereopse je zajištěna právě díky tomu, že obrazy z obou očí dopadají na mírně disparátní místa sítnic a mozek je schopen je spojit do jednoduchého prostorového vjemu. Této schopnosti zrakového systému využívají také 3D filmy. Vznik prostorového vjemu je podpořen také vnímáním změny pozice oko-hybných svalů (při konvergenci) a vnímáním akomodačního úsilí při akomodaci. [7]

Vnímání prostoru a odhadování vzdálenosti a vzájemné pozice objektů je do jisté míry možné také na základě zkušenosti, dokonce bez funkční stereopse. Této možnosti využívají například umělci, pokud chtějí, aby jejich obraz či fasáda, ač namalované do roviny, působily prostorově. Mezi nápovědy, které utvářejí dojem hloubkového prostoru, řadíme například lineární perspektivu (rovnoběžné linie se směrem od diváka sbíhají), atmosférickou perspektivu (dům v dálce na kopci je méně zřetelný než domy v popředí), zakrytí (předmět překrytý jiným je dál) nebo velikost promítnutého obrazu (menší osoba stojí blíže než ta větší). Příklady jsou k vidění na obrázku 2. Kombinací těchto nápověd si může pozorovatel vytvořit hloubkový vjem celé scény. Díky této „náhradě“ prostorového vidění mohou řidiči v České republice, kteří přišli o zrak na jenom oku, znovu řídit, ale až po době 6 měsíců. Předpokládá se, že v této době se jsou schopni naučit vnímat prostor pouze na základě zkušenosti a výše uvedených vodítek a zvykli si na využívání pouze jednoho oka. [7, 8]



Obr. 2 Nápvědy vypovídající o prostorovém uspořádání: A – lineární perspektiva (linie na dlažbě se směrem dál zužují); B – zakrytí (šedá střecha je zakrytá černou – je tedy dál od pozorovatele); C – atmosférická perspektiva (domy v pozadí jsou méně zřetelné než věž v popředí); D – velikost promítnutého obrazu (menší kapličky jsou pravděpodobně dál než ta první – největší). [9]

2.4 Barvocit

Existuje celá řada teorií, které vysvětlují schopnost oka rozlišovat barvy. Podílejí se na tom určitě tři typy čípků v sítnici, které mají rozdílnou citlivost ke světlu určité vlnové délky. Zrakovou dráhou je pak informace o barvě nesena pomocí tří „kanálů“ – dva vypovídají o barvě a jeden o jasu.

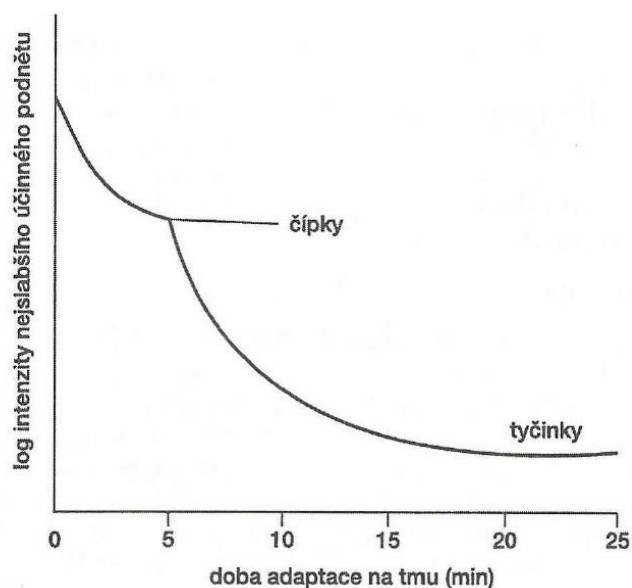
Vrozené poruchy barvocitu jsou v populaci vcelku běžné. Přenášejí se recesivně na X chromozomu, a trpí jimi tedy častěji muži (8 %) než ženy (0,5 %). V dopravní oblasti si zaslouží rozhodně velkou pozornost, protože nejčastěji bývá poškozeno vnímání červené a zelené barvy. Získané poruchy barvocitu se týkají spíše modré a žluté barvy. Bývají spojené s jiným očním nebo celkovým onemocněním nebo úrazem a jejich závažnost se s vývojem choroby může měnit. [10, 11, 12]

Správné vnímání barev jistě napomáhá bezpečnému řízení. Mnoho dopravních značek je od sebe rozlišeno barevně, signály na semaforu jsou již z dálky rozeznatelné právě díky jejich barvě. Na druhou stranu lidé s nedokonalým barevným viděním si mohou pomáhat jinými „nápovědami“, například pozicí světla na semaforu (červené je nahoře, zelené dole) nebo kontrastem mezi znakem a pozadím při rozlišování značek. Tagarelli [13] uvádí, že lidé s poruchou barvocitu výrazně preferují řízení ve dne oproti řízení v noci, na rozdíl od těch, co vnímají barvy správně. Může to být způsobeno nejistotou rozeznání předních světel aut protijedoucích od koncových světel aut jedoucích vpředu, která jsou od sebe odlišena právě barvou. Rozlišování kontrolních či varovných světel na palubní desce, která jsou často červená, je také daleko obtížnější pro řidiče s poruchou vnímání barev. [14]

2.5 Adaptace na světlo a tmu

Lidské oko je schopné vnímat světlo velmi rozdílných jasů, v rozmezí od 10^{-6} do 10^6 cd/m². Při rychlé výrazné změně jasu ale chvíli trvá, než se mu přizpůsobí. Tomuto přizpůsobování v čase se říká adaptace. Adaptace na světlo trvá jen několik sekund či minut, provází ji zúžení zornice a případně přimhouření očních víček. Adaptace na tmu je výrazně pomalejší a obvykle trvá 40 až 60 minut. Pokud je intenzita osvětlení snižována postupně (např. řízení za postupného přechodu ze dne do noci při západu slunce), oko pomalu přestává vnímat barvu, tvar a detaily předmětů, ale vidění je právě díky adaptaci zachováno. Při náhlém poklesu osvětlení se však oko nestihne rychle adaptovat a vidění je na několik minut značně omezeno.

Rozsah jasu, který oko může v daný okamžik při dané adaptaci vnímat, je 10^4 cd/m², tedy 100krát menší jas a 100krát vyšší jas, než na který je oko adaptováno. Jako prahový jas je označována nejmenší hodnota jasu, kterou je oko v daném okamžiku schopné vnímat. Závislost prahového jasu na čase při adaptaci na tmu vyjadřuje adaptační křivka (obr. 3). V první fázi se poměrně rychle adaptují čípky, avšak když jas klesne pod hodnotu, kterou jsou čípky schopny vnímat, přebírají funkci vidění plně tyčinky, jejichž citlivost na světlo je vyšší a jsou schopny zachytit i menší množství světla. Člověk tedy ve tmě ztrácí schopnost vnímat barvy a jemné detaily. [1, 3, 15]



Obr. 3 Adaptační křivka - pokles prahového jasu v čase při pobytu ve tmě. [15]

Častým problémem při řízení motorového vozidla bývá oslnění. Jedná se o jev, který nastává, pokud jsou oči vystaveny výrazně vyššímu jasu, než na který jsou právě adaptovány. Mluví se také o oslnění kontrastem, ke kterému dochází při pohledu na plochy o výrazně rozdílném jasu.

Běžně se řidič s oslněním setkává za slunečného dne, kdy k němu přichází ostré světlo ze slunce nebo z odrazových ploch (moderní budovy, skla okolních aut, vodní plocha), ale také hlavně v noci, kdy bývá krátkodobě oslněn reflektory protijedoucích vozidel. Z důvodu setrvačnosti zrakového vjemu může být oslepen ještě několik sekund poté, co protijedoucí auto minul. Také je možné se setkat s oslňujícím veřejným osvětlením, které je buď neodborně nainstalováno, nebo nejsou zvolena vhodná svítidla. Norma ČSN EN 13201 [16] popisuje tzv. adaptační pásma, která se týkají komunikací, kde rychlost vozidel přesahuje 60 km/h a kde je hlavním účelem osvětlení motorová doprava. Charakterizuje délky úseků a způsoby provedení těchto pásem. Účelem adaptačního pásma je postupně snížit úroveň veřejného osvětlení na hladinu průměrného jasu $0,2 \text{ cd/m}^2$. Předpokládá se, že přejezd z této hladiny jasu do tmy nebude činit řidiči větší potíže. [1, 17]

2.6 Kontrastní citlivost

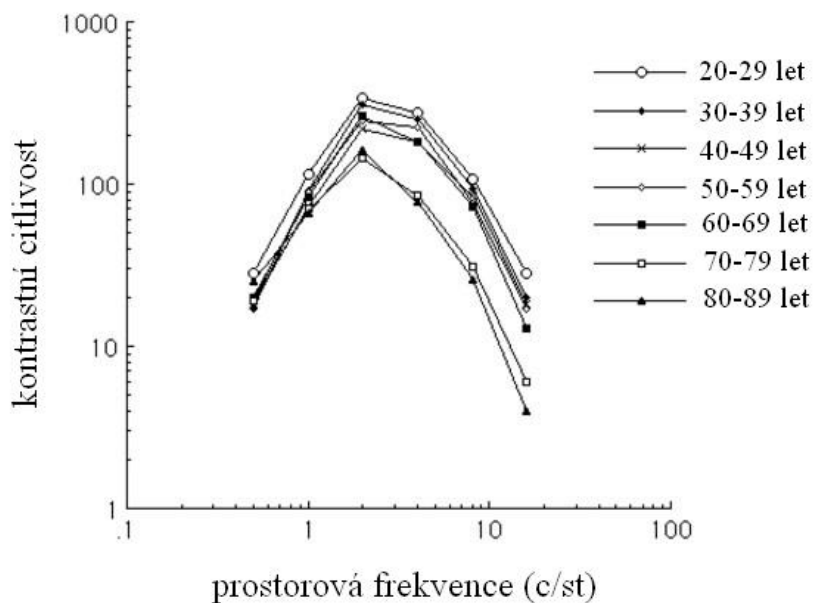
Ke komplexnímu vyšetření zraku z hlediska schopnosti řízení by v ideálním případě mělo patřit i vyšetření kontrastní citlivosti. Na rozlišování objektů v zorném poli řidiče a na čitelnost nápisů na dopravním značení má vliv také počasí - za mlhy nebo deště dochází právě ke sníženému kontrastu objektů. Kontrast je možné chápat jako relativní rozdíl v jasů dvou polí v zorném poli, která jsou viděna současně, nebo dvou podnětů, které jsou očím prezentovány postupně. Kontrast C se definuje jako

$$C = \frac{L_2 - L_1}{L_2} \quad (\text{Weberův kontrast}),$$

kde L_2 je jas pozadí a L_1 jas znaku. Zároveň se zavádí kontrastní práh C_p – jedná se o minimální hodnotu kontrastu, při které je možné dvě plochy s rozdílným jasnem ještě rozlišit. Převrácenou hodnotou kontrastního prahu je pak kontrastní citlivost C_s (contrast sensitivity),

$$C_s = \frac{1}{C_p}.$$

Kontrastní citlivost se mění s prostorovou frekvencí f udávanou v počtu cyklů na stupeň (c/st). Prostorová frekvence vyjadřuje „hustotu“ střídajících se černých a bílých proužků a za cyklus je pokládána šířka jednoho černého a sousedícího bílého proužku. Znázorněním závislosti C_s na f do grafu dostáváme křivku kontrastní citlivosti (obr. 4), která má zvonovitý tvar a ukazuje, že nejlepší kontrastní citlivost má oko pro 3 – 6 c/st, při nižších či vyšších frekvencích jeho citlivost klesá. Vysoké prostorové frekvence přitom vypovídají o vnímání jemných detailů a hran, v nižších frekvencích je možné zjistit, jak pacient vnímá velké objekty a tvary. Zároveň je z obrázku 4 vidět výraznější pokles kontrastní citlivosti pro vyšší frekvence u starších lidí oproti mladým. [1, 3, 18]

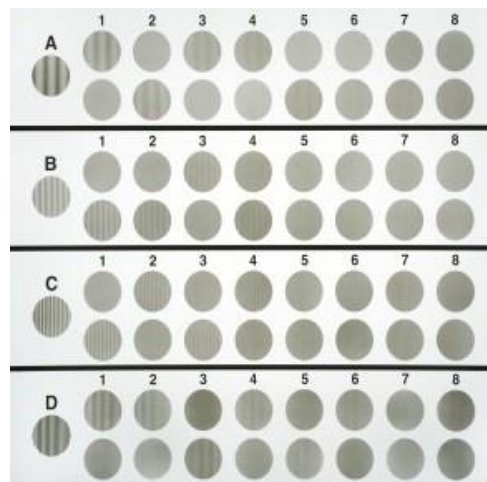


Obr. 4 Křivka kontrastní citlivosti – závislost na věku. Podle [19]

Měření kontrastní citlivosti se využívá při diagnostice některých očních onemocnění. U keratokonu a glaukomu může dojít k jejímu snížení ještě před hlavními projevy nemoci, a to může přispět k jejímu včasnému odhalení. Kontrastní citlivost je také úzce provázána s věkem podmíněnou makulární degenerací, diabetickou retinopatií, optickou neuritidou a neurologickými chorobami, jako například Parkinsonova choroba nebo roztroušená skleróza. Ve všech uvedených případech dochází v průběhu nemoci ke snížení kontrastní citlivosti ve všech, nebo jen některých prostorových frekvencích. [20]

Kontrastní citlivost se dá měřit dvěma metodami. První využívá sinusovou mřížku. Testy se skládají z několika řádků, každý obsahuje několik polí se sinusovou mřížkou. V rámci řádku se postupně snižuje kontrast černých a bílých proužků v sinusové mřížce a každý řádek obsahuje políčka s jinou prostorovou frekvencí. Příkladem takového testu je CSV-1000 (na obrázku 5). Jedná se o prosvětlenou tabuli obsahující 4 řádky různých prostorových frekvencí (3, 6, 12, 18 c/st při doporučené vyšetřovací vzdálenosti 2,5 m). V každém řádku jsou vždy dvě pole nad sebou, horní s mřížkou a dolní jen šedé, nebo obráceně. Pacient má určit, zda se mřížka vyskytuje v řádku nahoře či dole, poslední pole se správně rozlišenou mřížkou je zaznamenáno. Další typ testu využívá optotyp s proměnným kontrastem. Příkladem je Pelli-Robson

test, který obsahuje 8 řádků po 6 písmenech, jejichž velikost se nezmenšuje, jak je tomu u optotypů pro měření zrakové ostrosti (viz kapitola 4), ale po trojicích se snižuje kontrast písmen. Zdají se tedy čím dál šedší a je obtížnější je rozeznat. Tento test měří kontrastní citlivost v oblasti kolem 1 c/st a vyšetřovací vzdálenost je 1 m. [20, 21]



Obr. 5 Test kontrastní citlivosti CSV-1000. [21]

2.7 Fyziologické změny zraku ve stáří s ohledem na řízení

Je důležité si uvědomit, že člověk se narodí se zrakem velmi špatným. V průběhu celého dětství se zrak vyvíjí, pro zajímavost uvedme, že až mezi 4. a 6. rokem vidí dítě stejně ostře jako dospělý člověk [4]. Tato práce se však zabývá řízením motorových vozidel, a tedy osobami staršími 18 let. Podrobnější pohled na vývoj zraku dítěte bude tedy vynechán a veškeré změny zraku se budou týkat období dospělosti.

V dospělosti a stáří prochází zrak, stejně jako celé tělo, mnoha změnami, které jsou fyziologické a čekají každého, kdo se vysokého věku dožije. Jejich základní přehled je uveden v této práci, protože zrak je pro řidiče nejpoužívanějším smyslem a jeho možné změny mají významný vliv na řízení motorového vozidla. Zároveň zákon nenařizuje řidičům amatérům žádnou zdravotní prohlídku od nabytí řidičského průkazu až do 65 let (viz kapitola 5). O případných negativních změnách ve zrakovém systému, které přicházejí pozvolna, ať již fyziologických nebo patologických, nemusí řidič vůbec vědět, neboť je ve většině případech začne s lékařem řešit, až když mu do života přinesou výrazné obtěžující omezení, a to již z hlediska bezpečného řízení může být pozdě.

2.7.1 Změny zrakové ostrosti a kontrastní citlivosti

Změny zrakové ostrosti v dospělém věku jsou způsobeny jednak stárnutím očních struktur a jednak vývojem refrakční vady. Anton [2] hovoří o dvou hypermetropických (předškolní věk, dospělost) a o dvou myopických fázích (školní věk, stáří). Astigmatismus podle pravidla se může měnit na astigmatismus proti pravidlu.

Patologické změny zrakové ostrosti bývají způsobeny očním onemocněním nebo úrazem, celkovým onemocněním nebo farmaky, hlavně antidepresivy a kortikosteroidy. Jako příklad celkových onemocnění uveďme diabetes mellitus, kdy jsou změny refrakce způsobeny výkyvy hladiny cukru v krvi a s tím souvisejícího obsahu vody v čočce. [2]

Dá se také říct, že s věkem klesá zraková ostrost obecně, tedy maximální vízus, kterého je možné dosáhnout nejlepší korekcí. Hlavními důvody je úzká zornice, která je u starších lidí častá, zakalování čočky a stárnutí sítnice, nervových vláken a mozku. [23]

Výrazněji než zraková ostrost při vysokém kontrastu znaků a pozadí klesá s věkem zraková ostrost při sníženém kontrastu, jinak řečeno kontrastní citlivost, a to hlavně pro vysoké prostorové frekvence. Proč tomu tak je, zjišťoval Owsley [24] ve svém experimentu, kdy měřil křivku kontrastní citlivosti u osob ve věku 20 let za přirozených podmínek a s předřazeným filtrem, který snižoval průchod světla na sítnici asi na jednu třetinu. Ten měl simulovat užší zornici a zakalenou čočku starších osob. Zjistil sice pokles kontrastní citlivosti při testování s filtrem, ale ne tak výrazný, jak by odpovídalo kontrastní citlivosti starších figurantů. Usoudil proto, že snížená kontrastní citlivost u starších jedinců je způsobena nejen optickými překážkami, ale hlavně změnami v nervové tkáni.

2.7.2 Změny zorného pole

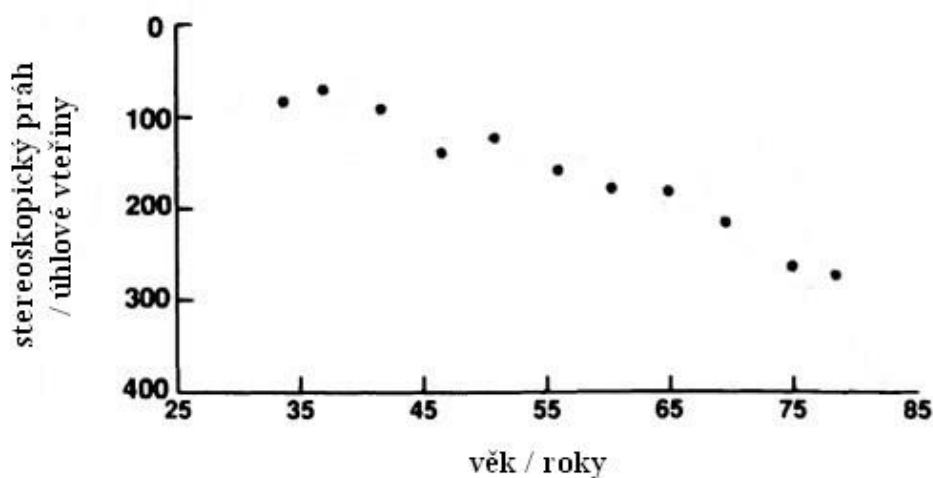
Vyšší věk s sebou přináší také zužování zorného pole. Hlavním důvodem je úbytek orbitálního tuku a následné zasunutí oka do očníce. Dále je zorné pole mechanicky omezeno poklesem horního víčka a překrytím části zornice. Sítnice starších lidí ztrácí svoji citlivost. Citlivosti ubývá rychleji v periférii než v centru, což způsobuje horší orientaci osob v prostoru. [23]

Oproti mladým lidem se u těch starších výrazně zužuje funkční zorné pole, jež je zmíněno v kapitole 3.

2.7.3 Změny v binokulárním vidění

Se stářím se může objevit mírná ztráta schopnosti konvergence. U presbyopických pacientů může dojít k výskytu heteroforií způsobených právě presbyopií. Grosvenor [25] mluví o esoforii do blízka při pohledu bez korekce, která vzniká kvůli vysokému akomodačnímu úsilí a tím způsobené akomodační konvergenci. Dále zmiňuje exoforii do blízka, která se projeví naopak při nošení korekce z důvodu plného nahrazení akomodace brýlemi, a tím pádem absencí akomodační složky konvergence. Schieber [19] uvádí sníženou rychlost sakadických pohybů a postupné selhání sledování objektů, pokud se jejich rychlost zvyšuje.

S narůstajícím věkem také dochází k poklesu stereopse, jak ukazuje obrázek 6. Za hlavní příčiny tohoto poklesu se považují změny v nervovém systému, ale také změny v kontrastní citlivosti a její rozdíl mezi očima, který může být způsoben například monokulární kataraktou. [23, 26]



Obr. 6 Pokles stereopse v závislosti na věku. Podle [26]

2.7.4 Změny v barvocitu

Schopnost rozeznávat barvy se rozvíjí v mládí a přibližně kolem 25. roku života kvalita barvocitu začíná mírně klesat. Hlavním důvodem je fyziologické stárnutí čočky, jejíž postupné zakalování, spolu se stařeckou miózou, brání dostatečnému průchodu světla na sítnici k čípkům, které mají údaje o barvě zpracovat. Čočka s postupujícím věkem také pohlcuje ve větší míře krátkovlnnou (modrou) část spektra, a je tedy

poškozené vidění v oblasti modré a žluté barvy. Tyto potíže způsobené kalením čočky by měly zmizet po operaci katarakty, kdy je do oka aplikována čirá čočka, která již těmto změnám nepodléhá. Dalším důvodem pomalu se zhoršujícího barvocitu je ubývání čípků a gangliových buněk. [23]

2.7.5 Změny ve schopnosti adaptace

Starší řidiči si často stěžují na nepříjemné pocity při řízení vozidla při změně světelných podmínek (např. vjezd a výjezd z tunelu). Jsou také méně odolní vůči oslnění při jízdě za tmy.

Rumsey [27] se ve své studii měřil zrakové funkce potřebné pro řízení a zároveň se figurantů ptal na jejich subjektivní pocity při řízení. Z nejstarších figurantů (58–87 let) si 45 % stěžovalo na sníženou schopnost řídit a 49 % z nich uvádělo problémy s oslněním, což lze jistě připsat snížené schopnosti adaptace na světlo. U skupiny 40–60 let sníženou schopnost řídit udávalo 25 % figurantů, problémy při oslnění dokonce 30 %.

Gaffney [28] měřil rychlost adaptace čípků na tmou po osvětlení sítnice jasným světlem u skupiny zdravých osob ve věku 20–83 let a prokázal, že doba adaptace na tmou se s věkem prodlužuje. Curcio [29] zjistil, že i když v deváté dekádě života v parafoveální oblasti neubývá čípků, ubývá o 30 % tyčinek, čímž je možné vysvětlit zhoršené vidění za špatných světelných podmínek, za oslnění a při řízení v noci.

3 ŘÍZENÍ Z HLEDISKA DALŠÍCH SMYSLŮ A PSYCHOLOGIE

Řízení motorového vozidla je komplexní činnost, při níž hraje důležitou roli jak zdravotní stav řidiče, tak jeho psychické rozpoložení a schopnosti. Nejen výborný zrak, ale i ostatní smysly, dovednost ovládat automobil, schopnost všimnout si všech důležitých podnětů a správně na ně reagovat, to by měla být charakteristika každého řidiče. Následující kapitola bude věnována právě jiným aspektům řízení než zraku a bude popsán jejich význam pro včasné rozpoznání všech důležitých signálů a podnětů a z toho plynoucí bezpečnost silničního provozu.

3.1 Ostatní smysly při řízení

Jak již bylo řečeno v úvodu práce, i ostatní smysly se podílejí na bezpečném pohybu motorového vozidla po silnici. Rozhodně se však jejich důležitost nemůže důležitosti zraku nikdy vyrovnat.

Sluch je velmi významným pomocníkem například na železničních přejezdech, nebo pokud se mimo řidičův výhled nachází zvonící tramvaj, cyklista či dokonce houkající sanitka nebo jiné vozidlo se zvláštním výstražným znamením. Řidič často sanitku dříve slyší, než vidí a má tedy k dispozici delší čas k rozhodnutí a adekvátní reakci.

Případné poruchy na vozidle jsou také většinou nejprve odhaleny sluchem, popřípadě čichem. Například nadměrné hučení větru může řidiči napovědět, že jsou nedovřené dveře. Neobvyklé zvuky při řazení, tukaní v motoru, kvílení pneumatik či jiné neznámé projevy auta jsou často signály k jeho prohlídce a mohou předejít vzniku náhlých a nebezpečných situací přímo na vozovce. Štikar [30] však říká, že osoby s poruchami sluchu nemusejí být horšími řidiči, naopak se řadí mezi řidiče nejvíce ukázněné. Jsou totiž zvyklí nedostatky sluchu kompenzovat jinak – častým pohledem do zrcátek, opatrnějším vjezdem do křižovatky, pozorným sledováním chování okolních řidičů a okamžitou reakcí na případně rozsvícené kontrolky na palubní desce.

Také čich by měl vnímavému řidiči pomoci závadu rozpoznat včas. Při podezřelém zápachu by nikdy neměl odkládat zastavení a prohlídku vozu, zvláště motoru a pneumatik.

Při základních činnostech řidiče má význam také hmat. Citlivé ovládání volantu je závislé na správné funkci receptorů v rukách, přiměřené a synchronizované sešlapování pedálů zase ovlivňují receptory v nohách. Správně usazený a bezpečnostním pásem připoutaný řidič také díky kontaktu se sedadlem vnímá pohyb auta v zatáčce a smyku, tlak do opěradla mu pomáhá správně vnímat rychlost auta, jeho zrychlení a brždění. [30, 31]

3.2 Pozornost

Pozornost řidiče je klíčovým faktorem pro bezpečný pohyb v silničním provozu. Článek [32] uvádí, že čtvrtina nehod ve Spojených státech amerických je způsobena nepozorností řidiče či jeho vyrušením. Jedná se o kognitivní funkci, která umožňuje vybírat pouze podněty v danou chvíli důležité a ty ostatní ignorovat. Pozornost je omezená a v případě více situací vyžadujících současné sledování je mezi ně rozdělena. Existuje mnoho vedlejších situací, činností nebo objektů, které žádají řidičovo soustředění a odvádějí tak pozornost od těch primárních a důležitých.

Situace, které řidiče vyrušují a kladou nárok na jeho pozornost, se odehrávají jak uvnitř vozu, tak mimo něj. Mezi ty vnější můžeme zařadit např. různé druhy outdoorové reklamy, sledování projíždějících aut, hledání správné odbočky, zajímavou pamětihodnost. Z vnitřních situací a činností, kterým se řidič věnuje, jmenujme telefonní hovory, sledování GPS navigace, poslech či ladění autorádia, hovor se spolujezdcí, jídlo a pití či kouření.

Na druhou stranu dlouhodobá absence nových podnětů, čili určitá monotonie prostředí, vede k omezení pozornosti, způsobuje ospalost, únavu a snížení reakčního času. Nejvíce hrozí v železniční dopravě a na dálnicích při malém provozu. Je prokázáno, že určité množství vizuálních či jiných podnětů pozitivně přispívá k bezpečné jízdě právě tím, že udržuje bdělost a pozornost v pohotovosti. Lauer [33] říká, že vhodné jsou objekty ležící v oblasti do 15° na obě strany od přímého pohledového směru, protože pohled na ně nevyžaduje výrazné otočení hlavy a nepůsobí velké odchýlení řidičovy pozornosti od silnice. Fixace takového objektu samozřejmě nesmí trvat příliš dlouho.

Vhodným řešením problému, že řidič je v dnešní době čím dál více rozptylován objekty a ději ve voze i mimo něj, by tedy nebylo úplné odstranění veškerých statických

předmětů, které se v blízkém okolí silnice nacházejí. Určitá míra těchto podnětů naopak k dobrému a bezpečnému řízení přímo pomáhá. Řidič by měl sledovat především dopravní situaci a signály umožňující bezpečný provoz. Neměl by se věnovat zbytečným činnostem ve vozidle, tj. jíst, kouřit, telefonovat či afektovaně hovořit se spolujezdcem. Vhodným udržovatelem pozornosti je krátkodobá fixace okolního prostředí (domy, hory na obzoru, protijedoucí vozidlo) a především dopravní značení, které by mělo být vždy dobře viditelné, stručné a výstižné, snadno a rychle rozpoznatelné a čitelné.

Vztah pozornosti a vnímání do jisté míry vyjadřuje funkční zorné pole (FZP). Hagerstrom-Portnoy [34] zkoumal na perimetru normální zorné pole, a pak v kombinaci s pozorností. Ve středu se nacházela červená fixační dioda, okolo ní byly zelené diody testující ZP. Červená dioda se během testování občas rychle vypnula a zapnula a pacient měl v duchu počítat, kolikrát se to stalo. Ukázalo se, že starší lidé mají výrazně zúžené zorné pole, pokud je jejich pozornost upřena jinam nebo na jiný, primární úkol (na počítání bliknutí). Dá se říct, že 25 % starších lidí z testovací skupiny nemělo periferní FZP.

FZP se stává předmětem současného zkoumání odborníků v oblasti optometrie, neboť je dobrým ukazatelem schopnosti řídit a všimnout si všech důležitých předmětů v zorném poli a reagovat na ně, a to i při vyšších nárocích na pozornost. [33, 34, 36]

3.3 Rozhodování

Rozhodování řidiče v různých dopravních situacích vychází z informací, které má řidič k dispozici, a ze schopnosti tyto informace selektovat a na jejich základě jednat. Schopnost rozhodování je ovlivněna zkušenostmi řidiče, jeho věkem, minulými rozhodováními, volbami a jejich výsledky. Řidičovo rozhodování lze popsat také jako konflikt dvou tendencí: dosáhnout cíle (a to jak cíle cesty, tak třeba cíl uspokojení nějaké potřeby, např. seberealizace, soupeření) a dosáhnout bezpečnosti. Řidič musí mezi těmito faktory volit, nebo spíše vybrat správný kompromis, například v situaci, kdy se rozhoduje, zda stihne projet křižovatkou dříve, než se přiblíží auto, kterému má dát přednost. Buď zastaví a bude preferovat bezpečnost, i když se mírně zdrží, anebo křižovatkou rychle projede, protože spěchá, a bude brát v potaz i tu možnost, že dojde ke srážce. Tyto faktory souvisí s ochotou riskovat, která se liší u jednotlivých řidičů,

protože zde hrají roli osobnostní rysy člověka, ale může se měnit i u jednoho řidiče v závislosti na věku, zkušenostech, stresu, spěchu, únavě a motivaci.

Rozhodování je ovlivněno zachycením podnětů, které řidiči naznačují, že je třeba se nějak zachovat, něco respektovat či provést akci zabraňující nehodě. Takovým podnětem může být dopravní značka, chodec či jiné auto. Informací, které jsou řidiči v dané chvíli k dispozici, je ale většinou příliš mnoho. Jeho úkolem je vybrat ty stěžejní a na základě nich se rozhodnout. S narůstajícími zkušenostmi roste i schopnost vnímat správné informace důležité pro rozhodnutí v daný okamžik. Řidič však musí často jednat pod velkým časovým tlakem, který správný výběr informací i samotné rozhodování znesnadňuje.

Zajímavým jevem je doba potřebná k rozhodnutí. S rostoucí obtížností situace roste také čas, ve kterém se řidič rozhoduje. Rozhodování pro správnou variantu trvá kratší dobu, zatímco špatná volba trvá obvykle déle, a také se řidič rozhodne rychleji pro možnost, kterou již dříve vícekrát volil. Dále řidič provede rychleji rozhodnutí, u kterého si je jistější, že je správné, naopak déle mu bude proces trvat, pokud o své volbě pochybuje. [30]

Také BESIP [37] uvádí, že je nutné brát ohled na organizaci dopravních značek a organizaci informací na nich umístěných s ohledem na rychlost a dráhu řidiče za účelem kvalitního procesu rozhodování. Značení by nemělo vytvářet zbytečné nároky na řidiče a na jeho paměť, mělo by mu umožnit vyřadit informace pro danou chvíli nepotřebné a soustředit se na řízení vozidla.

3.4 Reakce

Intuitivně člověka napadá, že rychlé reakce jsou nutné pro odvrácení mnoha hrozících dopravních nehod. O výsledku situace rozhodují setiny vteřiny, zvláště ve vysokých rychlostech, kdy automobil urazí za velmi krátký časový okamžik velkou vzdálenost a mnoho věcí se může změnit a stát během chvíle.

Reakční čas je doba, která uplyne od registrace podnětu řidičem po začátek jeho reakce. Její hodnotu nelze obecně určit, závisí totiž na mnoha faktorech. Jako norma se uvádí 1 sekunda, ale bývá kratší (asi 0,7 s), pokud řidič danou situaci či signál očekává, nebo naopak delší, pokud jsou na řidičovu pozornost kladeny velké nároky

a on ji musí dělit mezi více objektů či akcí – pak se může reakční čas vyšplhat až téměř na 1,6 s.

Reakční čas tedy ovlivňuje stupeň pozornosti, kterou řidič jízdě věnuje. Dalším faktorem je také to, zda situace vyžaduje nestandardní reakci, nebo se jedná o reakci naučenou a často používanou. Rychlost reakce taky ovlivňuje únava, alkohol, používání mobilních telefonů, připravenost pro danou reakci, nebo třeba i denní doba či počasí. [30, 36, 38, 39]

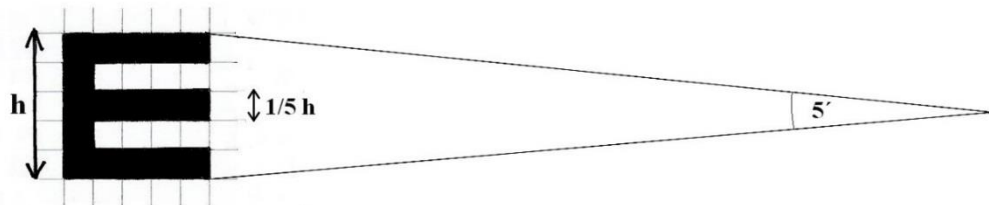
4 MĚŘENÍ VÍZU

Měření vízu patří mezi základní a první vyšetření, které pacient při návštěvě oftalmologa či optometristy podstoupí. Vízus je totiž rychlým a do jisté míry spolehlivým ukazatelem pacientova vidění, tedy alespoň jedné jeho kvality – ostrosti vidění a schopnosti rozlišit detaily. V praxi se k měření vízu používají optotypy. Jedná se o soubor znaků, které jsou vyšetřovanému prezentovány a jeho úkolem je je přečíst či pojmenovat. Vychází se z předpokladu, že znak je správně přečten, pokud je okem rozlišen jeho detail; oko tedy tento detail vidí pod úhlem MAR, nebo větším. Proto se vízus určuje podle nejmenšího znaku, který pacient přečetl, neboli jehož detail byl schopen rozlišit.

Vízus by měl být měřen za přirozených denních světelných podmínek. Zraková ostrost totiž závisí na barvě světla, na intenzitě osvětlení – stabilní zrakovou ostrost pozorujeme v rozmezí 100 až 1000 lx. Při snižování hodnoty pod 100 lx vízus klesá a při přesáhnutí 1000 lx je vidění zhoršeno vlivem oslnění. Dalším významným faktorem ovlivňujícím vízus je crowding efekt, který je blíže popsán v kapitole 4.3. [2, 3]

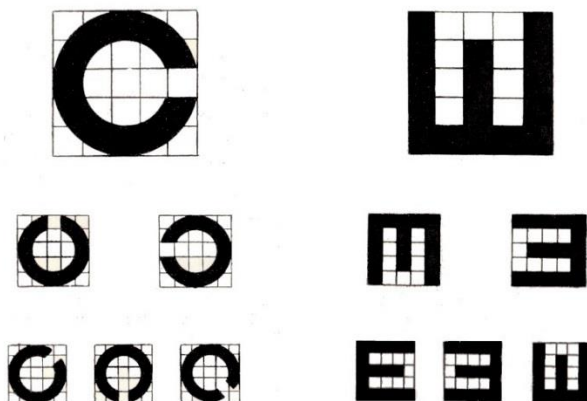
4.1 Konstrukce optotypů

Již v 17. století se používal test, kterým se zraková ostrost dala měřit. Jednalo se o mřížku, tedy střídající se černé a bílé pruhy, a vyšetřovaný se od tabule vzdaloval tak dlouho, dokud mohl pruhy ještě rozlišit. Z úhlové velikosti šířky proužků se pak vypočítal MAR. O dvě století později, v roce 1862, navrhl Herman Snellen první optotypovou tabuli. Ačkoli se některé parametry jeho původní tabule později ukázaly jako nevhodné, je Snellen považován za velkého průkopníka vyšetřování vízu a optotypových tabulí. Obrázek 7 ukazuje základ klasické konstrukce optotypového znaku, který Snellen navrhl a používá se dodnes. Spočívá v tom, že detail znaku je roven $1/5$ jeho celkové výšky. Výška je nastavena tak, aby byl detail z dané vyšetřovací vzdálenosti viděn pod úhlem $1'$ a celý znak pak pod úhlem $5'$.



Obr. 7 Základní konstrukce optotypového znaku. Podle [1]

Na dnešních optotypech se nejčastěji vyskytují písmena, například Sloan letters či British letters, ale může se jednat i o čísla či obrázky pro děti. Pacient má za úkol znaky rozlišit a pojmenovat. Dále jsou běžné Landoltovy prstence nebo Pflügerovy háky (obrázek 8). Při použití Landoltových prstenců má pacient určit polohu chybějící části písmena „C“ (8 možných odpovědí), u Pflügerových háků polohu „nožiček“ písmena „E“ (4 možné odpovědi).



Obr. 8 Landoltovy prstence a Pflügerovy háky. [1]

Sloan letters (obr. 9), optotypové znaky, které budou využity v praktické části této práce, navrhla v roce 1959 Dr. Louise Sloan. Tato sada znaků používá jen 10 písmen abecedy (C, D, H, K, N, O, S, R, V a Z), která byla vybrána tak, aby jejich čitelnost byla pro všechny z nich přibližně stejná. Písmena jsou bezpatková a mají rozměry 5 x 5. Sloan letters bývají využívány pro studie, jsou totiž považovány za zlatý standart optotypů, k němuž lze čitelnosti odlišných znaků vztahovat.



Obr. 9 Optotyp se znaky Sloan letters. [18]

Mezi jednotlivými optotypy se může lišit progresse velikosti řádků. Jako nejpraktičtější řazení řádků a velikostí jejich znaků se ukázala tzv. logaritmická řada. Velikost vízu se zde mění geometrickou posloupností. Vychází z Weber-Fechnerova zákona, který neplatí jen pro vizuální vnímání, ale i pro ostatní smysly. Říká, že pokud se podnět zesiluje geometrickou posloupností, počitek sílí mnohem pomaleji, aritmetickou posloupností. Hodnoty vízu tedy na optotypu narůstají tak, že se hodnota vynásobí konstantou $\sqrt[10]{10}$, což je asi 1,2589. Taková posloupnost je ukázána v tabulce 1 v kapitole 4.4.

Při měření vízu do dálky se vyšetřuje na vzdálenost 6 m, to proto, že akomodace je při pohledu do této vzdálenosti prakticky vyřazena. Této vzdálenosti může být dosaženo i pomocí zrcadla, pokud má vyšetřovaný optotyp nad hlavou nebo vedle sebe. Takový optotyp musí ale být vytištěn nebo promítán zrcadlově obráceně, aby ho vyšetřovaný viděl přes zrcadlo správně. Tohoto rozestavení se používá hlavně v menších místnostech nebo tam, kde je potřeba, aby vyšetřující byl blízko optotypu a zároveň i vyšetřujícímu. V experimentu provedeném v rámci této práce bylo též použito zrcadlo, rozestavení stanoviště je podrobně popsáno v praktické části (kapitola 7). Na blízko je pak běžná vyšetřovací vzdálenost 40 cm. [3, 18, 40]

4.2 Typy optotypů

Základním a nejstarším typem je optotyp tištěný. Bývá na papírovém nebo plastovém podkladě a může být vybaven i vnitřním osvětlením pro zlepšení viditelnosti znaků. Nevýhodou takových optotypů je pevně daná sada znaků, pacient si je tedy může zapamatovat, což může zvláště při delším vyšetřování přinášet falešné výsledky. Tištěné optotypy jsou konstruovány na určitou vyšetřovací vzdálenost, a tu je potřeba dodržet. Pokud je nutné ji změnit, nelze se řídit vizem daného řádku, ale je potřeba výsledný vizus přepočítat. Velice podobně jsou na tom projekční optotypy. Zde je třeba hlídat, aby vzdálenost projektoru a vyšetřovaného od místa, kam se optotypy promítají, byla stejná. V dnešní době nejpoužívanějším optotypem je LCD monitor. Přináší mnoho výhod, protože znaky jsou náhodně generovány a nedochází tak k zapamatování daného řádku. Je možné snadno měnit vyšetřovací vzdálenost, crowding, kontrast znaků nebo nastavit čas prezentace znaku. Limitací naopak může být velikost monitoru při prezentaci velkých znaků (k tomuto omezení došlo také při našem experimentu), nebo rozlišení obrazovky při prezentaci velmi malých znaků. [1, 18]

4.3 Crowding efekt

Crowding znamená v angličtině shlukování, namačkání. Jedná se o skutečnost, že znak na optotypu se čte hůře, pokud je obklopen jinými znaky - distraktory. Naopak v případě, že jsou ostatní znaky od čteného dostatečně vzdáleny nebo se v jeho okolí vůbec nevyskytují, znak se čte výrazně lépe. Šířka prostoru, kterou by kolem sebe ze všech čtyř stran měl mít optotypový znak, aby nebyl figurant při jeho čtení okolními znaky rušen, se nazývá spacing nebo separace. Nejlepšího rozlišení znaku bude dosaženo, pokud vzdálenost mezi znaky bude větší nebo rovna šířce znaku, a pokud vzdálenost řádků mezi sebou bude větší nebo rovna výšce znaku. Na tyto zásady je třeba dbát při konstrukci optotypu.

Flom [41] v roce 1963 provedl experiment, kde zkoumal vliv čar obklopujících Landoltovy prstence, a viděl, že rozlišitelnost znaků je těmito čarami ovlivněna. Mluvil o tzv. konturové interakci, která má souvislost s velikostí receptivních polí. Crowding efekt je obecnější termín a zahrnuje jak konturovou interakci, tak vliv očních pohybů a pozornosti. [3, 18, 42]

4.4 Zápis vízu

Vízus, definovaný jako poměr referenční hodnoty MAR (1') a hodnoty MAR vyšetřovaného oka, lze též pro praktické měření vyjádřit jako poměr dvou vzdáleností. První je ta, ze které daný optotypový znak správně přečte vyšetřovaný člověk, tedy tzv. vyšetřovací vzdálenost. Tou druhou je vzdálenost, ze které daný znak přečte člověk s rozlišovací schopností 1' (jedná se o tzv. číslo řádku; bývá zvláště u starších optotypů uvedena na kraji každého řádku). Obě vzdálenosti se udávají v metrech. Vízus pak lze určit jako zlomek

$$V = \frac{\text{vyšetřovací vzdálenost}}{\text{číslo řádku}} = \frac{1'}{\text{MAR}}$$

Prostým zjednodušením zlomku na desetinné číslo získáme vízus v decimálním zápisu. Například vízus 6/15 znamená, že pacient byl vyšetřován na vzdálenost 6 m a přečetl řádek č. 15 (zdravý člověk by ho přečetl z 15 metrů). Hodnota vízu stejného pacienta se dá zapsat také jako 0,4 (výsledek počtu 6 : 15 = 0,4), avšak neříká nic o vyšetřovací vzdálenosti, což je bezesporu nevýhoda decimálního zápisu.

Zápis vízu zlomkem používají hlavně oční lékaři, téměř výhradně se vyskytuje na jejich zprávách. Naopak zápis desetinným číslem je častý v praxi optometristy. Posloupnost vízu v decimálním zápisu, zápisu zlomkem, vyjádření v logMAR a příslušný MAR ukazuje následující tabulka 1.

	Decimální zápis	MAR	log MAR	Zápis zlomkem
V ₁	0,16	6,25'	0,8	6/38
V ₂	V ₁ * 1,2589 = 0,2	5'	0,7	6/30
V ₃	V ₂ * 1,2589 = 0,25	4'	0,6	6/24
V ₄	V ₃ * 1,2589 = 0,32	3,3'	0,5	6/19
V ₅	V ₄ * 1,2589 = 0,4	2,5'	0,4	6/15
V ₆	V ₅ * 1,2589 = 0,5	2'	0,3	6/12
V ₇	V ₆ * 1,2589 = 0,63	1,6'	0,2	6/9,5
V ₈	V ₇ * 1,2589 = 0,8	1,25'	0,1	6/7,5
V ₉	V ₈ * 1,2589 = 1	1'	0	6/6
V ₁₀	V ₉ * 1,2589 = 1,25	0,8'	-0,1	6/4,8

Tab. 1 Posloupnost vízu podle logaritmické řady v různých možnostech zápisu.

Vysvětlení vyžadují také tyto používané zápisy vízu:

- V_{SC} ... vízus bez korekce (sine correction), také naturální - V_N
- V_{CC} ... vízus s korekcí (cum correction)
- $V = 60$ cm/prsty ... vidí počet ukazovaných prstů na vzdálenost 60 cm
- Světlocit s projekcí ... rozpozná světlo a tmou, rozpozná směry, odkud světlo přichází
- Světlocit bez projekce ... rozpozná světlo a tmou, ale neví, odkud světlo přichází
- Bez světlocitu ... pacient nevnímá ani přímé posvícení do oka

Zkrácený zápis vízu není jednotný, liší se mezi jednotlivými pracovišti či zeměmi a bývá dán domluvou.

Dále rozlišujeme celořádkový a prahový vízus. Celořádkový vízus znamená, že řádek se považuje za přečtený, pokud vyšetřovaný správně přečte alespoň 60 % znaků. V případě pěti znaků na řádek jsou to alespoň 3 z 5, v případě dvou znaků na řádek je uznán, pouze pokud přečte oba dva znaky. V záznamu vízu je možné upřesnit, zda pacient přečetl řádek celý nebo jen několik znaků, tímto způsobem:

- $V = 1,25^{-2}$; pacient přečetl řádek odpovídající vízu 1,25 až na dva znaky
- $V = 1,0^{+2}$; pacient přečetl řádek odpovídající vízu 1,0 a ještě 2 znaky z dalšího řádku.

K měření prahového vízu je potřeba optotyp s logaritmičtým řazením řádků a stejný počet znaků na všech řádcích. Vízus je vyjádřen v logMAR. Předpokládejme, že velikost řádků se mění po kroku 0,1 logMAR a na každém řádku je 5 znaků. Pak je možné každému znaku přiřadit hodnotu $(0,1 \text{ logMAR})/5$, tedy 0,02 logMAR, a tu pak přičítat či odečítat následovně:

- Pacient přečte celý řádek logMAR = 0,2 a ještě dva znaky z menšího řádku (logMAR = 0,1). Prahový vízus takového pacienta bude $0,2 - 2 \cdot 0,02 = 0,16$.
 - Jiný pacient přečte správně 4 znaky na řádku logMAR = 0,5 a jen 2 znaky na řádku logMAR = 0,4. Prahový vízus vychází $0,5 + 1 \cdot 0,02 - 2 \cdot 0,02 = 0,48$.
- [3, 43, 44, 45]

5 POŽADAVKY NA ZRAK ŘIDIČŮ STANOVENÉ ZÁKONEM

V České republice je zdravotní způsobilost k řízení motorového vozidla popsána zákonem 361/2000 Sb. a vyhláškou 277/2004 Sb. Řidiči jsou rozděleni do dvou skupin:

- Do skupiny 1 patří žadatelé a držitelé řídičských oprávnění skupiny A, B a B + E a AM a podskupiny A1 a B1. Spadají sem tedy řidiči běžných osobních automobilů, motocyklů a souprav osobního automobilu a přívěsu.
- Skupina 2 zahrnuje řidiče, kteří řídí vozidlo v rámci pracovněprávního vztahu, řidiče, kteří při výkonu zvláštních povinností používají výstražné světlo modré barvy (záchranná služba, policie atd.), žadatele a držitele osvědčení učitele autoškoly a řidiče, pro které je řízení motorového vozidla předmětem samostatné výdělečné činnosti prováděné podle zvláštního právního předpisu. Patří sem také řidiči a žadatelé o řídičské oprávnění skupiny C, C + E, D, D + E a T a podskupiny C1, C1 + E, D1 a D1 + E, čímž se rozumí hlavně kamiony, autobusy a traktory.

K prohlídce posudkovým lékařem je povinen se dostavit každý žadatel o řídičské oprávnění. Intervaly dalších povinných prohlídek se liší pro skupinu 1 a 2. Skupinu 1, tedy řidiče „amatéry“, čeká další povinná prohlídka v 65 a 68 letech a poté každé dva roky. (Dříve byly tyto hranice 60, 65 a 68 let, ale novelou č. 101/2013 Sb. byly upraveny.) Tyto osoby jsou povinny s sebou při jízdě vozit lékařský doklad o zdravotní způsobilosti a při kontrole ho na vyžádání ukázat. Řidiči skupiny 2, tedy řidiči „z povolání“, podstoupí povinnou prohlídku před zahájením výkonu činnosti a poté každé dva roky do dovršení 50 let. Po 50. roce života musí chodit na prohlídky každým rokem.

Prohlídky je oprávněn provádět posudkový lékař, což může být registrující lékař posuzované osoby (tedy obvodní nebo dětský lékař) nebo lékař poskytovatele pracovnělékařských služeb, tedy „závodní lékař“. V případě, že pacient není nikde registrovaný a nemá ani „závodního lékaře“, může posudek provést jakýkoli všeobecný nebo dětský lékař.

Posudek je proveden na základě několika informací. Tou hlavní je samotné zhodnocení zdravotního stavu žadatele. Ten musí přinést prohlášení o svém zdravotním stavu, jehož vzor je uveden v příloze č. 1 vyhlášky č. 277/2004 Sb. Lékař dále používá

dřívější záznamy ve zdravotnické dokumentaci řidiče, může si vyžádat informace od registrujícího lékaře, nebo si vyžádat odborné vyšetření odborným lékařem (například oftalmologem) nebo klinickým psychologem.

Závěrem takové prohlídky je tvrzení, že žadatel o řidičské oprávnění nebo jeho držitel je zdravotně způsobilý k řízení motorového vozidla, zdravotně způsobilý s podmínkou nebo zdravotně nezpůsobilý. Zmíněnou podmínkou ke zdravotní způsobilosti může být používání nutného zdravotnického prostředku (například brýlí, kontaktních čoček), technická úprava vozidla, popř. jiná omezení posuzované osoby, nebo také termín příští povinné prohlídky.

Vyhláška dělí poruchy zraku do dvou kategorií: na ty, které brání řízení úplně, člověk s nimi není způsobilý k řízení vozidla, a nedostane tedy řidičské oprávnění, a na ty, které nejsou tak závažné, aby vylučovaly schopnost řídit, ale je třeba, aby jejich vážnost blíže prozkoumal odborný lékař, v tomto případě oftalmolog. Posudkový lékař na základě spolupráce s oftalmologem a jeho odborného vyšetření rozhodne, zda je pacient způsobilý k řízení motorového vozidla, či nikoli.

- Mezi nemoci, vady a stavy zraku, které vylučují způsobilost k řízení vozidel skupiny 1, patří zejména binokulární zraková ostrost s korekcí za použití obou očí menší než 0,5. V případě používání pouze jednoho oka (například při funkční ztrátě druhého) je řízení zakázáno úplně po dobu šesti měsíců, poté je nutná zraková ostrost minimálně 0,5 s korekcí na funkčním oku. Další překážkou je nesnášenlivost korekčních pomůcek v případě, že jsou pro řízení nutné. Mezi nepřipustné stavy vyhláška zahrnuje také omezení zorného pole. Horizontální rozsah obou očí musí být minimálně 120°, monokulární rozsah nesmí být na levou a pravou stranu menší než 50°, vertikální rozsah nahoru a dolů musí být minimálně 20°. Vyhláška také vylučuje řízení se změnami v centrálním zorném poli (do 20°).

Požadavky na zrakový systém v souvislosti s řízením jsou pro **skupinu 2** přísnější. Zahrnují všechny požadavky pro skupinu 1 a ještě některé navíc. Překážkou k řízení pro skupinu 2 je zraková ostrost s korekcí na lepším oku menší než 0,8 a na horším oku menší než 0,1 za použití obou očí. Problémovou se stává také situace, kdy je výše uvedené zrakové ostrosti dosaženo brýlovou korekcí

silnější než +8 D. Horizontální zorné pole obou očí musí být minimálně 160°, vertikální alespoň 30° nahoru a dolů. Nepřípustné jsou změny v centrálním zorném poli do 30°, diplopie a závažné poruchy kontrastní citlivosti.

- Mezi nemoci, stavy a vady zraku vyžadující odborné posouzení lékaře patří pro skupinu 1 změna rozsahu zorného pole, závažné poruchy barvocitu v oblasti základních barev (nejčastěji se kontroluje vnímání signálních barev, tedy červené a zelené) a poruchy vidění za šera, přičemž lehké formy se promíjejí. Další indikací k prohlídce oftalmologem je binokulární vízus s korekcí menší než 0,7, zraková ostrost menší než 1,0 na vidoucím oku při používání pouze jednoho oka a tento stav přetrvává déle než půl roku, a jakékoli nemoci oka a jeho struktur, které by omezily zrakovou ostrost nebo zorné pole do míry, která byla zmíněna.

Pro **skupinu 2** do této kategorie proti skupině 1 patří ještě navíc závažné poruchy barvocitu, poruchy prostorového vidění a poškozené vidění za šera. [22, 46, 47]

6 TECHNICKÉ PARAMETRY DOPRAVNÍCH ZNAČEK A POUŽÍVANÉHO PÍSMÁ

Čitelnost slov na dopravním značení je přímo ovlivněna jeho technickou stránkou. Je potřeba, aby bylo značení navrženo funkčně a účelně, tedy aby sloužilo k bezpečnosti a plynulosti silničního provozu. Následující kapitola uvádí několik informací o tom, jakými prostředky je toho dosahováno na českých silnicích.

6.1 Základní technické údaje dopravních značek

Svislé dopravní značení se dělí na několik skupin: značky výstražné, upravující přednost, zákazové, příkazové, značky informativní (dále dělené na provozní, směrové, jiné) a dodatkové tabulky. Pro experiment provedený v rámci této diplomové práce byly využity předpisy pro značky informativní směrové.

Nejčastěji se na silnicích používají reflexní a prosvětlené značky. Reflexní značky jsou takové, které mají na povrchu retroreflexní materiál, jehož vlastnosti popisuje norma ČSN EN 12899-1. Díky němu je dosaženo lepší viditelnosti značky a zvýraznění oproti jejímu okolí. Ve zvlášť důležitých případech bývá viditelnost značky dále podpořena vnějším světelným zdrojem, ale nesmí dojít k oslnění řidiče. Prosvětlená značka je značka, často také s retroreflexním povrchem, opatřená vnitřním světelným zdrojem. Nepříliš často se používají značky nereflexní, které nemají na povrchu retroreflexní materiál a výjimečně může být jejich povrch vytvořen z nátěrové hmoty.

Základní velikost značek se používá hlavně na silnicích I. a II. třídy, zvětšená velikost na dálnicích, místních komunikacích I. třídy a na dalších dopravně významných místech. Zmenšená velikost se pak může použít na dopravně méně významných silnicích III. třídy. Ve zmenšené variantě ale nikdy nesmí být na žádné komunikaci umístěny značky „Dej přednost v jízdě!“, „Stůj, dej přednost v jízdě!“ a „Dej přednost v jízdě tramvaji!“. Pro každý tvar značky (kruh, obdélník, čtverec, atd.) udává VL 6.1 přesné rozměry pro základní, zmenšenou i zvětšenou velikost. [37]

6.2 Zásady užití dopravních značek

Dopravní značení musí mít ucelený systém organizace. Je používáno jen v nezbytně nutném rozsahu, velké množství značek by totiž vytvořilo jednotvárné prostředí, kde by příslušná značka neměla svůj podstatný význam a byla by jen „jedna z mnoha“. Zároveň musí být dopravní značení jednoznačné, výstižné, snadno pochopitelné, aby byl zajištěn bezpečný a plynulý provoz. Důležitá je taky viditelnost značek. Pro každého řidiče by značka měla být viditelná ze vzdálenosti 50 m v obci a 100 m mimo obec. Nesmí být přitom překrývána větvemi, reklamními zařízeními atd. Pokud hrozí, že by mohla značka splynout s okolím, je možné ji vhodně zvýraznit či umístit ještě nad vozovku nebo na její levý okraj.

Správnou čitelnost a viditelnost značek zajišťuje také kvalitní údržba. Ta je má čistit, udržovat a zajišťovat, aby se vlivem počasí neposunuly, nevyvrátily, neotočily nebo aby se nijak neovlivnila jejich čitelnost a viditelnost.

6.3 Umístění dopravního značení

Svislé dopravní značky bývají umístěny nejčastěji při pravém okraji vozovky nebo nad ní, výjimečně po obou stranách. U většiny značek musí být levá hranice od zpevněné krajnice vzdálena minimálně 50 cm a maximálně 200 cm; výjimečně je možné v obci usadit značku 30 cm od krajnice. Spodní okraj značky musí být minimálně 120 cm nad úrovní vozovky, na mostech alespoň 200 cm. Informativní značky se umísťují s přihlédnutím k jejich významu, neboť jejich obsah je velmi různorodý. Aby bylo podpořeno zrakové vnímání a zpracování všech značek, je třeba hlídat i rozestupy mezi nimi. Na dálnici musí být od sebe jednotlivé značky vzdáleny alespoň 100 m, na silnicích 30 m a výjimečně v obcích nebo na nevýznamných komunikacích 10 m. Na jednom sloupku přitom nesmí být více než dvě značky (bez dodatkových tabulek). Toto pravidlo však neplatí pro informativní směrové značky, kde může být na jednom sloupku uvedeno až 6 cílů. Doporučení však uvádí neudávat na jednom sloupku více než 10 informací, přičemž za informaci se považuje název cíle, číslo silnice, zbývající kilometry či symbol. Pro směrové tabule také platí, že nejvýše se dává tabule pro přímý směr, pod ní pro směr vlevo a nejnižší pro směr vpravo. Směrové tabule s jedním či více cíli se umísťují mimo obec ve vzdálenosti 30–200 m od křižovatky, v obci 10–100 m. [37]

6.4 Písmo DIN 1451

Písmo, které se v České republice používá na svislé dopravní značky, vychází z německé normy DIN 1451-2, vydané v roce 1986. Tato sada byla obohacena o znaky specifické pro český, slovenský a polský jazyk a některé další potřebné znaky. Dále byly upraveny mezery mezi jednotlivými znaky. Písmo je navrženo tak, aby bylo jednoduše čitelné z větší vzdálenosti, při mírném zašpinění, poškození nebo zakrytí vegetací.

Jedná se o písmo bezpatkové. Jeho základní výška je zvolena 112 mm a pro tuto výšku jsou také ve výkresu R90 uvedeny tabulky s mezerami mezi znaky (tabulka 2) a rozměry písmen (tabulka 3). Na informativních směrových značkách se však na silnicích nejčastěji volí výška 100 mm, na velkoplošných značkách, užívaných především na významnějších silnicích a dálnicích, bývá výška dvoj- až čtyřnásobná.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	R	S	T	U	V	Y	Z	
A	10	16	10	16	16	16	10	16	16	8	16	16	16	16	10	16	16	8	-6	10	-6	-6	12	A
B	10	22	16	22	22	22	16	22	22	10	22	22	22	22	16	22	22	14	8	18	8	8	16	B
C	8	20	16	20	20	20	16	20	20	8	20	20	20	20	16	20	20	14	6	18	6	6	14	C
D	10	22	18	22	22	22	18	22	22	22	10	22	22	22	18	22	22	14	8	20	8	8	14	D
E	12	22	16	22	22	22	16	22	22	12	22	22	22	22	16	22	22	16	12	20	12	12	18	E
F	0	16	12	16	16	16	12	16	16	-4	16	16	16	16	12	16	16	12	10	16	10	10	14	F
G	10	22	18	22	22	22	18	22	22	10	22	22	22	22	18	22	22	14	8	20	8	8	14	G
H	16	26	22	26	26	26	22	26	26	14	26	26	26	26	22	26	26	18	16	24	14	16	20	H
I	16	26	22	26	26	26	22	26	26	14	26	26	26	26	22	26	26	18	16	24	14	16	20	I
J	10	24	20	24	24	24	20	24	24	10	24	24	24	24	20	24	24	14	12	22	10	10	18	J
K	10	16	8	16	16	16	8	16	16	8	16	16	16	16	8	16	16	6	8	10	6	6	14	K
L	8	16	10	16	16	16	10	16	16	10	16	16	16	16	10	16	16	10	-4	10	-4	-4	14	L
M	16	26	22	26	26	26	22	26	26	14	26	26	26	26	22	26	26	18	16	24	14	16	20	M
N	16	26	22	26	26	26	22	26	26	14	26	26	26	26	22	26	26	18	16	24	14	16	20	N
O	10	22	18	22	22	22	18	22	22	10	22	22	22	22	18	22	22	14	8	20	8	8	14	O
P	-2	18	16	18	18	18	16	18	18	-6	18	18	18	18	16	18	18	12	8	18	8	8	14	P
R	10	20	12	20	20	20	12	20	20	8	20	20	20	20	12	20	20	10	4	14	4	4	12	R
S	8	20	16	20	20	20	16	20	20	8	20	20	20	20	16	20	20	14	8	18	8	8	14	S
T	-6	16	8	16	16	16	8	16	16	-4	16	16	16	16	8	16	16	6	10	12	8	8	14	T
U	10	24	20	24	24	24	20	24	24	10	24	24	24	24	20	24	24	14	12	22	10	10	18	U
V	-6	14	8	14	14	14	8	14	14	-4	14	14	14	14	8	14	14	4	8	10	8	8	12	V
Y	-6	16	8	16	16	16	8	16	16	-4	16	16	16	16	8	16	16	4	8	10	8	8	12	Y
Z	10	22	16	22	22	22	16	22	22	10	22	22	22	22	16	22	22	12	12	14	12	12	18	Z
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	R	S	T	U	V	Y	Z	

Tab. 2 Vzdálenost v mm mezi jednotlivými písmeny při výšce písma 112 mm. Ve sloupci je první písmeno z dvojice, v řádku pak druhé písmeno z dvojice. [49]

	šířka	výšky	nad účařím	pod účařím		šířka	výška	nad účařím	pod účařím
A	96	112			N	84	112		
B	78	112			O	80	114	113	1
C	79	114	113	1	P	78	112		
D	80	112			Q	91	116	113	3
E	72	112			R	82	112		
F	72	112			S	82	114	113	1
G	80	114			T	79	112		
H	80	112			U	80	113	113	1
I	17	112			V	88	112		
J	65	113	112	1	W	128	112		
K	88	112			X	88	112		
L	72	112			Y	84	112		
M	96	112			Z	72	112		

Tab. 3 Rozměry jednotlivých písmen. [49]

Písmo se dělí na písmo střední (Mittelschrift) a úzké (Engschrift). Jako základní se používá písmo střední, ale někdy se kvůli délce názvu obce a dodržení zásady, že se celý název musí nacházet na jednom řádku, přistoupí ke zúžení neboli kompresi středního písma. Jedná se o poměrné zkrácení délky celého názvu při zachování výšky názvu. Pokud není ani komprese 85 % dostatečná, použije se úzké písmo, které se již dále zkracovat nesmí. Možný krok komprese je 1 %, aby došlo jen k nejnútnejšímu zkrácení a využila se celá délka značky. Příklad komprese ukazuje obrázek 10. [48, 49]



Obr. 10 Kompresi středního písma a písmo úzké. [49]

7 PRAKTICKÁ ČÁST

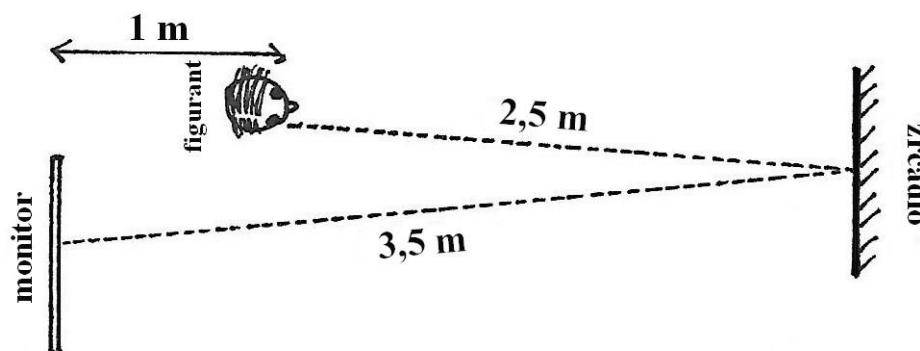
Cílem praktické části této práce bylo srovnání měření vízu při použití písma využívaného na dopravním značení DIN 1451 a při použití obvyklého logaritmického optotypu se sadou znaků Sloan letters, které se často vyskytuje na optotypech pro vyšetřování zrakové ostrosti včetně vyšetření zraku řidičů. Vzhledem k tomu, že v praxi nejsou rozlišována jednotlivá písmena samostatně, ale v rámci celých slov, bylo do experimentu zahrnuto také hodnocení vízu pomocí názvů obcí České republiky a korelace výsledků s hodnotami získanými pomocí Sloan letters. Na rozdíl od jednotlivých znaků může být totiž čitelnost nápisu výrazně ovlivněna – v první řadě negativně crowding efektem (viz kapitola 4.3), ale také pozitivně díky predikci celého názvu i v případě, že nebudou rozlišena všechna písmena. Pro zajištění dostatečného rozsahu sledovaných vizů byl vízus u jednotlivých probandů postupně zhoršován pomocí spojných čoček. Na dopravním značení na běžných komunikacích je obvykle používána standardní výška písma 100 mm. Dalším cílem tedy bylo ověřit, zda mohou být při vízech požadovaných vyhláškou č. 277/2004 Sb. nápisy této velikosti rozlišeny z dostatečné vzdálenosti. Ta pak byla porovnána s doporučením v dokumentech BESIPu, který uvádí hodnoty 50 m v obci a 100 m mimo obec jako vzdálenost, ze které by měla být značka viditelná. [37, 47]

7.1 Metodika

Do experimentu se zapojilo 21 figurantů, z toho 18 žen a 3 muži. Průměrný věk byl 23 let se směrodatnou odchylkou 2 let. Celkem 17 z 21 figurantů bylo české národnosti. Čtyři figurantky byly slovenské národnosti, ale již několik let žijící v ČR a čtení českého textu jim podle jejich slov nedělá žádné problémy. Všichni zúčastnění byli starší 18 let, bez očních onemocnění. 10 figurantů bylo vyšetřováno s korekcí do dálky, kterou běžně nosí při řízení motorového vozidla, ve zkušební obrubě. Jedna figurantka měla nasazeny svoje kontaktní čočky. Délka trvání jednoho vyšetření byla asi 30 minut a nijak výrazně figuranta nezatěžovala, takže byl schopen po jeho skončení ihned pokračovat v jakékoli činnosti. Sezení s každým figurantem proběhlo pouze jednou. Účast všech figurantů byla dobrovolná, což potvrdili podpisem informovaného souhlasu.

Měření pro účely experimentu probíhalo od listopadu 2016 do března 2017 v laboratoři na Katedře optiky Přírodovědecké fakulty Univerzity Palackého v Olomouci. Pro zachování stejných podmínek osvětlení pro všechna měření a omezení vlivu počasí a denní doby byla v místnosti zatemněna okna a rozsvícena všechna světla, čímž se do určité míry navodilo normální denní osvětlení.

Stanoviště bylo vytvořeno z místa pro figuranta (židle, opěrka hlavy), zrcadla a stolku s monitorem, u kterého seděl vyšetřující a obsluhoval optotypy. Monitor se nacházel přímo u stěny, a tak byl figurant o 1 m od monitoru odsazen, aby měl dostatek prostoru a mohl pohodlně sedět. Ostatní vzdálenosti byly nastaveny tak, aby vyšetřovací vzdálenost byla celkem 6 m. Schéma stanoviště s naznačenými vzdálenostmi je ukázáno na obrázku 11. Monitor i zrcadlo byly nastaveny přibližně do výše očí figuranta.



Obr. 11 Nákres vyšetřovacího stanoviště; znázorněna je vzájemná pozice monitoru, figuranta a zrcadla.

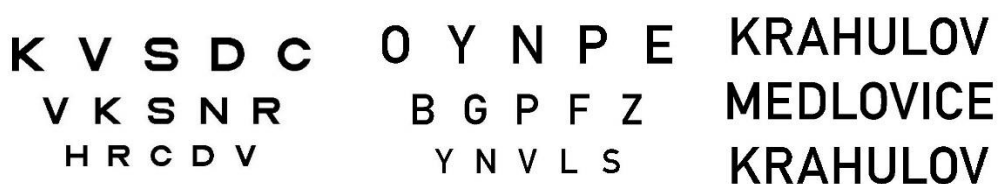
Figurantovi byly během měření prezentovány tři typy znaků. S žádnými z nich nebyl předem seznámen, nevěděl, zda se budou vyskytovat jen některá písmena abecedy či všechna, ani které názvy obcí budou v experimentu použity. První skupinou byly Sloan letters využívající 10 písmen. Optotyp se Sloan letters byl v laboratoři v počítači již k dispozici. Ke speciálním optotypům složeným ze znaků písma DIN 1451 a ze slov (názvů obcí) bylo použito písmo Alte DIN 1451 Mittelschrift, protože je na rozdíl od originálního písma (DIN 1451), používaného na dopravním značení, zdarma dostupné. Při aktualizaci písma na DIN 1451 však došlo jen k několika málo úpravám a znaky, které byly použity v tomto experimentu, se nezměnily vůbec. Použití „staršího písma“ by tedy nijak nemělo ovlivnit průběh a výsledky experimentu. V následujícím textu bude používán termín DIN 1451, neboť jeho část, se kterou experiment pracuje, je shodná pro obě verze písma.

Pro druhý typ optotypu (písmena DIN 1451) byly z české abecedy vyřazeny znaky s diakritikou a také znaky, které nebyly obsaženy v použitých názvech obcí (např. Q, W), a zbylo tedy 23 písmen, ze kterých byly optotypové znaky náhodně generovány.

Poslední skupinou znaků byla celá slova sestavená z písmen fontu DIN 1451. Jednalo se o 181 reálných názvů obcí v České republice, jednoslovných a bez diakritiky. Dalším faktorem výběru byla známost obcí. Snahou bylo zařadit obce spíše méně známé a vyřadit obce všeobecně proslulé a často používané (Olomouc, Praha, Ostrava, Brno, Opava atd.), a to proto, aby velká rozdílnost ve známosti názvů nezpůsobila významné posuny v jejich čitelnosti. Slova byla sestavena v programu Inkscape a byly dodrženy rozestupy mezi konkrétními písmeny podle dokumentu Vzorů značení R90 (viz kapitola 6.4, tabulka 2).

Vízus byl měřen v logMAR, přičemž velikost znaků se měnila s krokem 0,1 logMAR. Konkrétní vízus pro daný optotyp byl určen na základě velikosti detailu (šířky čáry, tj. 1/5 výšky znaku u Sloan letters, 1/7 u DIN 1451 a u slov) a vyšetřovací vzdálenosti (viz kapitola 2.1 a 4.1). Všechny tři sady znaků byly prezentovány na monitoru, a to zrcadlově obráceně, aby je figurant viděl přes zrcadlo ve správné poloze. Znaky byly černé na bílém pozadí (jas pozadí byl 228 cd/m^2 , Weberův kontrast byl - 98 %). Byly zobrazeny vždy tři řádky po 5 náhodně generovaných znacích, v případě slov jich nebylo z důvodu omezené šířky monitoru zobrazeno všech 5 na řádku najednou, ale bylo prezentováno 5 slov o stejné velikosti postupně za sebou. Stěžejní byl prostřední řádek, který měl figurant číst, okolní řádky vytvářely crowding efekt (kapitola 4.3) podobně, jako je tomu u běžných optotypů a na cedulích dopravního značení. Vzdálenost mezi jednotlivými řádky byla nastavena u Sloan letters a písmen DIN 1451 na 100 % výšky znaků v prostředním řádku. U slov byla zachována rozteč řádků, jak ji definuje předpis [49], tj. na 70 % výšky slov. Šířka mezery mezi jednotlivými znaky Sloan letters byla nastavena na 100 % šířky znaku. U optotypu složeného z písmen DIN 1451 je složitější vyjádřit mezeru mezi znaky obecně, protože ne všechna písmena jsou stejně široká – jak ukazuje tabulka 3 (kapitola 6.4), šířka znaků písma DIN 1451 se pohybuje mezi 17 a 128 mm při výšce znaku 112 mm. Vždy byla ale dodržena zásada, že rozstup mezi písmeny musí být 100 % nebo větší, u písma DIN 1451 většinou přesahoval 100 %.

U sad s jednotlivými písmeny byl vízus horního řádku vzhledem k prostřednímu řádku o 0,1 logMAR větší (vízus v decimálním zápisu tedy menší a znaky větší) a vízus dolního řádku o 0,1 logMAR menší (vízus je tedy větší a znaky menší). U sady slov měla vždy tři právě zobrazená slova stejnou výšku, šířka slov nebyla nijak omezena. Slova použitá pro crowding byla generována ze stejné sady jako prostřední slovo, nikdy se však daný název nemohl objevit zároveň v prostředním i obklopujícím řádku. Nahoře bylo zobrazeno vždy stejné slovo jako dole. Příklad zobrazené kombinace písmen a slov je vidět na obrázku 12.



Obr. 12 Příklad kombinace písmen a slov. Zleva Sloan letters, DIN 1451, názvy obcí.

Figurant byl usazen na židli a bradu a čelo měl opřené v opěrce hlavy, jak ukazuje obrázek 13. Měření vízu probíhalo v nacentrované zkušební obrubě s případnou korekcí a jen na pravém oku, levé zakrývala clona. Figurant byl požádán, aby četl vždy prostřední řádek a aby nepřivíral oči. Byly postupně promítány znaky Sloan letters, DIN a názvů obcí, vždy v tomto pořadí. U každé skupiny byl změřen prahový vízus (viz kapitola 4.4), nejprve naturálně nebo s přirozenou korekcí, poté s předloženou spojnou čočkou, jejíž hodnota se postupně zvyšovala. Hodnoty předložených spojných čoček byly +0,25 D, +0,5 D, +0,75 D, +1,0 D, +1,25 D, +1,5 D, +2,0 D a +2,5 D. V případě jednotlivých znaků byly tyto čteny vždy zleva doprava. Vzniklo tedy 9 měření, každé na třech skupinách znaků. U některých figurantů došlo při vyšších hodnotách předřazené spojné čočky k tak velkému poklesu vízu, že rozměry monitoru již neumožňovaly zobrazit tak velké znaky, a proto nebyl vízus pro danou hodnotu změřen a zaznamenán.

Vízy stanovené jednotlivými metodami byly vzájemně porovnávány metodou ANOVA pomocí software STATISTICA 12 na hladině významnosti 5 % (tj. při 5% pravděpodobnosti zamítnutí rovnosti v případě, že se hodnoty skutečně rovnají). V textu

jsou též uvedeny mezní hladiny významnosti p , při kterých by právě došlo k zamítnutí rovnosti hodnot. Vzájemné vztahy mezi nimi byly sledovány regresní analýzou v programu MS Excel.



Obr. 13 Figurant při vyšetření.

7.2 Výsledky

Data naměřená v průběhu experimentu byla zadána do tabulky v programu Excel, pomocí kterého byly vypočítány jednotlivé prahové vize. Průměrné hodnoty (pro celý soubor subjektů) a směrodatné odchylky naměřených vizů (v logMAR) jsou uvedeny v tabulce 4 a jsou zaokrouhleny na dvě desetinná místa.

	předřazená čočka (D)	0	+0,25	+0,5	+0,75	+1	+1,25	+1,5	+2	+2,5
V_{Sloan letters}	průměr	-0,15	-0,13	-0,07	0,03	0,12	0,24	0,30	0,50	0,59
	směrodatná odchylka	0,06	0,09	0,13	0,17	0,19	0,20	0,19	0,14	0,13
V_{DIN 1451}	průměr	-0,21	-0,20	-0,12	-0,04	0,10	0,17	0,27	0,43	0,50
	směrodatná odchylka	0,08	0,09	0,14	0,18	0,18	0,21	0,23	0,12	0,09
V_{slova}	průměr	-0,09	-0,05	0,01	0,11	0,20	0,28	0,36	0,55	0,63
	směrodatná odchylka	0,08	0,09	0,11	0,17	0,20	0,23	0,21	0,14	0,10

Tabulka 4 Průměry naměřených hodnot vize (v logMAR) od všech subjektů a příslušné směrodatné odchylky pro jednotlivé typy použitých znaků.

7.2.1 Vliv typu optotypového znaku na vízus

Pro účely posouzení vlivu znaku na vízus byla použita vícefaktorová ANOVA na hladině významnosti 5 % v programu STATISTICA 12. Z důvodu nemožnosti změřit vízus s předřazenou hodnotou spojné čočky +2,0 D a +2,5 D u mnoha figurantů byly hodnoty vízu pro tyto dvě spojné čočky u všech figurantů vyřazeny. U dvou figurantů chyběly i hodnoty vízu pro +1,5 D, ale byly dopočítány lineární extrapolací.

Vyhodnocení metodou ANOVA ukázalo, že významný vliv na vízus má typ znaku promítaného na optotypu ($p < 10^{-14}$). Následným Tukeyho HSD post-hoc testem bylo prokázáno, že rozdílnost ve vízu se vyskytuje mezi každými dvěma z testovaných znaků.

Stejnou metodou byl prokázán také vliv předřazené hodnoty spojné čočky na vízus ($p < 10^{-14}$). Tento efekt byl ale očekáván, neboť spojná čočka posouvá ohnisko optické soustavy oka před sítnicí a obraz, který vzniká na sítnici, je rozmazaný.

Posun vízu pro jednotlivé typy znaků je možné vidět v grafu na obrázku 14, který ukazuje závislost vízu na předřazené spojné čočce pro jednotlivé typy znaků. Jako hodnota vízu byl vzat vždy průměrný vízus všech figurantů pro daný typ znaku a hodnotu spojky, tedy údaje z tabulky 4. Nejlepších vízů bylo dosaženo při prezentaci znaků DIN 1451 (zelená křivka). Naopak nejhorší vízus byl naměřen na optotypech s celými slovy, tedy názvy obcí (žlutá křivka). Všechny křivky mají přibližně podobný tvar a liší se od sebe vzájemným posunem po ose y . Při proložení bodů regresními přímkami ve tvaru $y = kx + q$, kde x představuje hodnotu předložené čočky v dioptriích a y odpovídá vízu udaném v logMAR, je možné ještě lépe vidět jejich vzájemný posun, který je vyjádřen koeficienty q v rovnicích těchto přímek. Koeficienty q „sousedících“ přímek se od sebe liší přibližně o 0,07. Je tedy možné říci, že vízus měřený na Sloan letters je přibližně o 0,07 logMAR horší než na DIN 1451 a o 0,07 logMAR lepší než na celých slovech. Stanovená regresní přímka pro Sloan letter má rovnici

$$y = 0,399x - 0,199,$$

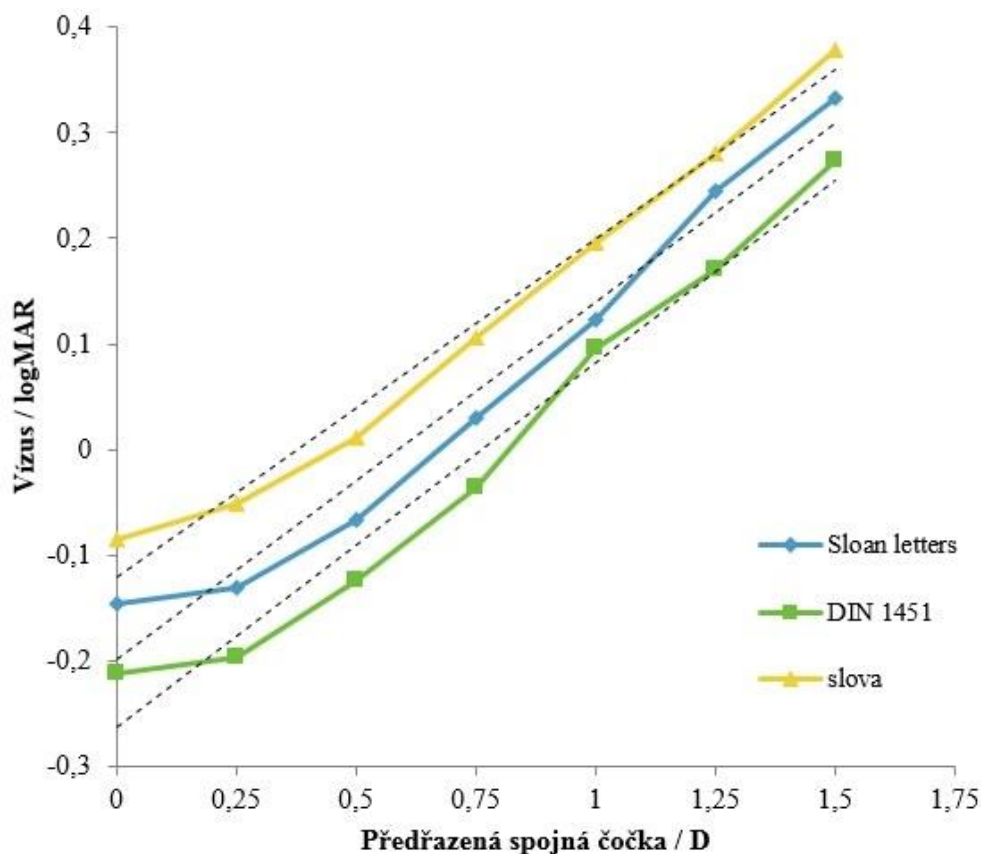
pro DIN 1451

$$y = 0,344x - 0,262,$$

a pro slova

$$y = 0,32x - 0,12.$$

Odpovídající korelační koeficienty r vycházejí 0,984, 0,986 a 0,99.

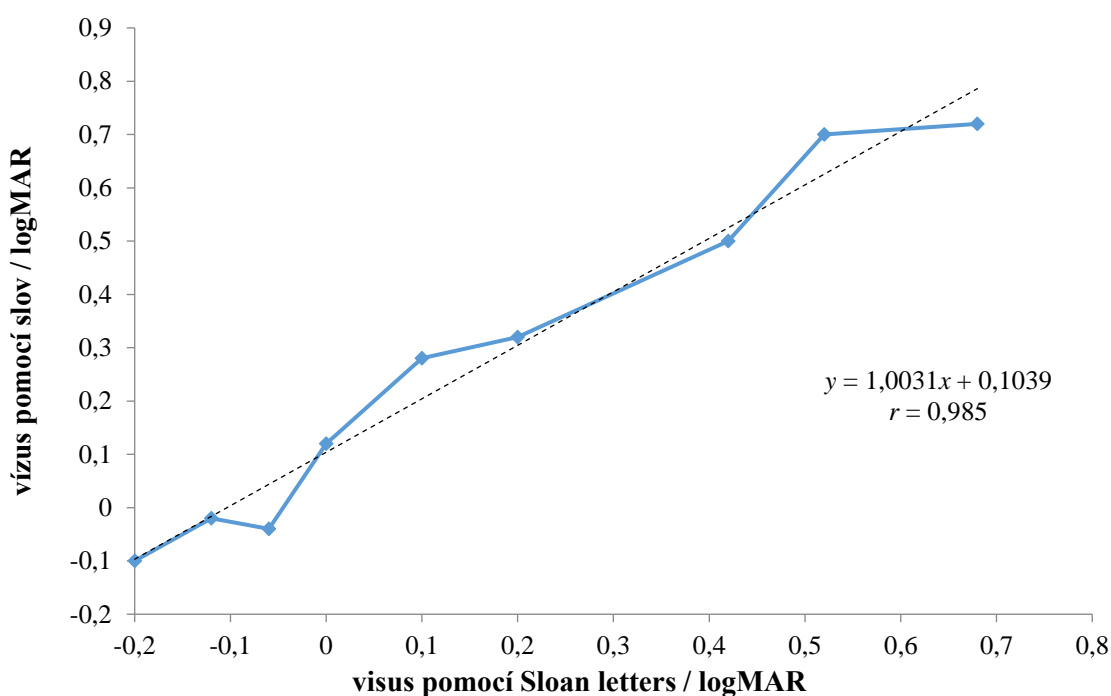


Obr. 14 Graf závislosti vízu změřeného jednotlivými použitými typy znaků na předložené spojné čočce včetně proložených regresních přímek.

Dále byl vyloučen vliv vzájemné interakce hodnoty předložené spojné čočky a použitého typu optotypu ($p = 0,41$), což potvrzuje i skutečnost, že přímky v grafu na obrázku 14 jsou přibližně rovnoběžné. Předložení spojných čoček má tedy na vízus stejný vliv u všech typů použitých optotypů.

7.2.2 Vzdálenost, ze které jsou názvy obcí čitelné

Cílem této části výzkumu bylo spočítat vzdálenost, ze které jsou názvy obcí čitelné při daném vízu na Sloan letters. Byla zde použita všechna naměřená data a veškeré početní zpracování proběhlo v programu Excel. Pomocí regresní analýzy byl určen vztah mezi vízem na Sloan letters a vízem na slovech. Regresní analýza byla provedena pro každý subjekt zvlášť, příklad jednoho ze subjektů je uveden na obrázku 15. Bylo tedy získáno 21 rovnic přímek ve tvaru $y = kx + q$, z nichž každá popisuje přímku, kterou je vyjádřen vztah mezi vízy na Sloan letters (hodnota x) a na slovech (hodnota y) pro příslušného figuranta.



Obr. 15 Příklad lineární regrese pro jeden ze subjektů včetně regresní rovnice, kde x je hodnota vízu naměřeného na Sloan letters a y představuje hodnotu vízu naměřeného na slovech. Dále je uvedena hodnota korelačního koeficientu r .

Byla vypočítána průměrná hodnota \bar{k} koeficientu k a průměrná hodnota \bar{q} koeficientu q . Tyto hodnoty \bar{k} a \bar{q} jsou považovány za koeficienty přímky $y = \bar{k}x + \bar{q}$, která vyjadřuje obecný vztah mezi vízem na Sloan letters a na slovech. Byly tedy vypočítány hodnoty $\bar{k} = 0,949$ se směrodatnou odchylkou 0,102 a $\bar{q} = 0,075$ se směrodatnou odchylkou 0,043. Z toho vyplývá následující vztah:

$$V_{\text{slova}} = 0,949 * V_{\text{Sloan letters}} + 0,075,$$

kde hodnoty vízu jsou uvedeny v logMAR.

Pomocí této rovnice bylo možné hodnoty vízu, které jsou běžně naměřené ve vyšetřovacích optometristů na Sloan letters ($V_{\text{Sloan letters}}$), přepočítat na odpovídající hodnoty vízu na slovech (V_{slova}). Při známém V_{slova} (v decimálním zápisu) a při známé výšce slova v je pak možné spočítat vzdálenost l , ze které by bylo slovo právě rozlišeno, pomocí vzorce

$$l = \frac{v}{\text{tg} \frac{7}{V_{\text{slova}}}}$$

Výsledky výpočtů ukazuje tabulka 5, kde jsou uvedeny vstupní hodnoty vízu na Sloan letters jak v decimálním zápisu, tak v logMAR, z nich vypočtené hodnoty vízu na slovech (v logMAR a přepočtená na decimální zápis) a odpovídající vzdálenost l , ze které by byly slova vidět při nejčastěji používané výšce znaku 100 mm (viz kapitola 6.4).

$V_{\text{Sloan letters}}$		V_{slova}		l / m
decimální	logMAR	logMAR	decimální	
1,58	-0,2	-0,1151	1,30	64,0
1,25	-0,1	-0,0202	1,05	51,4
1,00	0	0,0747	0,84	41,3
0,79	0,1	0,1696	0,68	33,2
0,63	0,2	0,2645	0,54	26,7
0,50	0,3	0,3594	0,44	21,4
0,40	0,4	0,4543	0,35	17,3
0,32	0,5	0,5492	0,28	13,9

Tab. 5 Hodnoty vízu na Sloan letters $V_{\text{Sloan letters}}$ (decimální a logMAR), odpovídající spočítaný vízus na slovech V_{slova} (logMAR a decimální) a vzdálenost l , ze které by byla slova vidět při výšce 100 mm. Mezní hodnota vízu, při které je povoleno v ČR řídit (0,5 v decimálním zápise), je zvýrazněna červeně a tučně.

7.3 Diskuze

Experiment měl zjistit, zda existuje rozdíl ve vízu, pokud bude měřen na optotypových znacích s rozdílnou konstrukcí, a případně tento rozdíl kvantifikovat. Dále bylo cílem ověřit vzdálenost, ze které jsou nápisy dopravního značení (názvy obcí) při obvyklé velikosti znaků čitelné.

Vliv typu znaku na vízus byl zřetelně prokázán. Z grafu na obrázku 14 vyplývá, že nejlépe čitelné jsou samostatně stojící znaky DIN 1451. Ze zkoumaných skupin byla naopak nejhůře rozpoznatelná celá slova napsaná fontem DIN 1451. Pokles mezi těmito skupinami byl asi 0,14 logMAR.

Na špatné čitelnosti slov se pravděpodobně významně podílí crowding efekt, a to jak v horizontálním, tak vertikálním rozměru. Předpis [49] stanovuje rozteč řádků pro dvě slova nad sebou na 70 %, a tato hodnota byla při testování zachována. Neshoduje se však s ideální konstrukcí optotypu, která uvažuje crowding minimálně 100 %. Proto byla okolní slova, která figurant nečetl, až příliš rušivá a výsledky měření výrazně zhoršovala. Taktéž poměrně velké nahuštění písmen na sebe v rámci jednoho slova mohlo velkou měrou zhoršit rozlišitelnost slov. Naopak při čtení rozhodně pomáhalo „domýšlení“ i těch názvů, které nebyly viděny vyloženě ostře. Tvar názvů českých obcí se často opakuje (koncovka -ice v názvech Jasenice, Ludkovice, Vilantice; dále koncovka -ov ve slovech Bezuchov, Jedousov, Chudarov) a název bývá odvozen od běžného českého slova s vlastním významem (Uzenice, Vrbovec, Chlumek, Jitkov, Hrobice). V praxi při řízení auta a čtení příslušných značek by jistě pomohl i fakt, že řidič ceduli či ukazatel často hledá a očekává. V provedeném experimentu byl efekt „odhadnutí“ slova částečně snížen tím, že byly vynechány nejznámější názvy obcí a figurant předem s použitými názvy nebyl seznámen. V praxi, při řízení v oblasti, kterou řidič zná, lze předpokládat, že je seznámen s místními názvy a bude nápisy výrazně lépe odhadovat.

Je také nutné zohlednit fakt, že různé typy značek se liší ve svém barevném provedení. Pro jednoduchost provedení a pro univerzálnost výsledku pracoval experiment pouze s černými znaky na bílém pozadí. Tato kombinace se používá u informativních směrových značek zobrazující městské části a také cedule zobrazující začátek a konec obce. Velmi často k vidění jsou na silnicích značky s modrým pozadím a bílým textem, které ukazují směr na obce, na dálnicích jsou pak se zeleným pozadím. Dále je možné se setkat s černými znaky na oranžovém pozadí (trasa objížďky), bílými znaky na červeném pozadí (název ulice či číslo dálnice) a bílými znaky na hnědém pozadí (kulturní nebo turistický cíl). Je možné, že by se rozlišitelnost znaků pro jinou kombinaci barev textu a pozadí lišila, což je možný prostor k dalšímu zkoumání. [50]

Vzhledem k tomu, že se křivky liší hlavně významným vzájemným posunem ve směru osy y (vízus v logMAR), je možné říct, že měření na těchto typech znaků je přibližně srovnatelné za podmínky odečtení či přičtení hodnoty cca 0,07 log MAR (rozdíl koeficientu q rovnic popisujících příslušné aproximační přímky), podle toho, mezi kterými dvěma typy znaků je převod prováděn. Přesnější vztah mezi vízem

měřeným na Sloan letters a na slovech přinesla regresní analýza (výsledky v kapitole 7.2.2).

Závěrem je tedy možné říct, že praktické měření ukázalo, že font DIN 1451 je při respektování crowding fenoménu čitelnější než Sloan letters. Pokud ale dojde ke shlukování písmen do slov, jejich čitelnost se zhorší, a to i přesto, že se jedná o názvy českých obcí, které lze odhadnout i při nepřechtení některých znaků.

Pomocí regresní analýzy byl zjištěn přesný vztah mezi vízem naměřeným na Sloan letters a na slovech. Motivací bylo zjistit, zda je vízus, který řidiči naměří optometrista či oftalmolog ve své vyšetřovně za pomoci obvyklého optotypu (například Sloan letters), srovnatelný s vízem a čtením slov napsaných na dopravních značkách. Z naměřených hodnot se zjistilo, že vízus na Sloan letters (ve vyšetřovně) je o něco lepší než poté v reálné situaci při čtení slov. Vztah vízů ukazuje tabulka 5. Dále byla vypočítána vzdálenost, ze které jsou slova rozlišitelná při daném vízu naměřeném na slovech. U mladého řidiče je běžná hodnota vízu 1,25 na Sloan letters, čemuž odpovídá vízus 1,05 na slovech. Slova by tedy měl rozlišit z přibližné vzdálenosti 51,4 m, kterou v rychlosti 90 km/h urazí za 2,06 s a v rychlosti 50 km/h za 3,7 s. Pokud vezmeme v úvahu druhý extrém, řidiče s hraniční hodnotou vízu 0,5 na Sloan letters, zjistíme, že slovo na značce správně rozliší ze vzdálenosti pouhých 21,4 m, což už rozhodně nesplňuje podmínku BESIPu (ten udává minimální vzdálenost 50 m v obci a 100 m mimo obec – kapitola 6.2). Při rychlosti 50 km/h urazí tuto vzdálenost za 1,5 s a mimo obec při rychlosti 90 km/h dokonce za necelou sekundu. Je otázkou, jestli takový řidič stihne rychle a bezpečně na značku zareagovat. Reakční doba se pro různé typy a schopnosti řidiče liší a je velmi závislá na tom, zda řidič signál očekává (0,7 s), zda se podnět nachází v jeho centrálním nebo periferním zorném poli a zda je v danou chvíli kladen zvýšený nárok na jeho pozornost (reakční doba může narůst až na 1577 ms – viz kapitola 3.4). Čas, za který řidič při dané rychlosti urazí vzdálenost, která ho dělí od značky v okamžiku rozlišení nápisu, je pro různé hodnoty vízu spočítán v tabulce 6.

V Sloan letters (decimální)	l / m	$t_{50 \text{ km/h}} / s$	$t_{90 \text{ km/h}} / s$
1,58	64	4,61	2,56
1,25	51,4	3,70	2,06
1	41,3	2,97	1,65
0,79	33,2	2,39	1,33
0,63	26,7	1,92	1,07
0,5	21,4	1,54	0,86
0,4	17,3	1,25	0,69
0,32	13,9	1,00	0,56

Tab. 6 Vzdálenosti, ze kterých nápis rozliší řidiči s uvedenými vízy a příslušné časy, za které uvedenou dráhu ujedou při rychlosti 50 km/h a 90 km/h. Červeně a tučně je vyznačena hraniční hodnota vízu, se kterou je v ČR povoleno řídit.

Vzhledem k tomu, že byly voleny méně známé názvy obcí, lze předpokládat, že ve známém regionu řidič lépe a z větší vzdálenosti odhadne nápis na informativní tabuli. Naopak cizinec neznalý místních názvů či dokonce nezběhlý v českém jazyce bude nápisy rozlišovat z námi zjištěné vzdálenosti či větší (cizinci). Z uvedeného vyplývá, že by osoby s vízem, který je na hranici hodnot povolených vyhláškou, by v neznámém prostředí, kde se potřebují orientovat na informativních tabulích v neznámých názvech obcí, měly výrazně zpomalit a maximálně zvýšit svoji pozornost (viz kapitola 3.4).

8 ZÁVĚR

Tato diplomová práce se věnovala souvislosti zraku a řízení motorového vozidla. V teoretické části nabídla krátký popis zrakových funkcí a jejich uplatnění při řízení automobilu, a sice zrakové ostrosti, zorného pole, binokulárního vidění, barvocitu, adaptace na světlo a tmu a kontrastní citlivosti. Do této kapitoly byl zahrnut také přehled fyziologických změn zraku, které přicházejí s věkem, a jejich možný negativní vliv na řízení. Bezpečné řízení však není podmíněno jen perfektním zrakem, ale také ostatními smysly a psychologickými faktory. Těmto aspektům byla věnována samostatná kapitola. Čtvrtá kapitola je těžištěm práce a důležitým teoretickým základem pro praktickou část – popsala měření vízu, konstrukci optotypů, crowding efekt a používané zápisy vízu. Dále byly shrnuty požadavky na zrak řidičů, jak je stanovuje zákon, a uvedeny intervaly lékařských prohlídek za účelem zjištění zdravotní způsobilosti. Není možné nezmínit technické parametry dopravního značení a zásady jejich použití a umístění. Kapitola 6.4 pak popsala písmo DIN 1451, které se na nápisy na značkách používá.

Cílem praktické části práce bylo porovnat vízus měřený pomocí běžných optotypů a pomocí písma používaného na dopravním značení. Bylo zjištěno, že typ optotypu má na naměřený vízus významný vliv. Zjednodušeně se dá říct, že vízus měřený na Sloan letters (běžný optotyp ve vyšetřovně) je přibližně o 0,07 logMAR lepší než vízus měřený pomocí celých slov konstruovaných tak, jak se vyskytují na dopravních značkách. Čitelnost celých slov totiž negativně ovlivňuje crowding efekt, ale na druhou stranu může čtení pomoci predikce celého názvu. Druhým cílem bylo na základě naměřených dat vypočítat vzdálenost, ze které jsou názvy obcí rozpoznatelné. Poněkud překvapující byl výsledek, že řidič, kterému bude u očního lékaře naměřen hraniční vízus 0,5 v decimálním zápisu a který tedy ještě pravděpodobně získá řidičské oprávnění, rozliší nápis na značce při dané konstrukci ze vzdálenosti pouhých 21,4 m. Tuto vzdálenost urazí v obci za 1,54 s a mimo obec jen za 0,86 s. Uvedený čas však nemusí být postačující pro správné rozhodování a bezpečnou reakci.

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ:

- [1] POLÁŠEK, J. *Technický sborník oční optiky*. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1974.
- [2] ANTON, M. *Refrakční vady a jejich vyšetřovací metody*. Přepřacované 3. vydání. Brno: Národní centrum ošetřovatelství a nelékařských zdravotnických oborů, 2004. ISBN 807013402X.
- [3] PLUHÁČEK, F. *Fyziologická optika – výukové materiály k předmětu Fyziologická optika*, Katedra optiky Přírodovědecké fakulty Univerzity Palackého v Olomouci, Olomouc, 2012.
- [4] KUCHYNKA, P. *Oční lékařství. 2.*, přepřacované a doplněné vydání. Praha: Grada Publishing, 2016. ISBN 978-80-247-5079-8.
- [5] COHEN, A. S. *Einflussgrößen auf das nutzbare Sehfeld*. Bergisch Gladbach: BAST, 1984.
- [6] BALL, K. K. a kol. *Age and visual search: expanding the useful field of view*. Journal of the Optical Society of America A, Vol. 5, 1988, No. 12, pp. 2210-2219. ISSN 1520-8532.
- [7] PLUHÁČEK, F. *Normální binokulární vidění – výukové materiály k předmětu Binokulární vidění*, Katedra optiky Přírodovědecké fakulty Univerzity Palackého v Olomouci, Olomouc, 2013.
- [8] ŠIKL, R. *Zrakové vnímání*. Praha: Grada Publishing, 2012. ISBN 978-80-247-3029-5.
- [9] archiv autorky
- [10] TUNNACLIFFE, A. H. *Introduction to Visual Optics*. Canterbury: Association of British Dispensing Opticians, 1993. ISBN 0 9009 928 3.
- [11] ASBURY, T. a kol. *General ophthalmology*. Stamford: Appleton and Lange, 1999. ISBN: 0-8385-3137-7.
- [12] FORMANKIEWICZ, M. *Acquired Colour Vision Deficiencies*. Continuing Education&Training, C-12174, 2009. Dostupné z: http://www.optometry.co.uk/uploads/articles/CET_NAV_0611.pdf.
- [13] TAGARELLI, A. a kol. *Colour blindness in everyday life and car driving*. Acta Ophthalmologica Scandinavica, Vol. 82, 2004, No. 4, pp. 436-442. ISSN 1755-3768.
- [14] STEWARD, J. M. a kol. *What do color vision defectives say about everyday tasks?* Optometry and vision science: official publication of the American Academy of Optometry, Vol. 66, 1989, No. 5, pp. 288-295. ISSN 1538-9235.
- [15] TROJAN, S. a kol. *Lékařská fyziologie*. 4. vydání. Praha: Grada Publishing, 2003. ISBN 80-247-0512-5.

- [16] ČSN EN 13201-2. *Osvětlení pozemních komunikací – Část 2: Požadavky*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2005.
- [17] TESAŘ, J. a kol. *Podklady pro školení projektantů v oblasti veřejného osvětlení v roce 2005*. Praha: Společnost pro rozvoj veřejného osvětlení, 2005. Dostupné z: <http://www.artmetal-cz.com/p%C5%99edn%C3%A1%C5%A1ky/publikace/Jak%20projektovat%20VO-2005.pdf>.
- [18] BENJAMIN, W. J. *Borish's Clinical Refraction*. 2nd edition. St. Louis: Butterworth Heinemann, 2006. ISBN 987-0-7506-7524-6.
- [19] SCHIEBER, F. *Aging and the senses*. In BIRREN, J. E. a kol. *Handbook of mental health and aging*. New York: Academic press, 1992. ISBN 9780121012779.
- [20] VENTRUBA, J. *Kontrastní citlivost, testování a příčiny jejího snížení*. Česká oční optika, 2008, č. 1, str. 70-71. ISSN 1211-233X.
- [21] CSV-1000 Contrast Sensitivity Tests and Testig. *VectorVision – World Leader in Standardized Vision Testing* [online]. © 2004 [cit. 2017-04-01]. Dostupné z: <http://www.vectorvision.com/csv1000-contrast-sensitivity/>.
- [22] Zákon č. 101/2013 Sb., 34. novela zákona č. 361/2000 Sb., *O provozu na pozemních komunikacích a o změnách některých zákonů (zákon o silničním provozu)*. Dostupné z: <https://www.psp.cz/sqw/sbirka.sqw?cz=101&r=2013>.
- [23] KVAPILÍKOVÁ, K. *Práce a vidění*. Brno: Institut pro další vzdělávání pracovníků ve zdravotnictví, 1999. ISBN 8070132752.
- [24] OWSLEY, C. a kol. *Contrast sensitivity throughout adulthood*. *Vision Research*, Vol. 23, 1983, No. 7, pp. 689-99. ISSN 0042-6989.
- [25] GROSVENOR, T. *Primary Care Optometry*. 5th ed. St. Louis: Butterworth-Heinemann, 2007. ISBN 978-0-7506-7575-8.
- [26] FOZARD, J. L. *Vision and Hearing in Aging*. In BIRREN, J. E. a kol. *Handbook of the psychology of aging*. San Diego, CA: Academic press, 1990. ISBN 9780124115231.
- [27] RUMSEY, K. E. *Redefining the optometric examination: addressing the vision needs of older adults*. *Optometry and vision science: official publication of the American Academy of Optometry*, Vol. 70, 1993, No. 7, pp. 587-591. ISSN 1538-9235.
- [28] GAFFNEY, A. J. a kol. *Aging and cone dark adaptation*. *Optometry and vision science: official publication of the American Academy of Optometry*, Vol. 89, 2012, No. 8, pp. 1219-1224. ISSN 1538-9235.
- [29] CURCIO, C. A. a kol. *Spare the Rods, Save the Cones in Aging and Age-related Maculopathy*. *Investigative Ophthalmology & Visual Science*, Vol. 41, 2000, No. 8, pp. 2015-2018. ISSN 1552-5783.
- [30] ŠTIKAR, J. a kol. *Psychologie bezpečné jízdy*. Praha: Nakladatelství dopravy a spojů, 1981.

- [31] HAVLÍK, K. *Psychologie pro řidiče: zásady chování za volantem a prevence dopravní nehodovosti*. Praha: Portál, 2005. ISBN 8071785423.
- [32] YOUNG, K. L. a kol. *Driver Distraction: A Review of the Literature*. Monash University Accident research Centre, Report No. 206, 2003. ISBN 07326 17154.
- [33] LAUER, A. R. *The psychology of driving: factors of traffic enforcement*. Milton Keynes: Lightning Source UK, 2009. ISBN 9781444609639.
- [34] HAEGERSTROM-PORTNOY, G. a kol. *Seeing into old age: vision function beyond acuity*. Optometry and vision science: official publication of the American Academy of Optometry, Vol. 76, 1999, No. 3, pp. 141-158. ISSN 1538-9235.
- [35] ERICSON, J. M. a kol. *Compensation for failed attention while driving*. Transportation research Part F: Traffic Psychology and Behaviour, Vol. 45, 2017, pp. 65-74. ISSN 1369-8478.
- [36] ŠUCHA, M. a kol. *Dopravní psychologie pro praxi: výběr, výcvik a rehabilitace řidičů*. Praha: Grada, 2013. ISBN 978-80-247-4113-0.
- [37] Centrum dopravního výzkumu Brno. *Zásady pro dopravní značení na pozemních komunikacích* [online]. © 2002 [cit. 2017-04-01]. Dostupné z: http://www.ibesip.cz/data/web/kampane/legislativa/besip-02-TP_65_2vydani.pdf.
- [38] LACHENMAYR, B. J. *Peripheres Sehen und Reaktionszeit im Strassenverkehr*. Zeitschrift für Verkehrssicherheit, Vol. 33, 1987, No. 4, pp. 151-156. ISSN 0044-3654.
- [39] LACHENMAYR, B. J. *Sehen und gesehen werden: Sicher unterwegs im Strassenverkehr*. Aachen: Verlag Shaker, 1995, ISBN 3826508459.
- [40] EVANS, J. M. *Standards for Visual Acuity* [online]. © 2006 [cit. 2017-04-01]. Dostupné z: https://www.nist.gov/sites/default/files/documents/el/isd/ks/VisualAcuityStandards_1.pdf.
- [41] FLOM, M. C. a kol. *Visual Resolution and Contour interaction*. Journal of the Optical Society of America, Vol. 53, 1963, No. 9, pp. 1026-1032. ISSN 1520-8532.
- [42] DANILOVA, M. V. a kol. *Foveal contour interactions and crowding effects at the resolution limit of the visual system*. Journal of Vision, Vol. 7, 2007, No. 2, pp. 1-18. ISSN 1534-7362.
- [43] KOLARČÍK, L. *Průručka pro sestry v oftalmologii*. Praha: Grada, 2016. ISBN 978-80-247-5458-1.
- [44] PLUHÁČEK, F. *Oftalmologické a optometrické přístroje 2 – výukové materiály k předmětu Oftalmologické a optometrické přístroje 2*, Katedra optiky Přírodovědecké fakulty Univerzity Palackého v Olomouci, Olomouc, 2014.
- [45] BAILEY, I. L. a kol. *New design principles for visual acuity letter charts*. American journal of optometry and physiological optics. Vol. 53, 1976, No. 11, pp. 740-745. ISSN 2330-9512.

- [46] Zákon č. 361/2000 Sb., *O provozu na pozemních komunikacích a o změnách některých zákonů (zákon o silničním provozu)*. Dostupné z: http://www.mdcz.cz/cs/Legislativa/Legislativa/Legislativa_CR_silnicni/Silni%C4%8Dn%C3%AD+doprava/.
- [47] Vyhláška Ministerstva dopravy č. 277/2004 Sb., *O stanovení zdravotní způsobilosti k řízení motorových vozidel, zdravotní způsobilosti k řízení motorových vozidel s podmínkou a náležitosti lékařského potvrzení osvědčujícího zdravotní důvody, pro něž se za jízdy nelze na sedadle motorového vozidla připoutat bezpečnostním pásem (o zdravotní způsobilosti k řízení motorových vozidel)*. Dostupné z: http://www.mdcz.cz/cs/Legislativa/Legislativa/Legislativa_CR_silnicni/Silni%C4%8Dn%C3%AD+doprava/.
- [48] Ministerstvo dopravy odbor pozemních komunikací. *Zásady pro orientační dopravní značení na pozemních komunikacích, technické podmínky* [online]. © 2012 [cit. 2017-04-01]. Dostupné z: http://www.cmadz.cz/aktuality/files/1406799001_TP_100-2_cast_A-Znacky2.pdf.
- [49] Ředitelství silnic a dálnic ČR. *Vzory značení, Písmo pro svislé značky* [online]. © 2015 [cit. 2017-04-27]. Dostupné z: https://www.rsd.cz/wps/wcm/connect/b6b8009d-9d72-46f0-b8c5-3b4cf8048991/R_90_Vzory_znacení_Pismo_pro_svisle_znacky.pdf?MOD=AJPERES.
- [50] Dopravní značení. *Dopravní značení* [online]. [cit. 2017-04-20]. Dostupné z: <http://www.dopravni-znaceni.eu/>.