



# VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

## FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH TECHNOLOGIÍ

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION

## ÚSTAV BIOMEDICÍNSKÉHO INŽENÝRSTVÍ

DEPARTMENT OF BIOMEDICAL ENGINEERING

## EYETRACKING PŘI ŘEŠENÍ DOPRAVNÍCH SITUACÍ

EYETRACKING FOR TRAFFIC ANALYSIS

### BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

### AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Cindy Veselá

### VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Oto Janoušek, Ph.D.

BRNO 2018



# Bakalářská práce

bakalářský studijní obor **Biomedicínská technika a bioinformatika**

Ústav biomedicínského inženýrství

**Studentka:** Cindy Veselá

**ID:** 185959

**Ročník:** 3

**Akademický rok:** 2017/18

**NÁZEV TÉMATU:**

## Eyetracking při řešení dopravních situací

### POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

1) Provedte literární rešerši problematiky sledování pohledu eyetrackery využívajícími infračervenou kameru. 2) Implementujte v Matlabu rozhraní pro ovládání eyetrackeru EyeTribe a vytvořte rozhraní pro záznam časoprostorových souřadnic směru pohledu a průměru pupily. 3) Vytvořte v Matlabu GUI pro zobrazení a ovládání videosekvencí. 4) Zaznamenejte pohyb očí skupiny dobrovolníků při řešení dopravních situací zobrazených videosekvencemi. 5) Vyhodnoťte parametry pohybu očí a vizualizujte je v zobrazovaných videosekvencích. Vytvořte GUI, umožňující výběr zobrazovaných parametrů a nastavení jejich vlastností. 6) U vybraných parametrů statisticky srovnajte rozdíly mezi subjektivně zkušenými a nezkušenými řidiči. 7) Interpretujte výsledky, definujte limity navržené metody a diskutujte je.

### DOPORUČENÁ LITERATURA:

[1] DUCHOWSKI, Andrew T. Eye tracking methodology: theory and practice. Third edition. Cham: Springer, 2017. ISBN 978-3-319-57881-1.

[2] HOLMQVIST, Kenneth B. I., Marcus NYSTRÖM, Richard ANDERSSON, Richard DEWHURST, Halszka JARODZKA a Joost van de WEIJER. Eye tracking: a comprehensive guide to methods and measures. Oxford: Oxford University Press, 2011. ISBN 978-0-19-969708-3.

**Termín zadání:** 5.2.2018

**Termín odevzdání:** 25.5.2018

**Vedoucí práce:** Ing. Oto Janoušek, Ph.D.

**Konzultant:**

**prof. Ing. Ivo Provazník, Ph.D.**  
*předseda oborové rady*

### UPOZORNĚNÍ:

Autor bakalářské práce nesmí při vytváření bakalářské práce porušit autorská práva třetích osob, zejména nesmí zasahovat nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a musí si být plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č.40/2009 Sb.

## **ABSTRAKT**

Tato bakalářská práce se zabývá sledováním pohybu očí pomocí eyetrackeru při řešení dopravních situací. Teoretická část popisuje anatomii oka a druhy očních pohybů. Dále objasňuje způsoby sledování pohybu očí se zaměřením na metody eyetrackingu. V rámci praktické části byly vytvořeny dva programy a byl nahrán pohyb očí dobrovolníků. První program slouží pro záznam pohybu očí během sledování dopravní situace ve videu, druhý program pak k vizualizaci získaných záznamů. Byly zkoumány parametry pohybu očí, které by mohly vést k diferenciaci řidičů dle jejich zkušenosti.

## **KLÍČOVÁ SLOVA**

Eyetracking, oko, oční pohyby, videosekvence, Matlab, pozorovatel, vizualizace

## **ABSTRACT**

This bachelor thesis deals with the analysis of eye movement during solving traffic situations using eyetracker. The theoretical part describes eye anatomy and the types eye movement. It also explains methods of how eye movement is tracked with a focus on eye-tracking methods. Practical part contains two programs and record of eye movement of drivers. The first program records eye movement during traffic observation in videos, the second program visualizes eye movement in displayed videos. It was examined parameters of eye movement, which could lead to differentiation of drivers according to their experience.

## **KEYWORDS**

Eyetracking, eye, eye movement, video, Matlab, watcher, visualization

## **BIBLIOGRAFICKÁ CITACE:**

VESELÁ, C. *Eyetracking při řešení dopravních situací*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2018. 62s. Vedoucí práce: Ing. Oto Janoušek, Ph.D.



## **PROHLÁŠENÍ**

„Prohlašuji, že svou závěrečnou práci na téma Eyetracking při řešení dopravních situací jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou všechny citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce.

Jako autor uvedené závěrečné práce dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením této závěrečné práce jsem neporušil autorská práva třetích osob, zejména jsem nezasáhl nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a jsem si plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č. 40/2009 Sb.

V Brně dne 21.5.2018

.....  
podpis autorky

## **PODĚKOVÁNÍ**

Děkuji vedoucímu bakalářské práce Ing. Oto Janouškovi, Ph.D. za účinnou metodickou, pedagogickou a odbornou pomoc a další cenné rady při zpracování mé bakalářské práce.

V Brně dne 21.5.2018

.....  
podpis autorky

# OBSAH

ÚVOD.....	1
1 OKO.....	2
1.1 Anatomie oka .....	2
1.2 Okohybné svaly.....	3
2 POHYBY OKA .....	4
2.1 Sakády .....	4
2.2 Sledovací pohyby .....	4
2.3 Pohyby očí během fixace .....	4
3 METODY SLEDOVÁNÍ POHYBU OČÍ.....	5
3.1 Videookulografie (VOG) .....	5
3.2 Elektrookulografie (EOG).....	7
3.3 Magnetoelektrické snímání pomocí cívek .....	7
4 EYETRACKERY VYUŽÍVAJÍCÍ INFRAČERVENÉ ZÁŘENÍ.....	8
4.1 Statické eyetrackery .....	8
4.2 Hlavové eyetrackery.....	9
4.3 Srovnání eyetrackerů.....	9
5 HODNOCENÍ POHYBU OČÍ A VELIKOSTI ZORNIC.....	11
5.1 Hodnocení pohybu očí .....	11
5.2 Hodnocení velikosti zornice.....	12
6 ZÁZNAM POHYBU OČÍ.....	14
6.1 Obsah videosekvencí.....	14
6.2 Omezení metody a podmínky měření .....	16
6.3 Příprava na měření .....	17
6.4 Sledování videa a záznam pohybu očí .....	18
6.5 Popis algoritmu navrženého programu .....	21
6.6 Předzpracování dat .....	23
7 VIZUALIZACE DAT .....	24
8 INTERPRETACE VÝSLEDKŮ .....	27
8.1 Rychlost pohybu očí.....	27
8.2 Četnost změny pohledu během videosekvencí .....	30
8.3 Doba a četnost pohledu na značky a billboardy .....	31
8.4 Hodnocení vybraných míst .....	37
8.5 Změna velikosti zornice .....	41
9 DISKUZE .....	48
9.1 Srovnání dosažených výsledků .....	48
9.2 Omezení vzniklé použitím videosekvencí .....	49
9.3 Omezení vzniklé použitím metody eyetrackingu.....	49
ZÁVĚR.....	50
LITERATURA .....	52
SEZNAM SYMBOLŮ, VELIČIN A ZKRATEK.....	54

# SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 1 – Schéma oka [4].....	2
Obrázek 2 – Okohybné svaly, pohled ze strany [5].....	3
Obrázek 3 – Znázornění rozdílu tmavé a světlé zornice [10].....	6
Obrázek 4 – Princip zaznamenávání EOG [9].....	7
Obrázek 5 – Statický vzdálený eyetracker [12].....	8
Obrázek 6 – Hlavový eyetracker připevněn na brýlích [13].....	9
Obrázek 7 – Fotografie zařízení TheEyeTribe .....	14
Obrázek 8 – Obsah videosekvence 1 .....	15
Obrázek 9 – Obsah videosekvence 2 .....	16
Obrázek 10 – Špatná a správná pozice očí .....	17
Obrázek 11 – Kruhový terčík při kalibraci zařízení .....	18
Obrázek 12 – Kontrola správné kalibrace.....	18
Obrázek 13 – Uživatelské prostředí pro přehrávání videí .....	19
Obrázek 14 – Přehrávání videa ve Windows Media Player .....	19
Obrázek 15 – Zobrazení záznamu pohybu očí.....	20
Obrázek 16 – Fotografie pozorovatele videa.....	20
Obrázek 17 – Schéma navrženého programu pro přehrávání videí a analýzu záznamu .....	22
Obrázek 18 – Vizualizace pohybu očí červenou tečkou a křivkou trajektorie .....	24
Obrázek 19 – Vizualizace pohybu očí šedotónovým překryvem .....	25
Obrázek 20 – GUI navrženého programu.....	25
Obrázek 21 – Grafy hodnocených parametrů .....	26
Obrázek 22 – Vizualizace parametrů hodnotící průměr pupily .....	26
Obrázek 23 – Krabicový graf strmosti histogramů rychlosti pohybu očí ve videu 1 .....	28
Obrázek 24 – Histogram rychlosti pohybu očí nezkušeného řidiče .....	28
Obrázek 25 – Histogram rychlosti pohybu očí zkušeného řidiče .....	29
Obrázek 26 – Krabicový graf četnosti změny pohledu – videosekvence 1 .....	30
Obrázek 27 – Krabicový graf četnosti změny pohledu – videosekvence 2 .....	31
Obrázek 28 – Krabicový graf četnosti pohledů na dopravní značky .....	32
Obrázek 29 – Krabicový graf podílu sledování značek ve videu .....	33
Obrázek 30 – Krabicový graf průměrné doby jednoho pohledu na značku .....	33
Obrázek 31 – Krabicový graf četnosti pohledů na billboard .....	35
Obrázek 32 – Krabicový graf podílu sledování billboardů ve videu .....	35
Obrázek 33 – Krabicový graf průměrné doby pohledu na billboard .....	36
Obrázek 34 – Krabicový graf průměrné doby pohledu doprava v křižovatce.....	39
Obrázek 35 – Krabicový graf doby pohledu na policejní vůz .....	41
Obrázek 36 – Krabicový graf doby zvětšování pupily ve videu 1.....	42
Obrázek 37 – Průběhy zvětšování velikosti zornice ve videu 1 .....	43
Obrázek 38 – Krabicový graf doby zmenšování pupily ve videu 1.....	44
Obrázek 39 – Průběhy zmenšování velikosti zornice ve videu 1 .....	44
Obrázek 40 – Krabicový graf doby zvětšování velikosti zornice ve videu 2 .....	45
Obrázek 41 – Krabicový graf doby zmenšování velikosti zornice ve videu 2 .....	46
Obrázek 42 – Krabicový graf zvětšení zornice ve videu 1 .....	47
Obrázek 43 – Krabicový graf zvětšení zornice ve videu 2 .....	47

# ÚVOD

V poslední době se na silnicích zvyšuje množství automobilů, provoz je hustší, a s tím vzrůstá také počet dopravních nehod. Dopravní nehody vznikají často nepozorností, únavou, vlivem omamných látek či nesprávným vyhodnocením nebezpečné situace. Podle zkušeností lze řidiče rozdělit do dvou skupin – zkušení a nezkušení řidiči. Riziko vzniku nehody je mnohem vyšší u nezkušených řidičů v porovnání s řidiči zkušenými. Nezkušení řidiči nemají zautomatizované procesy při řízení, neznají možná rizika a často nedokáží správně a dostatečně rychle vyhodnotit aktuální situaci na vozovce. [1] Proto je nutné nezkušené řidiče odlišit.

Převážnou většinu informací řidič získává pomocí zraku. Orgánem zraku je oko, které pro správné vidění potřebuje fungující okohybné svaly. Oko je v neustálém pohybu. Některé pohyby si uvědomujeme, ale některé z nich jsou samovolné (bez našeho vědomí). Příčinou samovolných pohybů je udržení pozorovaného cíle v místě nejostřejšího vidění.

Pohyby očí lze zaznamenávat a následně hodnotit. Pro sledování pohybu očí lze využít různých metod, jakými jsou elektrookulografie, videookulografie či magnetické snímání oka pomocí cívek. V dnešní době je nejpoužívanější metodou pro snímání pohybu očí videookulografie, která využívá pro hodnocení pohybu očí videozáznam. V práci je využita metoda eyetrackingu, která je založena na snímání odraženého infračerveného záření od sítnice řidiče. Eyetrackerem lze snímat nejen samotný pohyb očí, ale také velikost zornice. Snímáním pohybu očí jsou získávány souřadnice pohledu očí, díky nimž lze zjistit okolnosti nehody. Například lze zjistit, kam se řidič v danou chvíli nehody – či bezprostředně před ní – díval, zda se plně věnoval řízení, sledoval příslušné dopravní značení apod. Záznamy pak mohou pomoci při určování viníka dané nehody. Změna velikosti zornice vypovídá o reakci řidiče na určitý podnět.

Pohyby očí a reakce na podněty mohou být u řidičů zcela odlišné. Některé parametry ovlivněné zkušenostmi řidičů by mohly vést k diferenciaci řidičů na zkušené a nezkušené. Právě hodnocením pohybů očí a změnou velikosti pupil se zabývá tato práce.

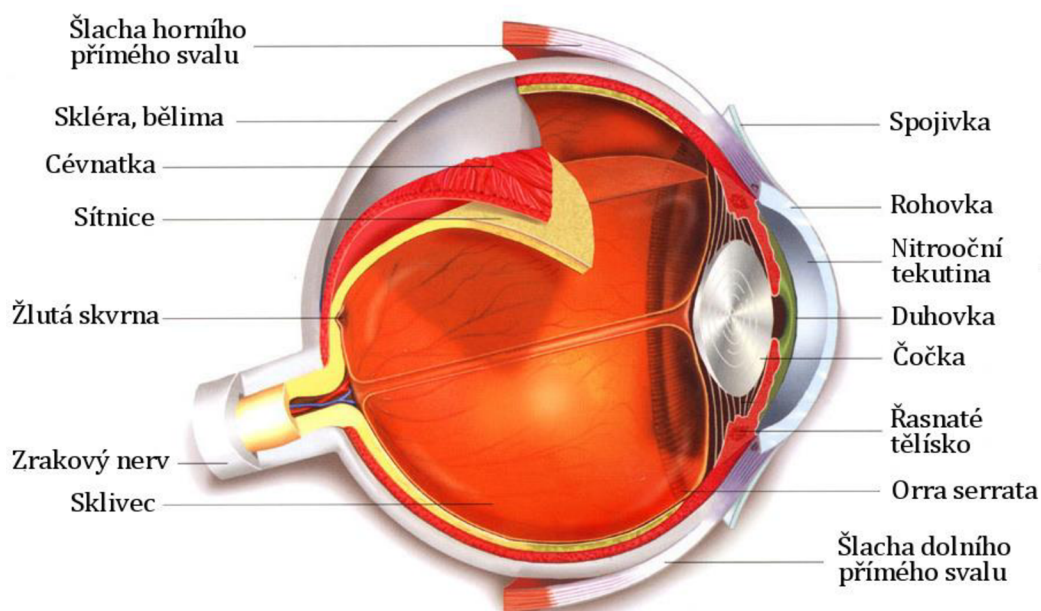
Cílem práce je vytvořit program pro záznam pohybu očí eyetrackerem během sledování videosekvencí řidiči, zaznamenat pohyb očí dobrovolníků a následně tyto záznamy analyzovat s cílem zjistit, které parametry pohybu očí by mohly být požitý pro diferenciaci zkušených a nezkušených řidičů.

# 1 OKO

Zrak je jeden z pěti základních lidských smyslů. Až 80 % informací z okolního prostředí vnímáme zrakem, proto je zrak velmi důležitým smyslem, pro většinu z nás možná i nejdůležitějším. Oko je párový smyslový orgán, který je schopen vnímat světlo, barvy, tvary předmětů a usnadňuje tak orientaci v prostoru. Proti poškození je chráněno víčky. Ze zadní části vychází zrakový nerv, kterým jsou informace přiváděny do mozku.

## 1.1 Anatomie oka

Oko se skládá z oční koule, která je uložena v očnici a z dalších přídatných očních orgánů. Oční koule má přibližně kulovitý tvar, její průměr je u dospělého člověka asi 23 mm. Stěna oční koule se skládá ze tří vrstev – zevní, střední a vnitřní. [2]



Obrázek 1 – Schéma oka [4]

Zevní vrstva je tvořena především bezcévným vazivem. V zadní části je oko tvořeno bělimou (*sclera*), která má bílou barvu. V přední části oka bělma přechází v rohovku (*cornea*), která je průhledná. [2]

Střední vrstvu tvoří cévnatka (*choroidea*), řasnaté těleso (*corpus ciliare*) a duhovka (*iris*). Jelikož je cévnatka dobře prokrvena, vyživuje oko. Přední část cévnatky přechází v řasnaté těleso obsahující svalová vlákna, která ovlivňují akomodaci oka. Přední část oka je tvořena duhovkou obsahující pigment. Množství pigmentu ovlivňuje barvu očí. [3]

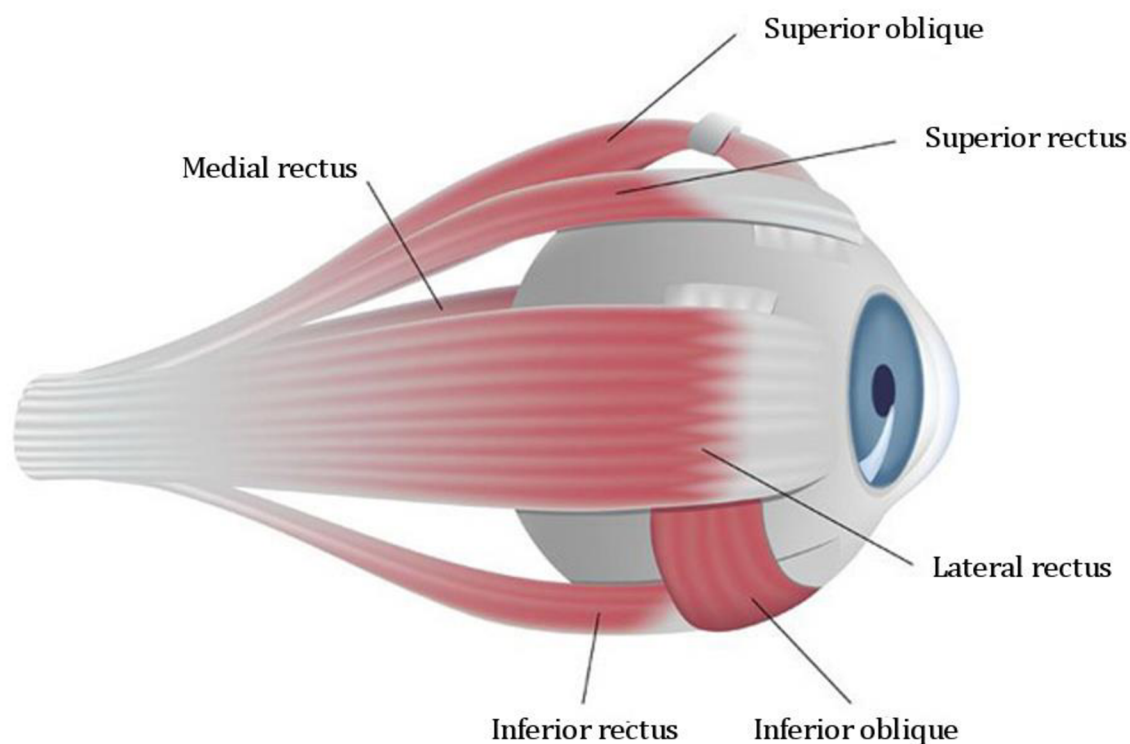
Vnitřní vrstvu oční koule tvoří sítnice (*retina*). Sítnice obsahuje velké množství buněk citlivých na světlo, tzv. fotoreceptory. Tyto buňky se dělí na tyčinky a čípky. Barevné vidění za denního světla zajišťují čípky, kterých je v sítnici okolo sedmi milionů. Naopak vidění za šera zprostředkovávají tyčinky, kterých je přibližně 120 milionů. Místo s největší koncentrací čípků se nazývá žlutá skvrna. Žlutá skvrna umožňuje ostré vidění.

Obsah oční koule tvoří optická prostředí oka – čočka, sklivec a oční komora. Dopadající světlo prochází přes rohovku, nitrooční tekutinu, duhovku, čočku a sklivec. Přidatné oční orgány pak tvoří oční svaly, víčka, slzné ústrojí a vazivový aparát očníce. Struktura oka je znázorněna na obrázku 1. [2][3]

## 1.2 Okohybné svaly

Okohybné svaly zajišťují pohyby oční koule. Oči se pohybují tak, aby zajistily co nejostřejší nazírání předmětu, tudíž aby obraz dopadal na místo nejostřejšího vidění, tzv. žlutou skvrnu. [3]

Okohybných svalů je celkem šest, z toho čtyři svaly přímé a dva šikmé. Přímé svaly oční koule (*musculus recti*) se starají o pohyb do stran (*m. rectus medialis a lateralis*), nahoru (*m. rectus superior*) a dolů (*m. rectus lateralis*). Šikmé svaly (*musculus obliqui*) obstarávají rotaci oka dovnitř (*m. obliquus superior*) nebo zevně (*m. obliquus inferior*). Znázornění svalů je na obrázku 2. [3][4]



Obrázek 2 – Okohybné svaly, pohled ze strany [5]

## 2 POHYBY OKA

Pohyb oka zajišťují již zmíněné okoohybné svaly. Oko nikdy není v naprostém klidu – neustále vykonává pohyby. Pohyby očí se dělí na volní (vědomé) a mimovolní (samovolné). Volní pohyby lze ovládat vlastní vůlí. Mimovolní pohyby vlastní vůlí ovládnout nelze. Slouží především k udržení nazíraného cíle v místě nejostřejšího vidění – žluté skvrny. [7]

### 2.1 Sakády

Sakády jsou záměrné oční pohyby, které se uplatňují při prohlížení zorného pole při větších pohybech očí z jednoho pozorovaného cíle na jiný.

Sakadické pohyby trvají přibližně od 10 do 100 ms, což je doba mezi dvěma fixacemi. To je důvod, proč je mezi sakádami časový odstup. K dalšímu nazíranému cíli se oko dostane přibližně za 200 ms. Pohyby dosahují maximální úhlové rychlosti  $900^\circ/\text{s}$ . [6][7]

### 2.2 Sledovací pohyby

Sledovací pohyby jsou přítomny, jestliže oko zachycuje obraz pohybujícího se předmětu v zorném poli. Pokud se předmět pohybuje pomalu, rychlostí do  $30^\circ/\text{s}$ , je předmět sledován přesně. Při překročení rychlosti  $30^\circ/\text{s}$  sledovací pohyby nestíhají zachytit posun předmětu – objevují se trhané korekční sakády.

Při pohybu hlavy je nutno fixovat sledovaný bod, k čemuž slouží vestibulární pohyby.

Dalším typem pohybů očí jsou pohyby konvergentní. Jsou důležité při zaostřování na blízko umístěný předmět. Konvergentní a vestibulární pohyby jsou velmi podobné pohybům sledovacím. [6][7]

### 2.3 Pohyby očí během fixace

Při pozorování určitého předmětu či bodu se oko snaží malými pohyby docílit co nejostřejšího vidění. Jedná se o 3 rozdílné pohyby: mikrosakády, tremor a drift.

Tremor je oční třes, který se vyznačuje vysokou frekvencí a nízkou amplitudou, ale význam přesně není znám. Mikrosakády jsou rychlé, náhodné pohyby, které se snaží vracet oko do původní polohy. Doba trvání pohybu je přibližně 10–30 ms. Drift neboli klouzavé pohyby očí jsou pomalé pohyby pracující opačným směrem než sakády. Trvají v rozmezí 200–1000 ms. [6][7]



## 3 METODY SLEDOVÁNÍ POHYBU OČÍ

Pro sledování pohybu očí se používají metody založené na analýze videozáznamu, hodnocení elektrické aktivity okohybných svalů a metody lokalizující specializovanou kontaktní čočku.

### 3.1 Videookulografie (VOG)

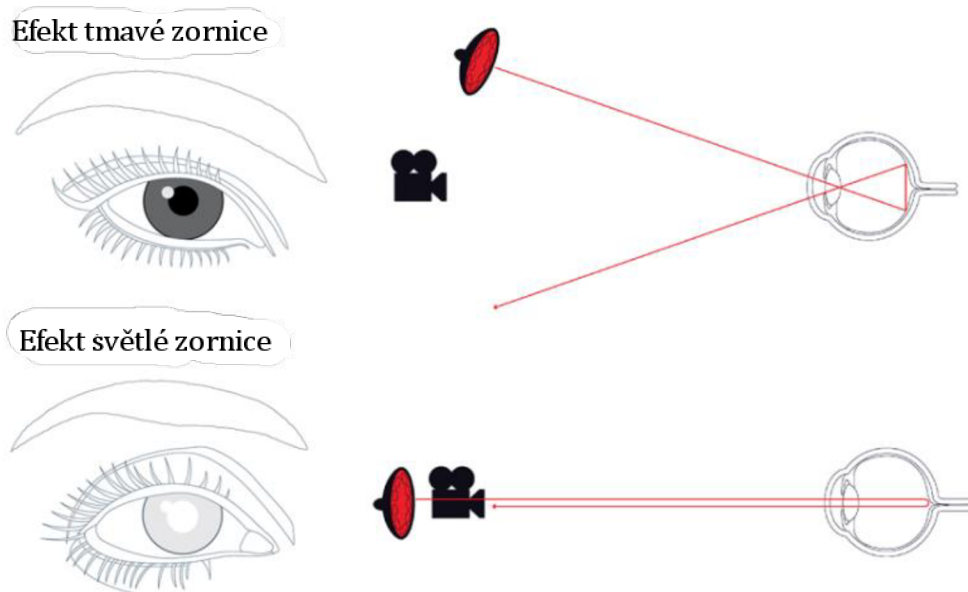
Videookulografie je od 90. let minulého století nejpoužívanější metodou pro zaznamenávání pohybu očí. Videookulografie zaznamenává pohyb oka kamerou. Existuje několik variant videookulografie, založených například na rozpoznávání tvaru rohovky nebo zornice, nebo zaznamenávání odrazu světla na rohovce, vyvolaným blízko umístěným světelným zdrojem (často se jedná o infračervené záření). Metody dělíme na dvě základní skupiny:

- metoda „světlé zornice“,
- metoda „tmavé zornice“.

Metody se liší polohou zdroje záření vůči vyšetřovanému.

První metoda využívá zdroj záření umístěný před zrakovým vyšetřovaného. Zdroj světla, snímač a oko leží v jedné přímce. Světlo ze zdroje infračerveného záření prochází přes zornici a dopadá na sítnici pozorovaného a ta záření odráží. Toto odražené záření je poté snímáno a zaznamenáváno. Zornice se jeví jako světlé místo, jako je znázorněno na obrázku 3. [8][9]

Častější metodou je metoda zobrazující tmavou zornici. Zdroj záření je v rovině před vyšetřovaným, ale neleží v přímce s okem a snímacím zařízením. Záření se tudíž od sítnice odráží mimo snímací zařízení, a proto se zornice jeví jako tmavé místo. [8][9]



**Obrázek 3 – Znázornění rozdílu tmavé a světlé zornice [10]**

Pomocí matematických a geometrických metod systém vypočte centra zornice a místa odrazu infračerveného záření. Poté vyhodnotí vzájemnou vzdálenost mezi těmito dvěma místy. K vyhodnocení jsou použity dva základní principy:

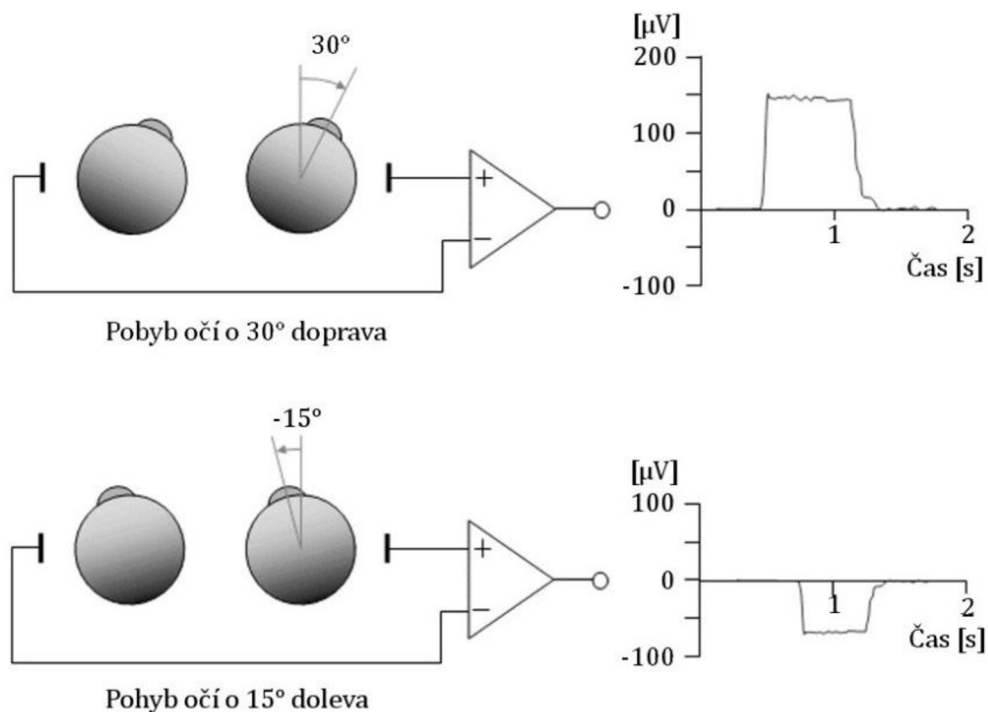
- Princip založený na vlastnostech oka
- Princip založený na modelu oka

Princip založený na vlastnostech oka detekuje zornici podle různých kritérií. Jedním z kritérií je rozdílný kontrast tmavé zornice od ostatních částí oka, tudíž rozeznává obrysy, nebo okraje zornice. Princip založený na modelu oka předpokládá, že duhovka i zornice mají přibližně kruhovitý tvar, a že zornice leží uprostřed duhovky. [8][11]

I přesto, že se jedná o nejpoužívanější techniku pro zaznamenávání pohybu očí, existují u této metody nevýhody. Největším problémem je detekce při ne zcela otevřených očích, jako je tomu například při tzv. „padajících víčkách“, což nastává při větší únavě. Zornice jsou částečně překryty víčky a očními řasami, a tak systém nemůže najít centrum a dále vyhodnotit pozici očí. Další nevýhodou je omezené snímání pole, kde systém nemůže vyhodnotit extrémní pozice očí. Systém nemůže detekovat odražené záření při velkých úhlech. [6]

### 3.2 Elektrookulografie (EOG)

Elektrookulografie je asi 40 let stará metoda, která se používá dodnes. Je založená na snímání napětí, které je tvořeno rozdílným potenciálem rohovky a sítnice. Rohovka má kladný a sítnice záporný náboj. Potenciály jsou snímány pomocí elektrod umístěných na kůži v okolí očí. Při pohybu očí doprava či doleva se mění elektrický potenciál, což lze pozorovat na elektrookulogramu. Amplituda elektrookulogramu závisí na velikosti očního pohybu doprava či doleva, viz obrázek 4. Pokud se pacient dívá přímo vpřed, pak je potenciál roven nule. Tento jev je způsoben tím, že rohovka má stejnou vzdálenost od pravé i levé elektrody. Výhodou této metody je, že vyšetřovaný může mít zavřené oči po dobu vyšetření. Metoda je neinvazivní. [6][7]



Obrázek 4 – Princip zaznamenávání EOG [9]

### 3.3 Magnetoelektrické snímání pomocí cívek

Metoda patří k nepřesnějším metodám snímání pohybu očí. Jedná se o invazivní metodu, která není pacientovi příjemná, proto její využití je omezené. Pacientovi je vložena do oka kontaktní čočka tak, aby překrývala rohovku a část bělimy. Čočka má v sobě zabudované cívkky, které při pohybu oka indukují elektrický proud. V okolí musí být magnetické pole, aby bylo možné indukovaný proud změřit. [6]

# 4 EYETRACKERY VYUŽÍVAJÍCÍ INFRAČERVENÉ ZÁŘENÍ

Eyetrackery se liší umístěním zdroje záření a snímacího systému vzhledem k vyšetřovanému. Můžeme je rozdělit do dvou základních skupin:

- Statické eyetrackery
- Hlavové eyetrackery

## 4.1 Statické eyetrackery

Statické eyetrackery jsou nejpoužívanějším typem. Zdroj záření i snímací zařízení jsou umístěny před vyšetřovaným na stole, či připevněny na monitoru apod. Můžeme je podle vzdálenosti od vyšetřovaného rozlišit na blízké a vzdálené. [6][8]

Blízké eyetrackery jsou v kontaktu s vyšetřovaným. Brada leží na podložce a čelo se opírá o opěrku, která je spojena s eyetrackerem. V tomto zařízení je společně umístěn zdroj záření i snímací zařízení. Opěrka omezuje pohyby hlavy, což je diskomfort pro pozorovatele. Díky omezenému pohybu hlavy jsou získány přesnější data v porovnání s eyetrackery vzdálenými. [6]

Vzdálené eyetrackery jsou umístěny blízko místa, na které se pozorovatel zaměřuje. Takovým místem je například monitor, promítací plátno, přední sklo v autě apod. Pozorovatel může hlavou mírně pohnout, což způsobuje nepřesnosti měření. Tudiž v porovnání s hlavovými i blízkými statickými zařízeními získáváme méně přesná data. Výhodou je, že pozorovatel se cítí přirozeněji, což vede k reálnějším reakcím pozorovatele. Příklad vzdáleného eyetrackeru je uveden na obrázku 5. [6]



Obrázek 5 – Statický vzdálený eyetracker [12]

## 4.2 Hlavové eyetrackery

Zdroj záření i snímací zařízení je umístěno na hlavě pozorovatele. Eyetracker je připevněn například na helmě, brýlích či čepici. Díky pevnému připevnění a tím konstantní vzdálenosti očí od eyetrackeru se pozorovatel může pohybovat a zaznamenávat pohyby očí při reálných situacích, například při sportu, řízení auta apod., což u statických eyetrackerů není možné. Pro některé pozorovatele může být hlavový eyetracker diskomfortem, necítí se přirozeně, tudíž reakce můžou být zkreslené. Hlavový eyetracker připevněný na brýlích je na obrázku 6. [6]



Obrázek 6 – Hlavový eyetracker připevněn na brýlích [13]

## 4.3 Srovnání eyetrackerů

Každý eyetracker je popsán parametry. Mezi nejdůležitější parametry eyetrackerů lze řadit rozsah zorného pole, přesnost měření, vzorkovací frekvenci a rozlišení. [14]

Největší rozsah zorného pole mají hlavové eyetrackery – až 82° horizontálně a 52° vertikálně. Statické eyetrackery mají zorné přibližně 40° horizontálně a 25° vertikálně. To znamená, že ze vzdálenosti 70 cm od pozorovatele je šířka zorného pole eyetrackeru rovna asi 50 cm. [8][15][16]

Přesnost měření vyjadřuje odchylku naměřené souřadnice od reálné souřadnice a je udávána ve stupních. Nejpřesnější jsou hlavové eyetrackery, které mají přesnost až 0,05°. U statických snímačů je přesnost udávána mezi 0,5–2°. Přesnost je ovlivněna okolnostmi měření. Záleží především na kvalitě kalibrace a změnách polohy hlavy v čase mezi kalibrací a měřením. Na přesnost má vliv také barva očí, slzy, zda pozorovatel má při měření brýle, či kontaktní čočky. Dalším faktorem ovlivňujícím přesnost může být úroveň osvětlení v místnosti. Uvedené faktory ovlivní přesnost až o 0,3°. Pokud by došlo ke změně osvětlení během průběhu měření, přesnost by mohla klesnout až o 1,5°.

U statických vzdálených eyetrackerů je přesnost měření závislá především na pohybech pozorovatele během kalibrace či měření. [8][17]

Vzorkovací frekvence udává počet snímků kamery za sekundu. U hlavových eyetrackerů se udávají hodnoty do 250 Hz. U statických snímačů je vzorkovací frekvence vyšší – až do 1250 Hz. Vždy záleží na hardwaru daného snímače. Čím vyšší je vzorkovací frekvence, tím více snímků za sekundu je pořízeno, čímž lze snímat změny pohledu v kratších časových intervalech. [8]

Rozlišení je přibližně srovnatelné u všech uvedených druhů eyetrackerů. Udává se v pixelech, což je nejmenší jednotka obrazu. Rozlišení eyetrackerů je 1920x1080 pixelů. [15][16]

Typ eyetrackeru ovlivňuje pozorovatele psychicky, což může změnit jeho reakce. Především u hlavových eyetrackerů dochází k velkému ovlivnění pozorovatele. Nejmenšího ovlivnění je dosaženo u vzdálených statických eyetrackerů, kde není žádné fyzické spojení eyetrackeru s pozorovatelem.

Jelikož v práci jsou snímány především reakce na nehody, je při měření použit statický vzdálený snímač. Průměrná přesnost zařízení je  $0,5-1^\circ$ . Pokud by člověk pozoroval obrazovku ze vzdálenosti 60 cm, pak tato přesnost odpovídá prostorovému rozlišení přibližně 0,5–1 cm na obrazovce. Vzorkovací frekvence je rovna 30 Hz, což je dostačující k zachycení změn pohybu očí. [14]

# 5 HODNOCENÍ POHYBU OČÍ

## A VELIKOSTI ZORNIC

Metody hodnocení jsou závislé na měřených objektech, především, zda se jedná o objekt statický či proměnný v čase. Za statický objekt lze považovat například obraz, webovou stránku, či text. Objektem proměnným v čase je video či reálná scéna.

Práce se zabývá hodnocením záznamů pohybu očí získaných při sledování videí různými pozorovateli, tudíž následně budou popsány metody pro hodnocení objektů proměnných v čase.

### 5.1 Hodnocení pohybu očí

Místo pohledu probanda v daném snímku lze snadno hodnotit vizuálně pomocí bodu či oblasti, kterou v daný okamžik proband sledoval. Ze záznamu souřadnic očí se hodnotí nejen samotný pohyb očí, ale i parametry, jako jsou rychlost pohybu očí či doba pohledu na určitý objekt.

Rychlost pohybu očí dává informaci o aktivitě probanda během měření, která je ale ovlivněna pozorností, zkušenostmi či únavou řidiče. Rychlost pohybu očí je možné určit z části záznamu, který je tvořen určitým počtem vzorků. Plovoucím oknem je vypočítávána rychlost vždy z šesti vzorků, což v časové oblasti tvoří přibližně čtvrtinu sekundy. Rychlost v části záznamu je dána součtem uražených vzdáleností pohledem, který je vydělen dobou. Pro porovnání jsou vypočítány okamžité rychlosti pohybu očí. Dosažené výsledky rychlostí byly srovnatelné, a proto je následně uvažována pouze aktuální rychlost pohybu očí. Okamžitá rychlost pohybu očí  $v$  je vypočítána z rovnice 1.

$$v = \frac{\sqrt{(x_n - x_{n-1})^2 + (y_n - y_{n-1})^2}}{t} \quad (1)$$

kde  $x, y$  je x-ová a y-nová souřadnice,  $n$  je aktuální snímek a  $t$  je čas.

Zastoupení hodnot rychlostí je snadno reprezentovatelné histogramem. Histogram je sloupový graf vytvořený z dat rozdělených do shodných intervalů. Na ose x jsou jednotlivé intervaly, hodnoty na ose y odpovídají počtu dat zařazených do daného intervalu. Rozložení histogramu lze hodnotit vizuálně. Proložení histogramu přímkou lze získat její rovnici. Je předpokládán velký počet pomalých pohybů, který exponenciálně klesá se zvyšující se rychlostí pohybu očí. Výsledná rovnice je ve tvaru rovnice 2.

$$y = a \cdot e^{b \cdot x} \quad (2)$$

kde  $x$ ,  $y$  je  $x$ -ová a  $y$ -nová souřadnice  $a$ ,  $b$  jsou koeficienty rovnice,  $e$  je Eulerovo číslo.

Pro proložení histogramu je nutné zjistit hodnoty na ose  $y$  odpovídající vždy danému intervalu na ose  $x$ . Zjištěné hodnoty jsou pak souřadnicemi  $x$ ,  $y$  v rovnici 2. Pro zjištění rovnice byl použit toolbox v Matlabu R2015a s názvem *Curve Fitting Toolbox*. Z koeficientů je důležitý především koeficient  $b$  udávající strmost křivky. Předpokládáný je pokles hodnot ve směru  $x$ , tudíž koeficient  $b$  je přepokládán záporný.

Klesání začíná od třetího sloupce histogramu, proto aby nedošlo ke zkreslení jsou hodnoty proloženy až od daného sloupce a první dvě hodnoty tak nejsou při proložení uvažovány. Pro přesné proložení by bylo potřebné užití většího množství exponenciálních křivek, ale jejich interpretace by byla poněkud složitá.

Doba pohledu je důležitá při zjišťování bodů zájmu, jako jsou dopravní značky, billboardy, protijedoucí vozidla či jiné objekty. Sledování dopravního značení je důležité pro zachování bezpečnosti na silnicích. Naopak billboardy umístěné podél komunikací mohou odvádět pozornost řidičů od jízdy. Parametr doby pohledu na určitá místa je využitelný při určování zkušenosti řidiče. Zkušenější řidiči setrvávají pohledem na objektech kratší dobu než řidiči nezkušení. Důvodem je, že nezkušený řidič vizuální scénu zpracovává déle a často také není schopen rozeznat nebezpečnou situaci. [6][18]

Pohyby očí jsou neustálé, tudíž nelze uvažovat každou změnu souřadnice jako změnu pohledu. Četnost změny pohledu během celého videa je určena počtem změn sledované oblasti. Oblast byla odvozena ze souřadnic, kdy probandí sledovali červený bod na počátku videa. Během sledování daného bodu se souřadnice měnily v rozmezí 50 pixelů ve směru osy  $x$  a 40 pixelů ve směru osy  $y$ .

Doba pohledu na jednotlivé značky a billboardy byla zjištěna porovnáním obrazů s příslušnými souřadnicemi záznamu. V případě, že se souřadnice nacházely v oblasti určovaného objektu, byla pozice započítána. Doba pohledu na daný objekt je určena součtem shodujících se pozic vyděleným počtem snímků za sekundu.

## 5.2 Hodnocení velikosti zornice

Velikost zornice je u každého jedince individuální. Pohybuje se v rozmezí 2–8 cm. Velikost pupily závisí především na věku (největší je v době dospívání jedince), pohlaví, barvě duhovky.[8][19] Při vyhodnocení proto nebude hodnocena absolutní hodnota velikosti pupily, nýbrž rozdíl mezi aktuální a průměrnou hodnotou z celého snímání.

Zornice funguje jako clona, tudíž se její průměr mění s intenzitou světla. Při větším osvětlení se zornice zúží, naopak v šeru a tmě se rozšíří. Proto je při měření nutné v místnosti zachovat konstantní osvětlení. [19]

Velikost pupil mírně kolísá také působením vegetativního nervového systému. Sympatikus zodpovídá za reakce organismu při nebezpečí – převládá při strachu, leknutí,



překvapení, stresu, fyzické námaze apod. Dochází tak k dilataci zornic. Naopak parasymptikus převažuje v době klidu, což může být například před spaním či po jídle. Působením parasymptiku dochází k zúžení pupil. [20]

Především kolísání způsobené úlekem, strachem či naprostým klidem před spánkem bude v následující části práce hodnocen. Průměr pupily může tímto vlivem kolísat přibližně do 0,5 mm. [20]

Řidiči na stejnou situaci mohou reagovat rozdílným způsobem či jinak dlouhou dobu. Předpokladem je, že srážku vozidel řidič vyhodnotí jako stresující, tudíž dojde k dilataci zornic. Proto v práci je hodnocena doba rozšiřování a zužování zornic před a po dopravních nehodách. Moment, kdy si proband všimne ohrožující situace a vyhodnotí ji za nebezpečnou se projeví dilatací pupily. Moment je následně přiřazen k danému obrazu a tím je zjištěno, kdy proband začal na situaci reagovat.

Doba zvětšování a zmenšování pupily je u každého řidiče individuální. Aby bylo možné spočítat jednotlivé doby, je nutné znát tři pozice – bod, kdy se pupila začne dilatovat, kdy dosáhne maxima a kdy se vrátí k původní hodnotě před zvětšováním. Počáteční bod je vymezen momentem, kde dojde ke zvětšení a následně až do maxima se rapidně nesníží. Moment, kdy nastane lokální maximum velikosti pupily, je označen jako koncový bod zvětšování zornice. Třetím bodem je pozice, kdy dojde k uklidnění probanda – velikost pupily v dané pozici je rovna či nižší než v počátečním bodě. V případě nepoklesnutí na původní hodnotu mohou nastat dvě situace. Jestliže velikost pupily stále klesá, je za třetí bod považován poslední snímek videa. Pokud před koncem záznamu dochází k opětovnému zvětšování pupily, je za bod považována poslední pozice před konečným zvětšováním.

Rozdíl mezi první a druhou pozicí vydělený počtem snímků za sekundu udává dobu zvětšování pupil před daným momentem (nehodou). Doba zvětšování zornic se může lišit dle pozornosti, únavy a zkušenosti řidiče. Obdobně rozdíl mezi druhou a třetí pozicí vydělený počtem snímků videa za sekundu je doba zmenšování zornice. Doba uklidnění je ovlivněna vlastnostmi a zkušenostmi probanda.

Maximální změna pupily je odrazem celkové reakce probanda na srážku vozidel. Změna velikosti zornice je dána rozdílem hodnot na první a druhé pozici (pozice před zvětšováním pupily a pozice lokálního maxima pupily).

## 6 ZÁZNAM POHYBU OČÍ

Pro měření byl použit přístroj firmy TheEyeTribe. Jedná se o bezkontaktní statický eyetracker (přípevněný na stole, monitoru apod.), složený ze zdroje infračerveného záření a snímací kamery. Zdroj záření ve formě matice infračervených LED diod vysílá neviditelné infračervené světlo, které se po dopadu na rohovku odráží zpět a je pomocí kamery zaznamenáváno. Protože se vlnová délka zdroje záření nachází mimo spektrální oblast viditelného světla, měřený subjekt vyzařované světlo nevnímá a není jím rozptylován během používání přístroje. Eyetribe využívá metodu „tmavé zornice“, popsanou v kapitole 3.1. Zařízení je přenosné díky malým rozměrům a své nízké hmotnosti. Fotografie eyetrackeru je na obrázku 7. [21]



Obrázek 7 – Fotografie zařízení TheEyeTribe

### 6.1 Obsah videosekvencí

Pro výzkum pohledu řidiče v praktické části práce byly vybrány dva videozáznamy dopravních situací natočené při řízení vozidla z pohledu řidiče.

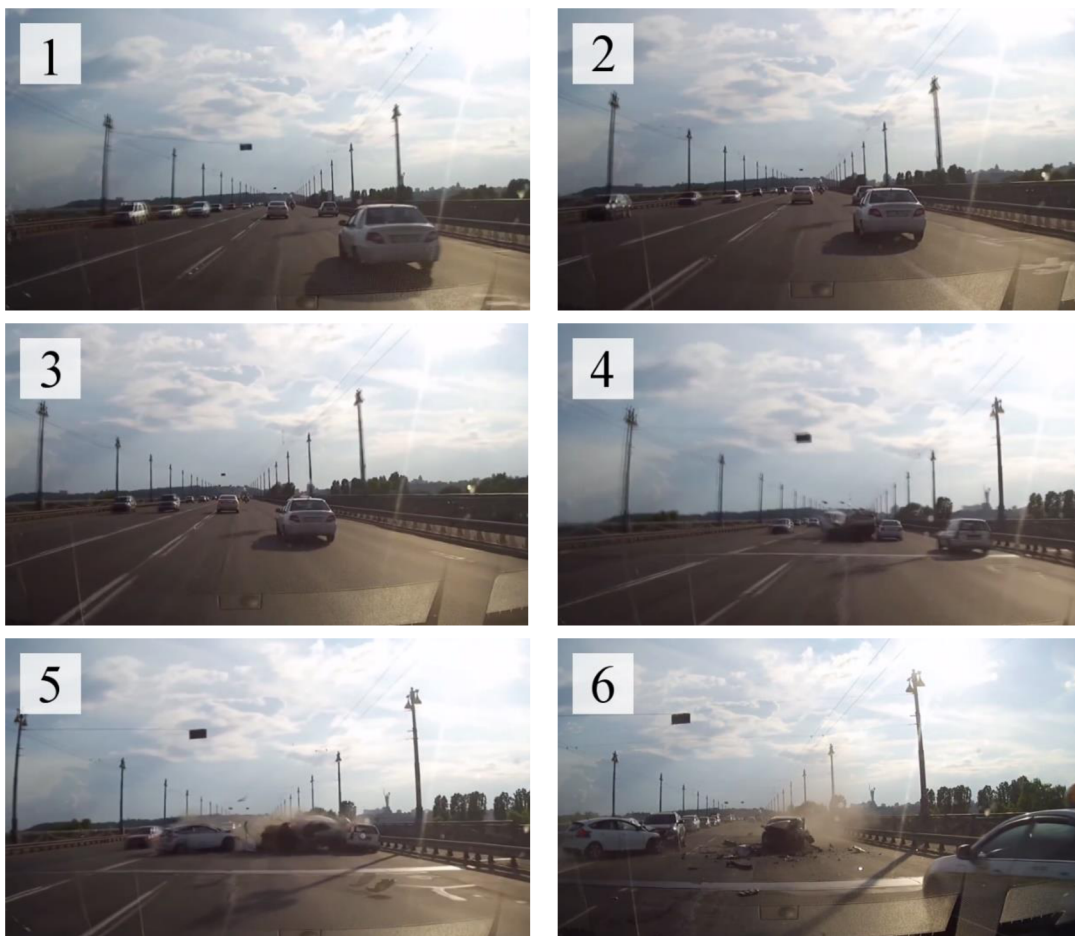
V prvním z videí řidič osobního automobilu vjíždí do křižovatky označené značkami, následuje jízda po silnici. Z pravé strany vyjede v dané chvíli automobil, který se srazí s protijedoucím nákladním automobilem. Srážka je v zorném poli řidiče vozidla, které v okamžiku brzdí. Celá situace se odehrává ve městě za deště a při denním světle. Scénář prvního videa zobrazuje obrázek 8.



**Obrázek 8 – Obsah videosekvence 1**

Ve videu uživatel sleduje jízdu za normálních okolností, tudíž lze hodnotit, zda sleduje okolnosti řízení – např. zda do křižovatky může vjet – a značky či protijedoucí vozidla. Z druhé části tohoto videa lze vyhodnotit reakci na srážku osobního automobilu s nákladním před zrakem řidiče za snížených podmínek viditelnosti.

Druhým videem je záznam jízdy po dálnici, při níž došlo k neočekávané srážce. Z videa bude hodnocena reakce očí na srážku vozidel za dobře viditelných podmínek. Obsah videosekvence je znázorněn obrázkem 9.



Obrázek 9 – Obsah videosekvence 2

## 6.2 Omezení metody a podmínky měření

Omezení měření vyplývají z principu metody, která byla popsána v kapitole 3.1.

Eyetracker snímá odražené světlo od sítnice. Proto je nutné, aby uživatel neměl brýle či kontaktní čočky. Došlo by ke snížení rozpoznatelnosti zornice ve videozáznamu vedoucí k možným výpadkům při záznamu dat.

Dalším omezením pro některé uživatele je nutnost vlastnit počítač s USB portem verze 3.0. USB 3.0 port je důležitý pro rychlý přenos dat z eyetrackeru do počítače.

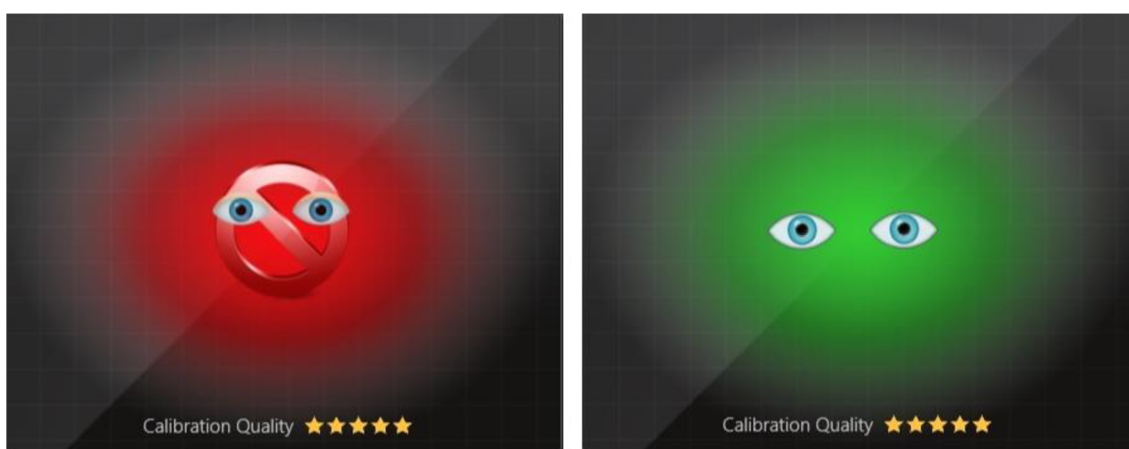
Aby bylo měření správné, je nutné záznam pohybu očí provádět v místnosti, kde je šero. Konstantní světelné podmínky lze realizovat zhasnutím světel v pokoji, popřípadě zatáhnutím závěsů či žaluzií.

Pro správný záznam je zapotřebí zvolit vzdálenost pozorovatele od eyetrackeru v rozmezí 45–75 cm. Pokud by tato vzdálenost byla nižší, eyetracker by nebyl schopen zaznamenat souřadnice při větších pohybech očí. Při opakovaných měřeních je nutno dodržovat konstantní vzdálenost. [21]

## 6.3 Příprava na měření

Po zajištění podmínek pro měření lze přejít k přípravě měření. Pozorovatel je usazen na židli tak, aby vzdálenost mezi hlavou a zařízením byla rovna 50 cm. Hlava je v úrovni monitoru, aby pozorovatel sledoval obrazovku kolmo. Pro zamezení větších pohybů hlavy je brada podložena, jak lze vidět na obrázku 16.

Po připojení eyetrackeru k počítači jsou spuštěny programy EyeTribe UI a EyeTribe Server. Obličej pozorovatele musí být v zorném poli eyetrackeru. Eyetracker si vyhledá polohu očí a znázorní ji v programu EyeTribe UI, jak je uvedeno na obrázku 10.



Obrázek 10 – Špatná a správná pozice očí

V případě, že se zobrazí oblast zobrazí červeně, eyetracker není schopen kvůli špatnému umístění hlavy nalézt oči uživatele. Je tedy nutno změnit polohu hlavy, případně eyetrackeru. V případě, že se oblast rozsvítí zeleně, lze přejít ke kalibraci zařízení.

Kalibraci je nutno provést u každého uživatele zvlášť, jelikož každý má charakteristické vlastnosti a postavení očí. Nejdůležitější vlastností je vzdálenost očí. V nastavení programu si uživatel může zvolit přesnost kalibrace pomocí výběru z nabídky různého počtu kalibračních bodů. EyeTribe umožňuje výběr z 9, 12 a 16 bodů. Uživatel během kalibrace sleduje kruhový terčik, který se postupně zobrazuje na různých místech obrazovky, zejména na okrajích. Aby uživatel nebyl ovlivněn jinými objekty či pozadím obrazovky, je při kalibraci zvolen šedý podklad. Prostředí pro kalibraci je zobrazeno na obrázku 11. Jedna devítibodová kalibrace trvá přibližně 20 sekund, a každý terčik je zobrazen asi na 2 sekundy. [12]

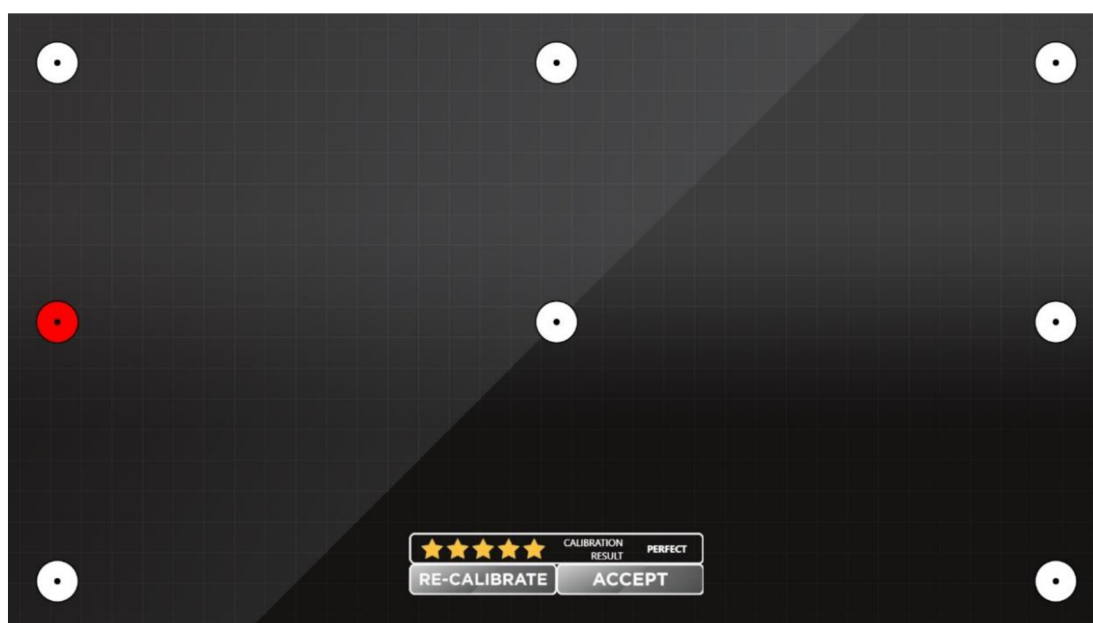
Správně provedenou kalibraci přístroje může uživatel ověřit následovně po kalibraci. Na obrazovce se zobrazí černobílé terčíky. V případě správné kalibrace přístroje se pozorovaný bod rozsvítí červeně v okamžiku, kdy na něj proband pohlédne.



Jestliže se tak nestane, pak je nutno kalibraci opakovat. Ověření správné kalibrace je znázorněno na obrázku 12.



Obrázek 11 – Kruhový terčik při kalibraci zařízení



Obrázek 12 – Kontrola správné kalibrace

## 6.4 Sledování videa a záznam pohybu očí

Po ověření, že je zařízení správně kalibrováno, následuje přehrávání videosekvencí. Oběma videím je předřazeno zobrazení červených teček, díky čemuž lze v záznamu pohybu očí zjistit, kdy přesně začalo přehrávání videa. Na konci videa je opět zařazena tečka pro zjištění pozice skončení přehrávání videosekvence.

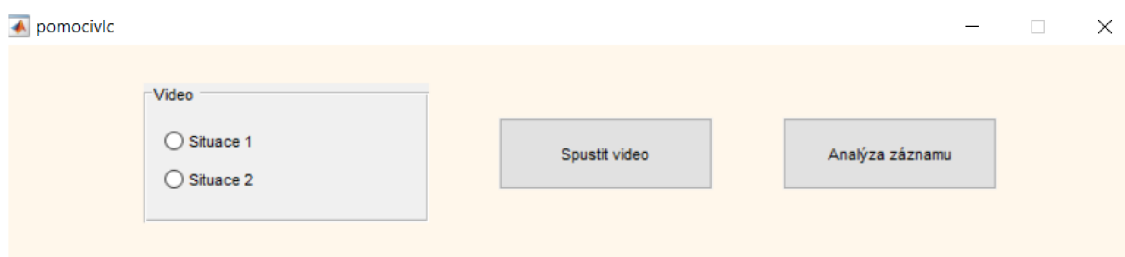
Pro přehrávání videosekvencí byl vytvořen program, který spouští video se současným nahráváním očí a záznam pohybu očí následně zobrazit.

Program je vytvořen v softwaru Matlab R2015a. Uživateli se po spuštění skriptu pro přehrávání videí zobrazí GUI, zobrazené na obrázku 13. V GUI si uživatel vybere

videozáznam. Videozáznamy jsou označeny názvy „Situace 1“ a „Situace 2“. Po volbě videozáznamu je nutno pro spuštění videa zmáčknout tlačítko „Spustit video“. Tlačítkem se spustí video v programu Windows Media Player, a současně je aktivováno nahrávání pohybu očí eyetrackerem. Prostředí přehrávání videa zobrazuje obrázek 14. Po ukončení přehrávání dojde automaticky i k zastavení nahrávání pohybu očí.

Poté si uživatel může zobrazit záznam pohybu očí tlačítkem „Analýza záznamu“. V záznamu je pohyb očí reprezentován kružnicí. Poloha kružnice je ekvivalentní aktuální pozici očí. Její průměr je dán velikostí pupily v daném čase. Zobrazení záznamu zobrazuje obrázek 15.

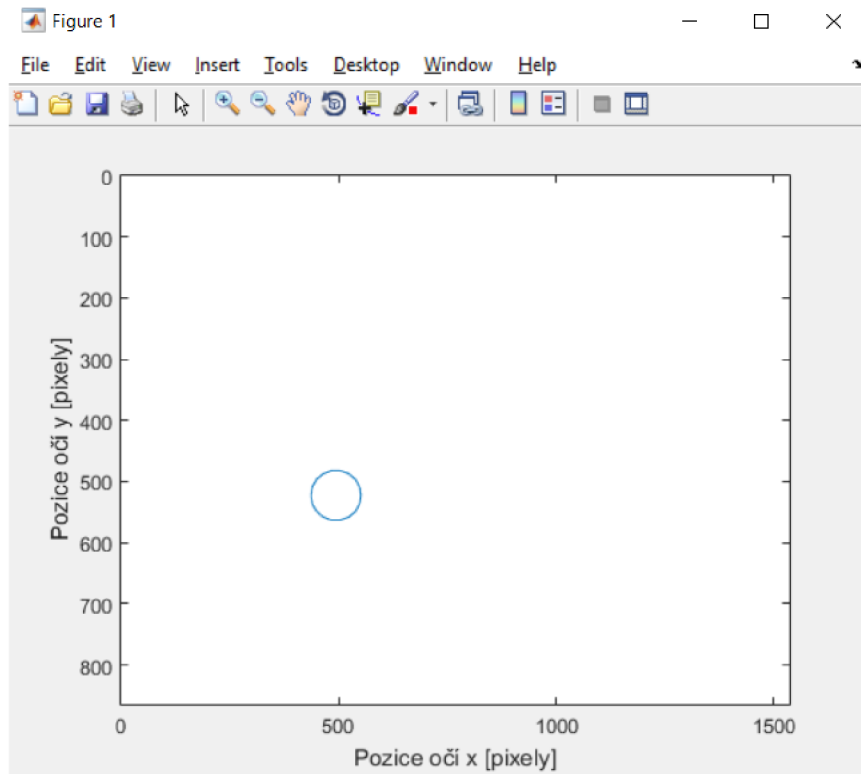
Vyobrazení snímků videa při současném nahrávání pohybu očí je výpočetně náročné. Při spouštění v programu Matlab by docházelo ke zpomalení přehrávání videí, což je pro porovnávání reakcí probandů nežádoucí. Plynulost přehrávání je zajištěno spouštěním videí v externím přehrávači. Příklad snímání pohybu očí probanda je na obrázku 16.



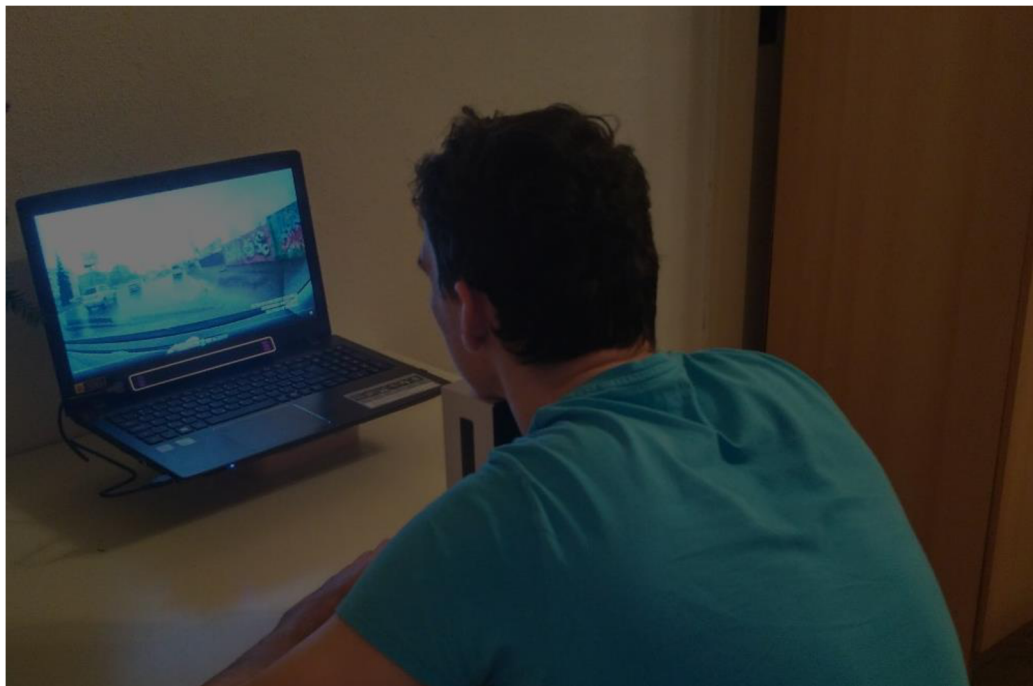
Obrázek 13 – Uživatelské prostředí pro přehrávání videí



Obrázek 14 – Přehrávání videa ve Windows Media Player



**Obrázek 15 – Zobrazení záznamu pohybu očí**



**Obrázek 16 – Fotografie pozorovatele videa**



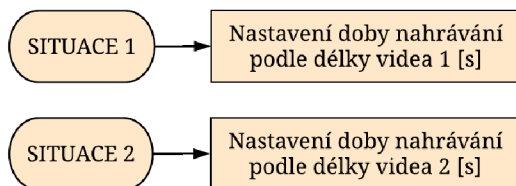
## 6.5 Popis algoritmu navrženého programu

Spuštěním programu se zobrazí grafické rozhraní programu (GUI). Pro výběr videa slouží tlačítka „Situace 1“ a „Situace 2“. Po kliknutí na jedno z tlačítek se do globální proměnné *delka* uloží příslušná délka videa. Délka videa poté určuje dobu snímání pohybu očí eyetrackerem. Stlačením tlačítka „Spustit“ se načtou cesty k funkcím a videím. Dále se vytvoří globální proměnná *mereni*, která je dána aktuálním datem a vybranou situací a slouží pro následné ukládání hodnot z eyetrackeru. Následně je zavolána funkce zajišťující komunikaci Matlabu s eyetrackerem. Aby došlo k načtení všech potřebných dat z eyetrackeru, je zde zavedena pauza 8 sekund. Pro přehrání vybraného videa se načtou hodnoty proměnných *sit1* a *sit2*. Tyto hodnoty odpovídají aktuálnímu výběru situace uživatelem. Pokud je vybrána situace 1 (hodnota *sit1* je rovna 1) načte se a spustí daná videosekvence v programu Windows Media Player (WMP). Stejná podmínka platí pro situaci 2. Jestliže není vybrána ani jedna ze situací, zobrazí se dialogové okno, které uživatele vyzve k výběru jedné ze situací.

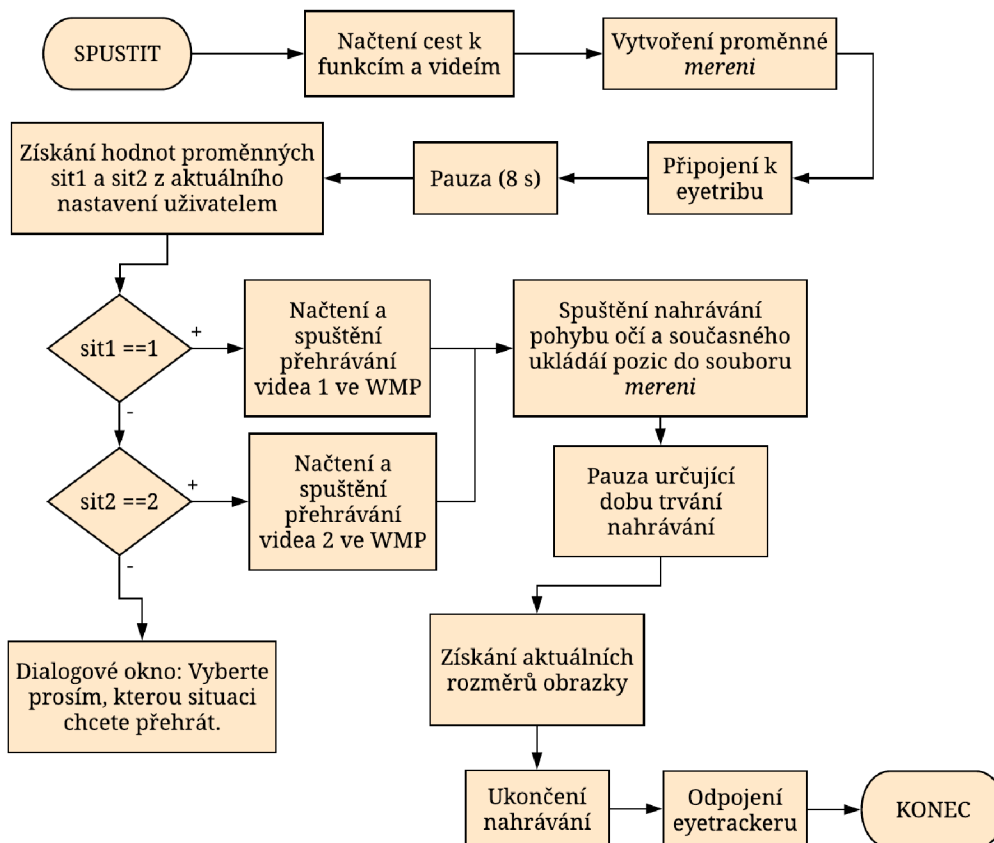
Po spuštění videa neprodleně následuje spuštění nahrávání pohybu očí. Aktuální pozice očí a velikosti pupil se ukládají do textového souboru s názvem proměnné *mereni*. Uloží se také aktuální velikost obrazovky, což je důležité pro pozdější vyhodnocování.

Po spuštění funkce záznam dojde k načtení textového souboru obsahující záznam pohybu očí. Poté jsou z načtených dat extrahovány vektory obsahující potřebná data pro vyhodnocení – souřadnice pohledu očí a průměry pupil pravého i levého oka. Následně jsou interpolovány hodnoty, ve kterých došlo ke krátkodobému výpadku systému. Aby bylo možné určit bod, na který se uživatel v daný okamžik díval, je ze souřadnic pravého a levého oka vypočítán průměr. Podmínkou je, aby vzájemná vzdálenost mezi souřadnicemi pravého a levého oka nebyla větší než 30 pixelů. Průměrováním takových hodnot by došlo k zavedení chyb. Uživateli se do nového okna vykresluje pohyb očí v čase. Algoritmus programu je znázorněn na obrázku 17.

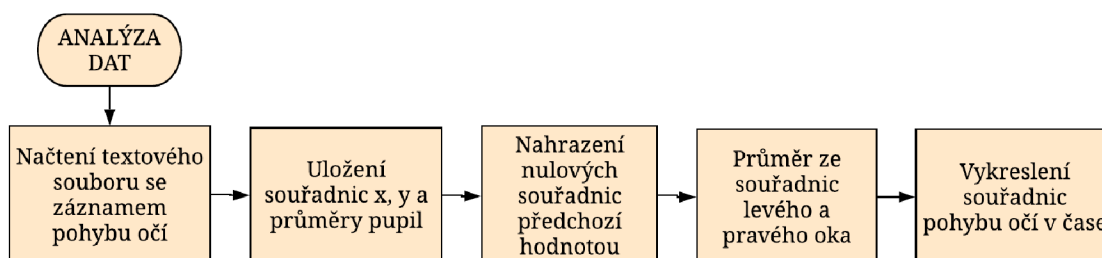
### ČÁST PRO GUI



### ČÁST PRO ZÁZNAM DAT



### ČÁST PRO ANALÝZU DAT



Obrázek 17 – Schéma navrženého programu pro přehrávání videí a analýzu záznamu

## 6.6 Předzpracování dat

Výstupem navrženého programu je textový soubor obsahující časovou řadu souřadnic pohledu každého oka a velikosti obou zornic.

Během snímání pohybu očí dochází ke krátkodobým výpadkům systému. Výpadky systému vznikají během přenosu dat z eyetrackeru do počítače či při následném propojení systému s Matlabem a jsou pravděpodobně způsobené nedostatečným výkonem počítače. Část výpadků by mohla být způsobena také mrkáním pacientů. Většina výpadků trvá v rozmezí 40-240 ms. Počet výpadků je v každém videozáznamu odlišný, průměrně se jedná o jeden výpadek během čtyř sekund videa.

V případě, že by uživatel nespustil analýzu záznamu v programu pro snímání pohybu očí, dochází ke kontrole výpadků systému a stejným způsobem jsou tyto výpadky odstraněny.

Díky zavedení časových značek na počátku a konci záznamu, vizualizované pacientovi formou červené tečky, jsou nalezeny pozice začátku a konce přehrávání videa v záznamu. Úsek mezi pozicemi je extrahován a uložen do pomocné proměnné. Jelikož je vzorkovací frekvence eyetrackeru vyšší (30), než je počet snímků videa za sekundu (25), je potřeba data upravit tak, aby vždy jedna souřadnice odpovídala jednomu snímku videa. To je vyřešeno převzorkováním dat funkcí *resample*. Jedná se o lineární interpolaci dat, která využívá prokládání sousedních bodů úsečkou.

Posledním krokem předzpracování je vytvoření nové proměnné, která je dána průměrem pupil. Aby byl eliminován vliv výpadků systému, je v programu zavedena podmínka, že rozdíl pravé a levé zornice v daném okamžiku nesmí být větší než 5 mm. V případě porušení podmínky, je opět na aktuální pozici uložena hodnota z pozice předcházející.

## 7 VIZUALIZACE DAT

Hodnocení naměřených dat a parametrů je založeno na kvalitní vizualizaci. Pro tento účel byl vytvořen program opět v softwaru Matlab.

Pohyb očí je možné zobrazit dvěma způsoby – například červenou tečkou a šedotónovým překryvem. Červenou tečkou je znázorněn aktuálně nazíraný bod, křivka za tečkou pak vyobrazuje trajektorii, odkud pohyb přichází. Pro dobrou přehlednost je křivka tvořena z pěti předcházejících souřadnic. Vizualizace pomocí červené tečky a křivky trajektorie je znázorněna na obrázku 18.



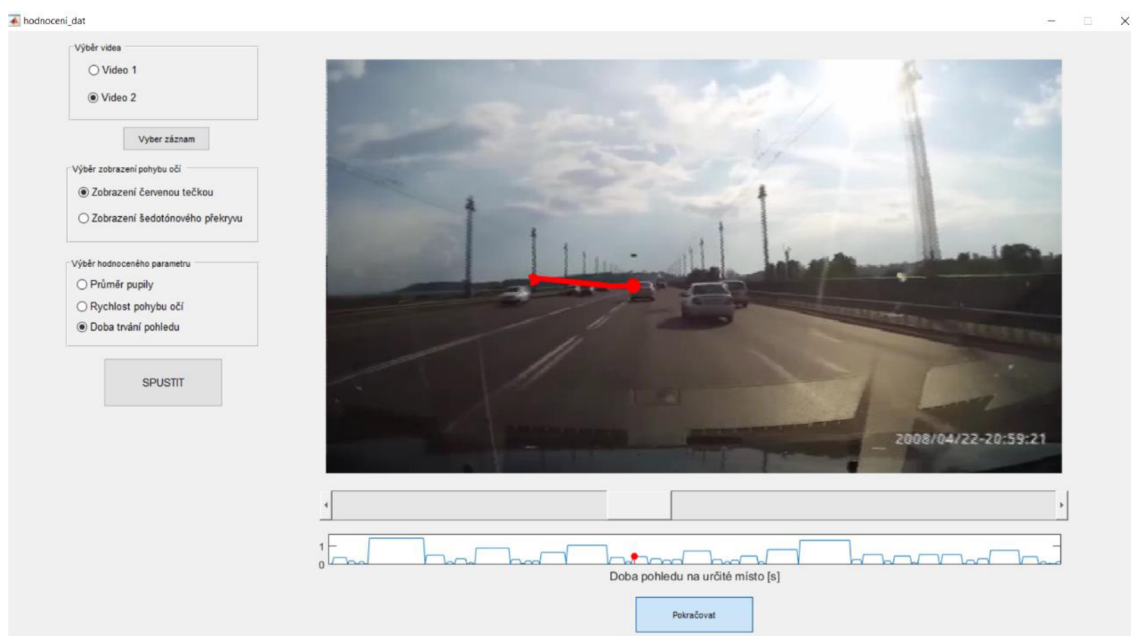
**Obrázek 18 - Vizualizace pohybu očí červenou tečkou a křivkou trajektorie**

Druhý způsob zobrazení využívá obrazový překryv videozáznamu. Pohled probanda v aktuálním okamžiku a těsně před (240 ms) i za ním (240 ms) vytváří oblast, která zůstává barevná. Okolí této oblasti je překryto obrazem transformovaným do šedotónových barev. Zvýraznění sledované oblasti je dosaženo úpravou barev a zároveň je u okolního prostředí snížen jas. Vizualizací formou obrazového překryvu je možno zjistit, na jakou část se proband zaměřoval v delším časovém horizontu – například na obrázku 19 lze vidět, že pozorovaná oblast probanda je velká, tudíž má dobrý přehled o situaci na vozovce.



**Obrázek 19 - Vizualizace pohybu očí šedotónovým překryvem**

Program umožňuje základní ovládání přehrávání videosekvencí. Pro zastavení přehrávání je určeno tlačítko „Pauza“, pro opětovné spuštění tlačítko „Pokračovat“. Uživatel má možnost si přehrávanou scénu libovolně posouvat pomocí posuvníku pod oknem s přehrávanou videosekvencí. Program je vytvořen v uživatelském prostředí, které je znázorněno na obrázku 20.



**Obrázek 20 - GUI navrženého programu**

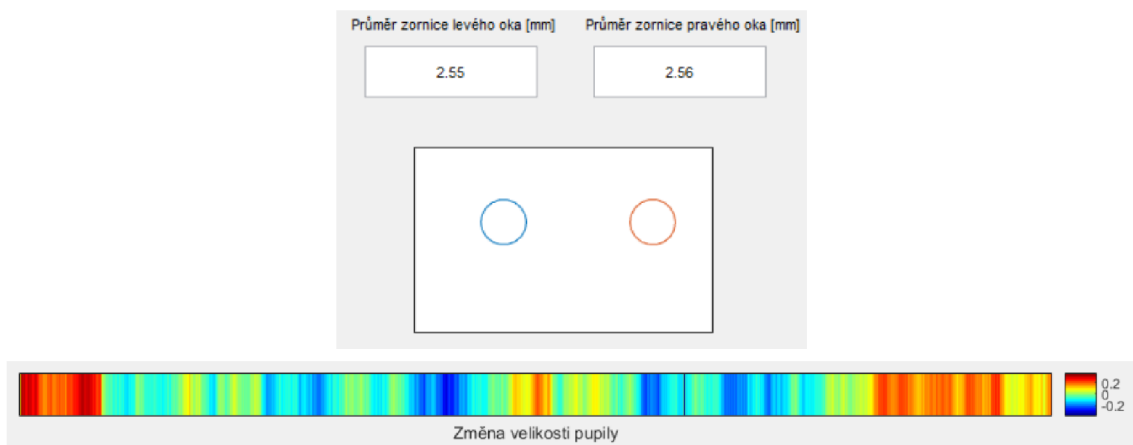
Navrženým programem lze hodnotit nejen samotný pohyb očí, ale i parametry, jakýmiž jsou rychlost pohybu očí, doba pohledu na určitý objekt a velikost či změna velikosti zornice. Program umožňuje výběr hodnocené videosekvence, dále načtení požadovaného záznamu. Po vybrání způsobu zobrazení pohybu očí má uživatel možnost zvolit si jeden z uvedených parametrů. Tlačítkem „Spustit“ uživatel spustí požadované video s vlastním nastavením. Vybraný parametr se zobrazí v okně pod přehrávaným videem.

Parametr rychlosti pohybu očí a doba pohledu na určité místo je vizualizován grafem. Aktuální přehrávaná pozice je v grafu znázorněna červenou tečkou. Grafy jsou zobrazeny na obrázku 21. Rychlost pohybu očí vychází z rovnice 1. Z červené tečky na počátku videa, tedy z doby, kdy se proband díval na jedno místo, bylo určeno prostorové rozlišení. Z rozlišení pak vychází výpočet doby pohledu na jedno místo.

Změna průměru pupily je reprezentována barevnou škálou, na níž modrá barva poukazuje na zmenšení, červená barva pak na zvětšení průměru zornice. Změna je vztažena k průměrné hodnotě zornice probanda. Okamžitá absolutní hodnota průměru pupily je znázorněna v grafu kružnicemi. Nad grafem jsou uvedeny aktuální hodnoty průměrů obou pupil. Vizualizace hodnocení průměrů pupil je na obrázku 22.



**Obrázek 21 - Grafy hodnocených parametrů**



**Obrázek 22 - Vizualizace parametrů hodnotící průměr pupily**

## 8 INTERPRETACE VÝSLEDKŮ

V rámci práce byl zaznamenán pohyb očí 12 dobrovolníků. Dobrovolníci byli rozděleni na dvě skupiny – subjektivně zkušení a nezkušení řidiči. Aby nedošlo k ovlivnění výsledků věkem, byla vybrána jedna věková kategorie v rozmezí věku 21-24.

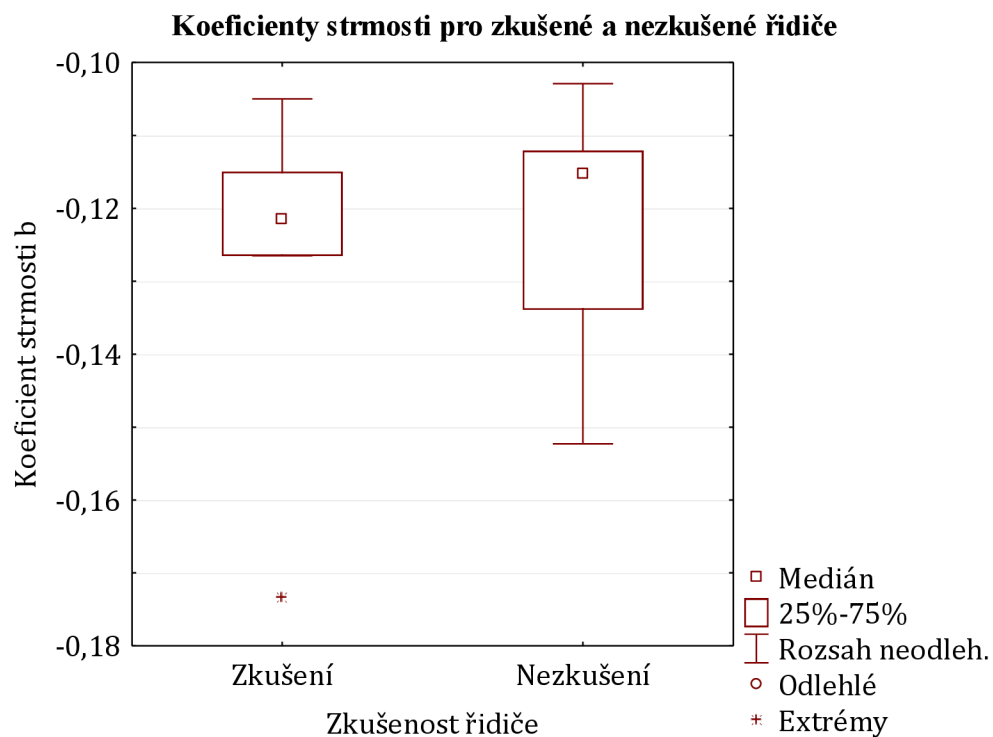
Výsledky měření byly statisticky zpracovány v programu Statistica 12. V prvním kroku bylo testováno normální rozložení dat. Pro testování byl použit Shapirův-Wilkův test. Data některých parametrů normalitu nespĺňovala. Jelikož není splněno normální rozložení dat a v testované skupině je relativně nízký počet vzorků, je nutné vybrat neparametrický test. Jsou testovány dvě navzájem nezávislé skupiny dat, tudíž je pro analýzu použit dvouvýběrový nepárový test. Nejvhodnější test splňující předešlá kritéria je Mann Whitney test. [22][23] Pro přehlednost výsledků měření byly vytvořeny podkapitoly zabývající se jednotlivými hodnocenými parametry.

### 8.1 Rychlost pohybu očí

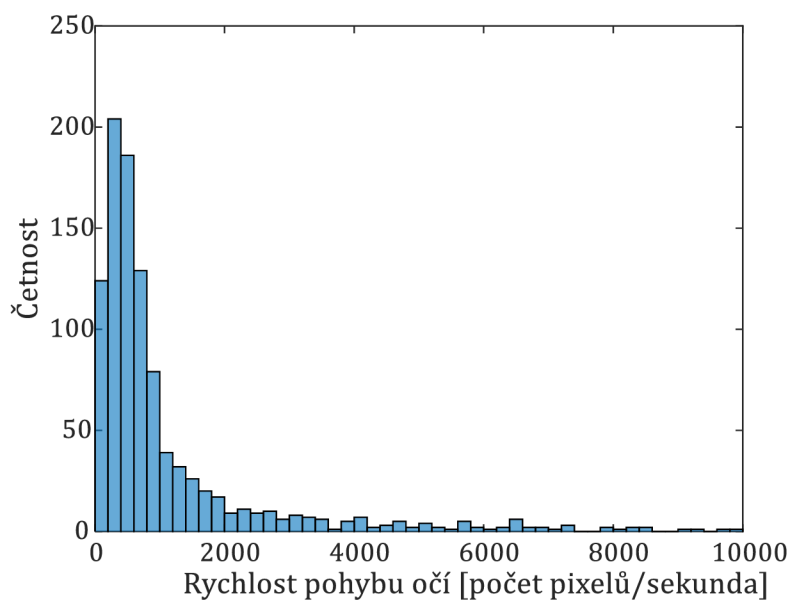
Z naměřených dat byly podle vzorce 1 vypočítány rychlosti pohybů očí. Z dat byly vytvořeny histogramy rychlosti pohybu očí. Histogramy zastupující skupinu zkušených i nezkušených jsou znázorněny na obrázcích 24 a 25. Proložení dat exponenciální křivkou je získána strmost histogramu, což vypovídá o zastoupení rychlosti pohybů očí. Strmost je popsána koeficientem  $b$  (z rovnice 2). Data získaná proložení histogramu křivkou jsou uvedena v tabulce 1.

Proband	Zkušenost	Koeficient strmosti histogramu $b$ [-]	
		Situace 1	Situace 2
1.	Zkušený	-0,115	-0,138
2.	Zkušený	-0,127	-0,111
3.	Zkušený	-0,117	-0,124
4.	Zkušený	-0,173	-0,124
5.	Zkušený	-0,126	-0,127
6.	Zkušený	-0,105	-0,115
7.	Nezkušený	-0,118	-0,095
8.	Nezkušený	-0,112	-0,125
9.	Nezkušený	-0,134	-0,133
10.	Nezkušený	-0,103	-0,142
11.	Nezkušený	-0,113	-0,093
12.	Nezkušený	-0,152	-0,074

Tabulka 1 – Koeficienty  $b$  udávající strmosti histogramů

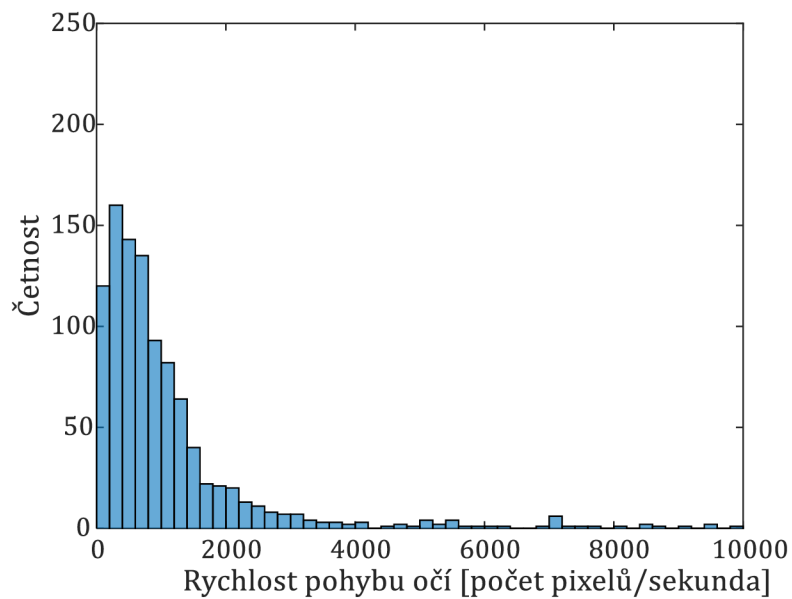


**Obrázek 23 - Krabicový graf strmosti histogramů rychlosti pohybu očí ve videu 1**



**Obrázek 24 - Histogram rychlosti pohybu očí nezkušeného řidiče**





**Obrázek 25 - Histogram rychlosti pohybu očí zkušeného řidiče**

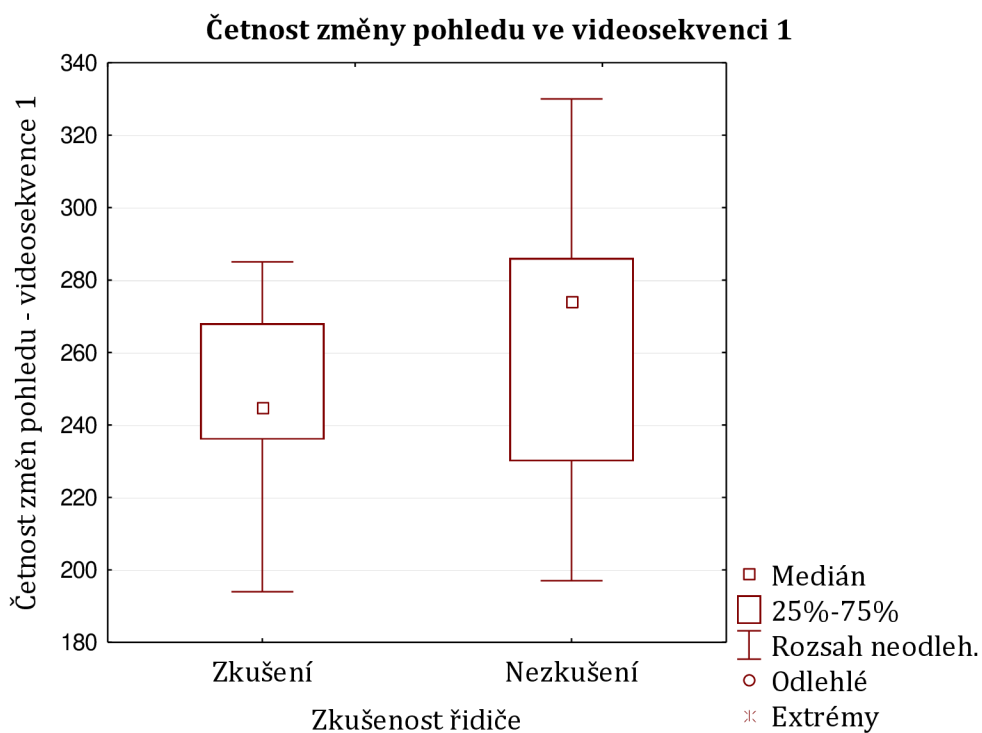
Ze získaných koeficientů strmostí histogramů byl vytvořen krabicový graf porovnávací hodnoty skupiny zkušených a nezkušených řidičů. Graf je znázorněn na obrázku 23. Více záporné hodnoty značí rychlejší pokles histogramu. Rychlejší pokles je pak dán menším množstvím rychlejších pohybů. Na obrázku 24 je uveden histogram nezkušeného řidiče. V porovnání s histogramem na obrázku 25, který přísluší zkušenému řidiči, lze pozorovat strmější průběh u nezkušeného řidiče. Mezi skupinami řidičů byl testován statistický rozdíl na hladině významnosti 0,05. P-hodnota vycházející z první situace je rovna 0,70, z druhé pak 0,82. Statistický rozdíl mezi skupinami řidičů nebyl prokázán ani v jedné ze situací.

## 8.2 Četnost změny pohledu během videosekvencí

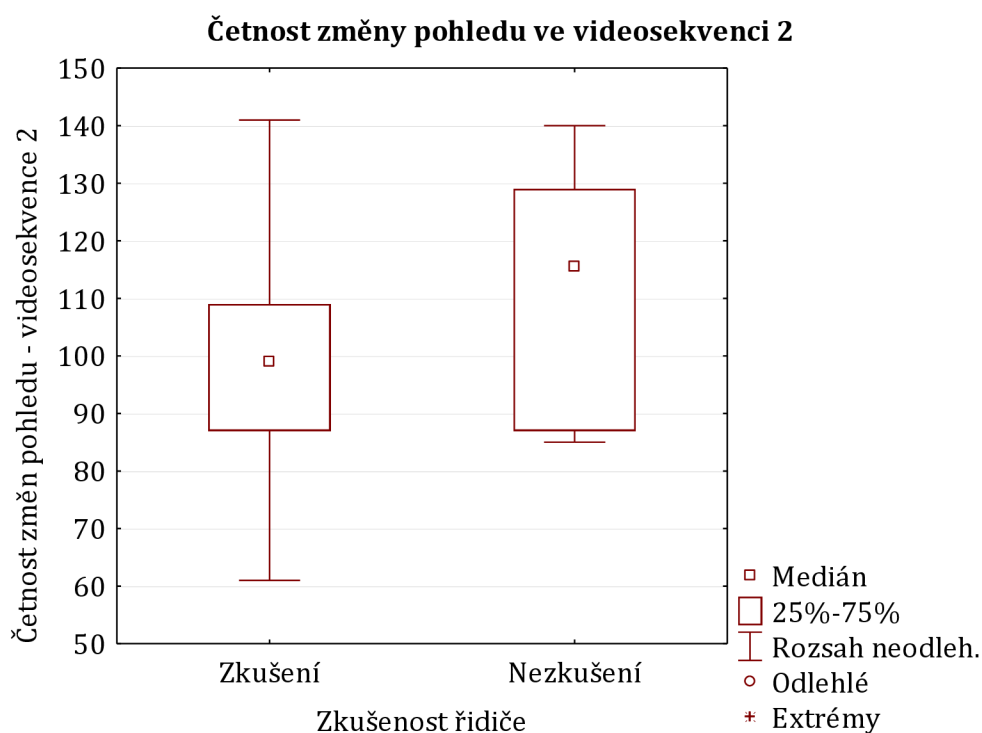
Počet změn pohybu očí během pozorovaných videosekvencí je uveden v tabulce 2.

Proband	Zkušenost	Četnost změny pohledů	
		Situace 1	Situace 2
1.	Zkušený	194	61
2.	Zkušený	236	109
3.	Zkušený	238	87
4.	Zkušený	251	109
5.	Zkušený	268	89
6.	Zkušený	285	141
7.	Nezkušený	197	85
8.	Nezkušený	230	87
9.	Nezkušený	271	109
10.	Nezkušený	277	122
11.	Nezkušený	286	140
12.	Nezkušený	330	129

Tabulka 2 – Četnost změny pohledů pozorovatelů během videosekvencí



Obrázek 26 – Krabicový graf četnosti změny pohledu – videosekvence 1



**Obrázek 27 – Krabicový graf četnosti změny pohledu – videosekvence 2**

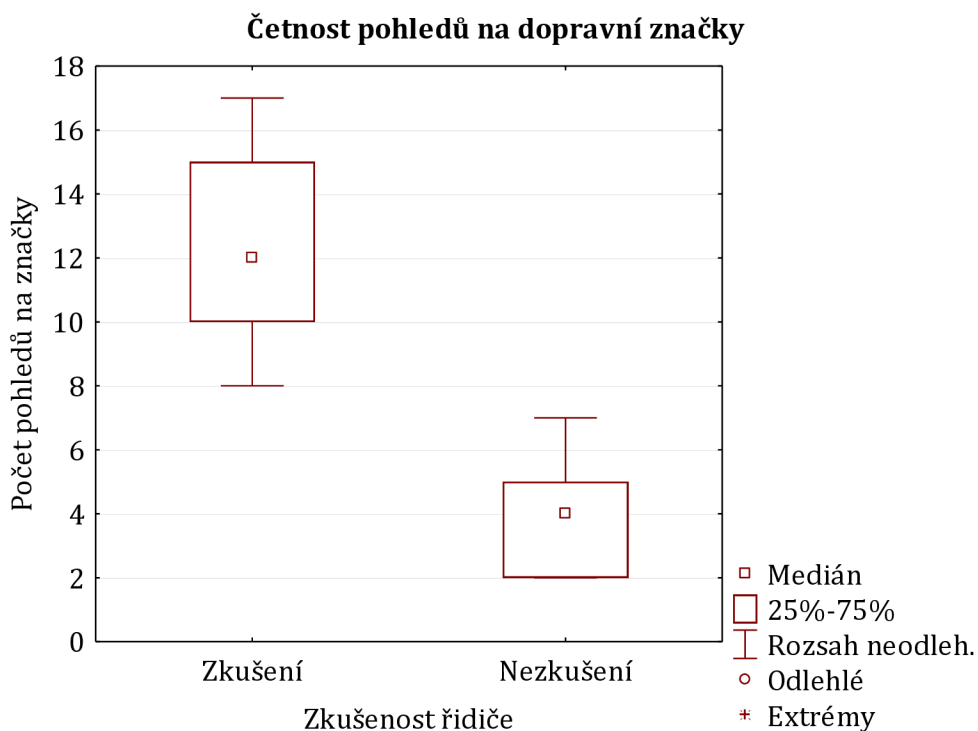
Na obrázku 26 a 27 jsou vizualizovány četnosti změny pohledů během sledování dopravní situace. Data byla rozdělena dle zkušenosti probandů. Předpokladem bylo, že u zkušených řidičů bude četnost změny pohledu vyšší. Z grafů je patrné, že počet změn není příliš ovlivněn zkušenostmi řidiče. Na hladině významnosti 0,05 byl testován rozdíl počtu změn pohledů mezi subjektivně zkušenými a nezkušenými řidiči. P-hodnota pro první videosekvenci je 0,39 a pro druhou 0,59. Jelikož jsou hodnoty vyšší než 0,05 hypotéza o shodě skupin není zamítnuta. Neexistuje tedy statisticky významný rozdíl v četnosti pohledů mezi subjektivně zkušenými a nezkušenými řidiči. Stejný výsledek pro obě videosekvence značí, že četnost pohledů nezávisí na situaci, ve které se řidič pohybuje. Parametr je podle mého názoru značně ovlivněn tím, že se jedná o videosekvence, nikoli o reálné situace. Při reálné jízdě by řidič sledoval mnoho dalších objektů, jakýmiž jsou například zpětná zrcátka, palubní deska apod.

### 8.3 Doba a četnost pohledu na značky a billboardy

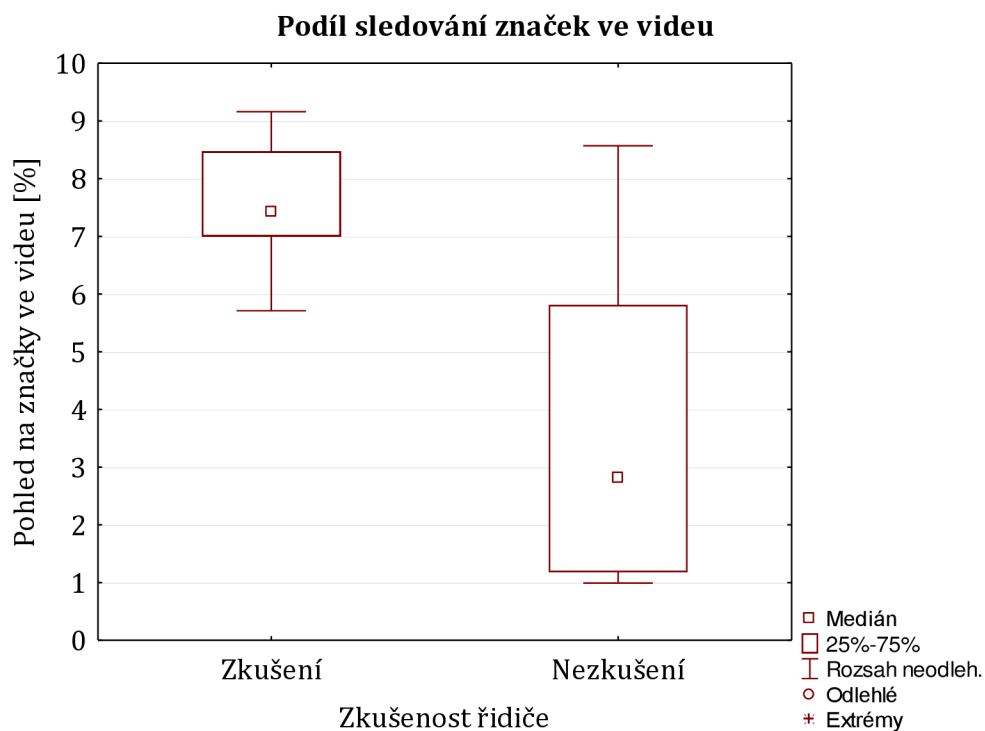
První videosekvence zaznamenává pohyb řidiče ve městě, kde se vyskytují dopravní značky a billboardy. V této kapitole je proto hodnocena četnost pohledů a doby pohledů na tyto objekty. Přehled dob sledování objektů a četnosti pohledů na objekty je uveden v tabulkách 3 a 4.

Proband	Zkušenosť	Celkový počet pohledů	Celková doba pohledů	Průměrná délka pohledu	Doba pohledu na značky [%]
1.	Zkušený	8	2,32	0,29	5,71
2.	Zkušený	13	3,72	0,29	9,16
3.	Zkušený	10	2,84	0,28	7,00
4.	Zkušený	15	2,92	0,19	7,19
5.	Zkušený	11	3,12	0,28	7,68
6.	Zkušený	17	3,44	0,20	8,47
7.	Nezkušený	2	0,48	0,24	1,18
8.	Nezkušený	5	1,72	0,34	4,24
9.	Nezkušený	7	3,48	0,50	8,57
10.	Nezkušený	5	2,36	0,47	5,81
11.	Nezkušený	2	0,40	0,20	0,99
12.	Nezkušený	3	0,56	0,19	1,38

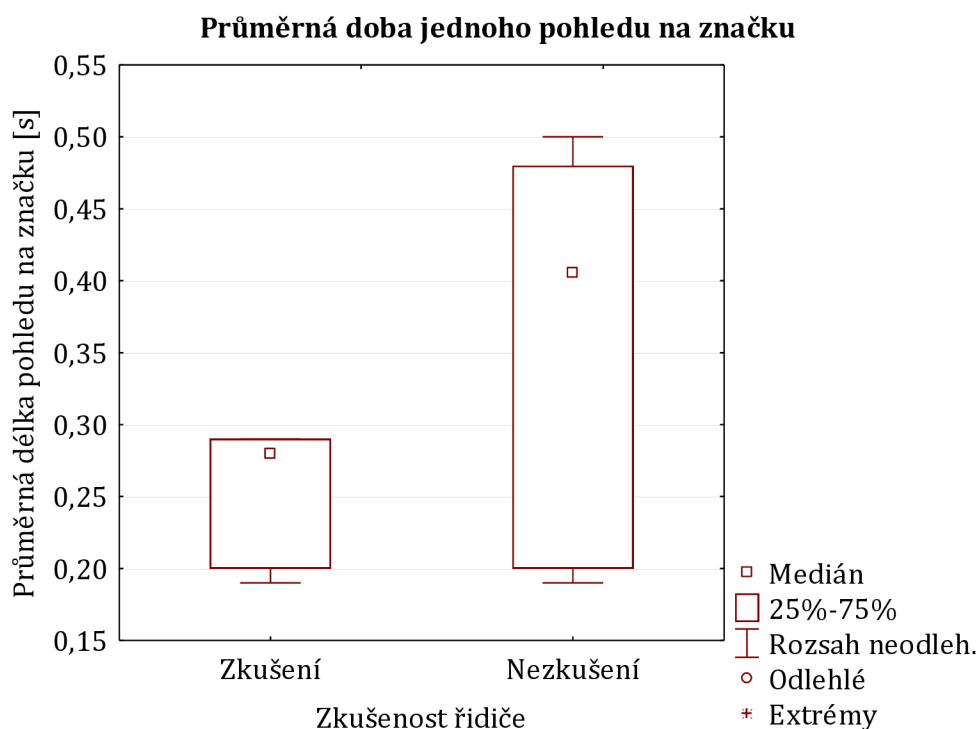
Tabulka 3 – Doba a četnost pohledů na dopravní značky ve videosekvenci 1



Obrázek 28 – Krabicový graf četnosti pohledů na dopravní značky



**Obrázek 29 - Krabicový graf podílu sledování značek ve videu**



**Obrázek 30 – Krabicový graf průměrné doby jednoho pohledu na značku**

Z grafu vizualizovaném na obrázku 28 je patrné, že zkušení řidiči v průběhu videa zaznamenali více dopravních značek než řidiči nezkušení. U skupiny zkušených řidičů se

počet pohledů na značky pohybuje v rozmezí 8-17, a medián je roven 12. U skupiny nezkušených počet pohledů na značky je maximálně 7 a medián je 4. Na hladině významnosti 0,05 bylo statisticky ověřeno, že mezi skupinou zkušených a nezkušených řidičů existuje rozdíl v počtu pohledů na dopravní značky (p-hodnota je rovna 0,002).

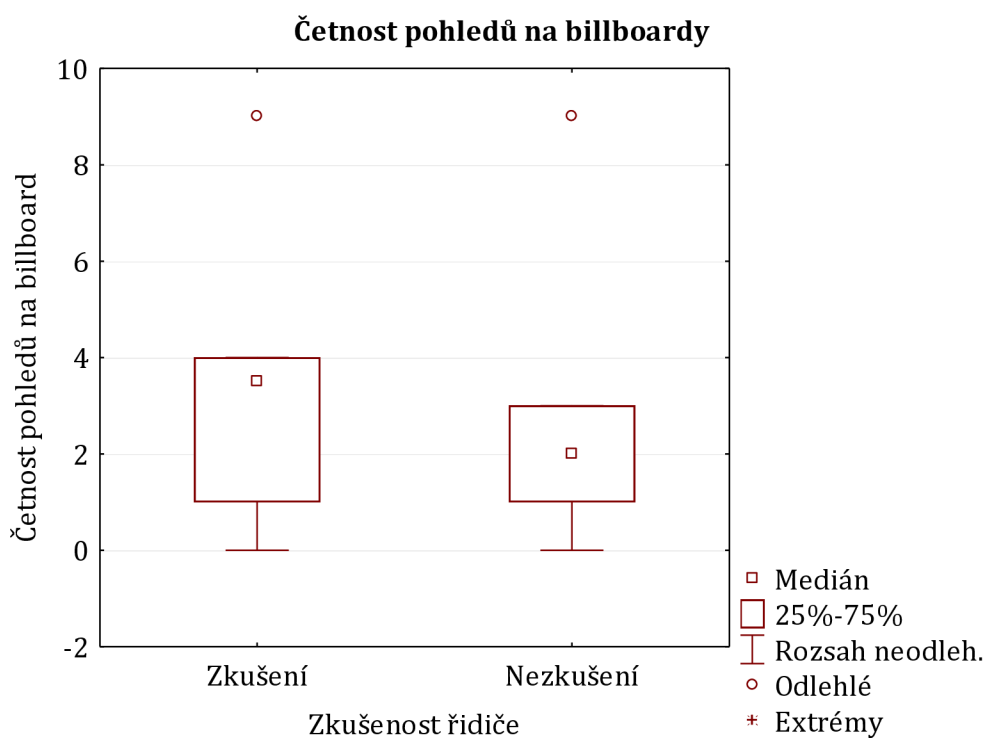
Celková doba pohledů na značky je vyjádřena podílem doby strávené pohledem na značky vydělené celkovou dobou trvání videa. Pohled na značky ve videu je znázorněn grafem na obrázku 29. Zkušeni probandi strávili delší dobu sledováním značek v porovnání s nezkušenými. U skupiny nezkušených řidičů má krabicový graf větší rozsah sahající do úrovně zkušených řidičů. Rozdíl celkové doby je způsoben především rozdílným celkovým počtem zpozorovaných značek.

Vhodnějším ukazatelem doby pohledu na značku je proto průměrná doba jednoho pohledu, která je znázorněna na obrázku 30. Porovnáním mediánů z průměrných hodnot jednoho pohledu je zřejmé, že zkušeni řidiči setrvávají pohledem na dopravním značení kratší čas než řidiči nezkušení. Z grafu vyplývá, že všichni testovaní zkušeni řidiči mají dobu jednoho pohledu na značku kratší. U nezkušených je doba pohledu stejná nebo delší.

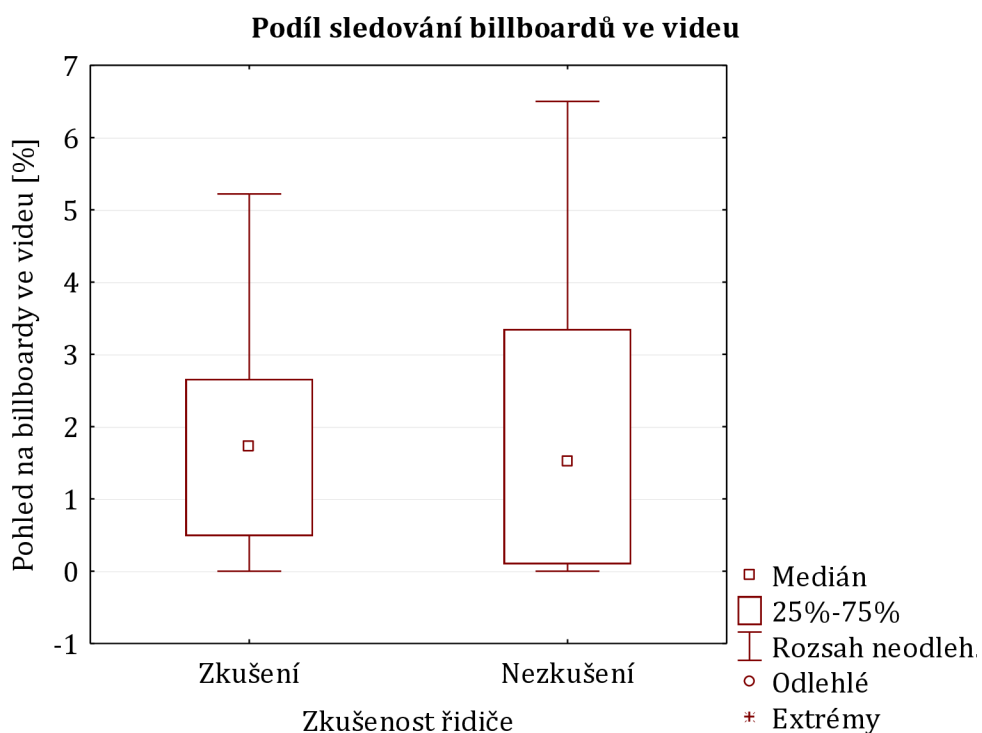
Důvodem je skutečnost, že nezkušený řidič potřebuje delší dobu na zpracování vizuálního podnětu ve formě dopravní značky. Průměrná doba jednoho pohledu na značku byla statisticky testována na hladině významnosti 0,05. Hodnota p je rovna 0,24. Statisticky nebyl prokázán rozdíl mezi skupinami.

<b>Proband</b>	<b>Zkušenost</b>	<b>Celkový počet pohledů</b>	<b>Celková doba pohledů</b>	<b>Průměrná délka pohledu</b>	<b>Doba pohledu na billboardy [%]</b>
1.	Zkušený	4	1,08	0,27	2,66
2.	Zkušený	4	1,04	0,26	2,56
3.	Zkušený	0	0,00	0,00	0,00
4.	Zkušený	3	0,36	0,12	0,89
5.	Zkušený	9	2,12	0,24	5,22
6.	Zkušený	1	0,20	0,20	0,49
7.	Nezkušený	1	0,04	0,04	0,10
8.	Nezkušený	9	2,64	0,29	6,50
9.	Nezkušený	2	0,80	0,40	1,97
10.	Nezkušený	3	1,36	0,45	3,35
11.	Nezkušený	0	0,00	0,00	0,00
12.	Nezkušený	2	0,44	0,22	1,08

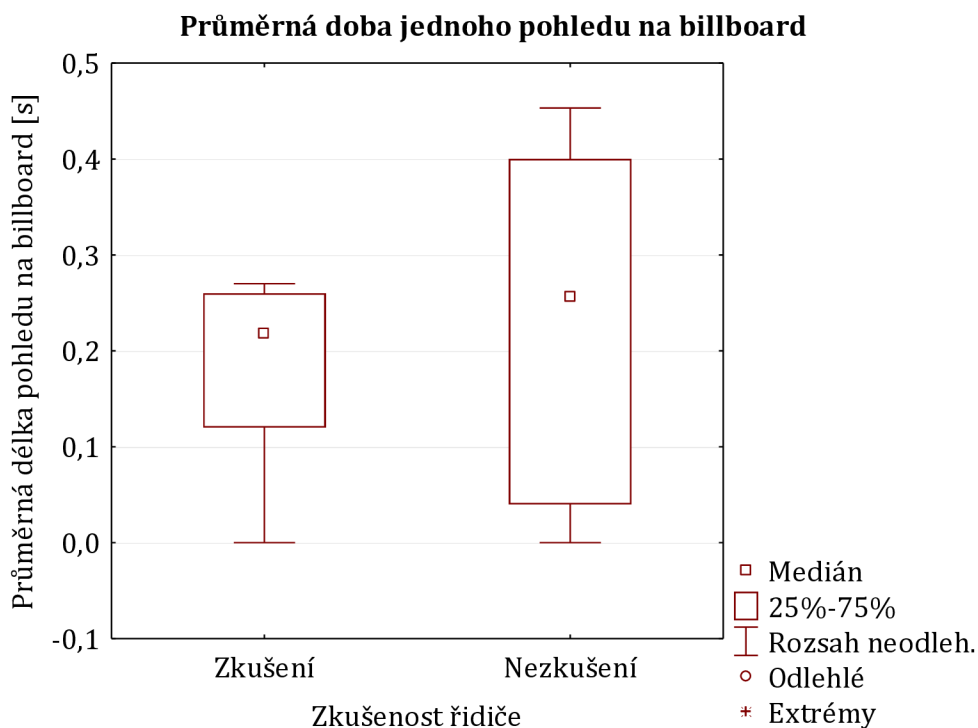
**Tabulka 4 – Doba a četnost pohledů na billboardy ve videosekvenci 1**



Obrázek 31 – Krabicový graf četnosti pohledů na billboard



Obrázek 32 - Krabicový graf podílu sledování billboardů ve videu



**Obrázek 33 – Krabicový graf průměrné doby pohledu na billboard**

V grafu na obrázku 31 je znázorněn počet pohledů na billboardy. Rozsahy grafů obou skupin jsou obdobné. Řidiči během videa mohli upozorovat až 4 různé reklamy. Reklamám v celém videu zkušení řidiči věnovali až 4 pohledy. Nezkušení se pohybovali v rozmezí 0-3 pohledy. Obě skupiny byly tedy reklamami podél silnic ovlivněny. Rozdíl mezi skupinami řidičů v četnosti pohledů na reklamy nebyl statisticky prokázán.

Dalším hodnoceným parametrem je celková doba, kterou řidiči strávili sledováním billboardů. Zkušení řidiči strávili reklamami ve videu 0,0 až 2,12 sekundy, což odpovídá až 5,22 % z celkové doby sledování videa. Doba pohledu na reklamy nezkušených řidičů je v rozmezí 0,0 až 2,66 sekund. V přepočtu na podíl z videa rozmezí odpovídá 0 až 6,5 % doby trvání videa. Statisticky byla testována shoda celkové doby strávené pohledem na reklamy. Shoda mezi skupinami nebyla zamítnuta, z čehož vyplývá, že neexistuje statistický rozdíl mezi skupinami řidičů v pohledu celkové doby strávené pohledy na billboardy. Reklamy odvádí pozornost řidiče od jízdy, čímž značně ovlivňují jízdu řidičů. Při pohledu na billboard řidič ztrácí čas, který by mohl být potřebný pro zjištění jiných důležitějších okolností situace.

Doba jednoho pohledu na billboard u skupiny zkušených řidičů je delší než průměrná doba jednoho pohledu na dopravní značku. Zatímco dopravní značku a její význam zkušený řidič dobře zná, zpracování vjemu z neznámé reklamy může řidiči trvat delší dobu. Doba je ovlivněna vzbuzeným zájmem o předmět na billboardu. V případě



nezkušených řidičů je doba jednoho pohledu na billboard kratší než v případě dopravních značek, ale zůstává delší v porovnání s dobou zkušených řidičů. Rozdíl průměrné doby jednoho pohledu mezi skupinami nebyl statisticky prokázán.

## **8.4 Hodnocení vybraných míst**

V každé videosekvenci byla vybrána důležitá místa pro následné hodnocení. Jedná se především o konkrétní dopravní značky, křižovatky, protijedoucí a parkující vozidla.

Z první videosekvenci jsou hodnoceny následující body: dopravní značky přechodů pro chodce po pravé i levé straně na počátku videa a po pravé straně po odbočení v křižovatce. U značek „Přechod pro chodce“ je hodnoceno, zda se na ně proband podíval. Dopravní značka označující hlavní silnici je hodnocena dobou, po kterou ji proband sledoval. Rozdíl mezi skupinou zkušených a nezkušených řidičů v době sledování značky „Hlavní silnice“ je statisticky vyhodnocen. Následně je hodnocena doba, kdy se proband díval doprava v křižovatce. Ve videu se nachází dvě protijedoucí vozidla, čímž je možné hodnotit sledování protijedoucích vozidel. Podél vozovky, po které se auto probanda pohybuje, jsou zaparkovány v obou směrech auta. Pohled na ně je opět předmětem pro hodnocení. Výsledky hodnocení první videosekvence jsou popsány v tabulkách 5 a 6.

Druhá videosekvence pochází z úseku dálnice, který neobsahuje žádné dopravní značky či billboardy. Proto je v rámci pohybu očí hodnoceno mnohem méně míst. Je možné zjistit, zda proband sledoval automobily v protisměru, nebo pouze ve směru jízdy. Následně je možné hodnotit, zda se proband zaměřoval na jedoucí auta, nebo si všiml okolního prostředí dálnice. Po srážce vozidel přijíždí policejní vůz. Doba pohledu na něj je dalším předmětem pro hodnocení. Výsledky hodnocení uvedených bodů z druhé videosekvence jsou uvedeny v tabulce 7.

Proband	Zkušenost	Pohled na zn. „Přechod pro chodce“			Doba pohledu na zn. „Hlavní silnice“ [s]
		1. Pravá s.	Levá s.	2. Pravá s.	
1.	Zkušený	ANO	ANO	ANO	0,40
2.	Zkušený	ANO	ANO	ANO	0,92
3.	Zkušený	ANO	NE	ANO	0,04
4.	Zkušený	ANO	ANO	ANO	0,32
5.	Zkušený	ANO	ANO	ANO	0,04
6.	Zkušený	ANO	ANO	ANO	0,16
7.	Nezkušený	NE	NE	NE	0,28
8.	Nezkušený	ANO	NE	ANO	0,00
9.	Nezkušený	ANO	ANO	ANO	0,00
10.	Nezkušený	NE	NE	ANO	0,00
11.	Nezkušený	NE	NE	NE	0,00
12.	Nezkušený	ANO	NE	NE	0,00

Tabulka 5 – Hodnocení pohledu na určené dopravní značky ve videosekvenci 1

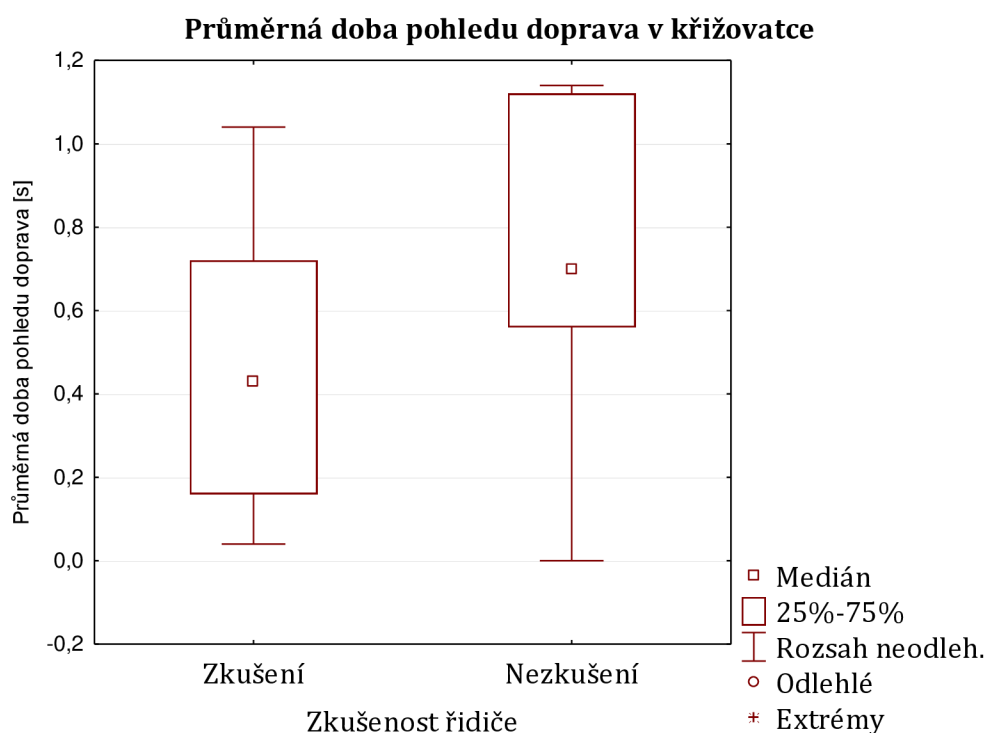
Proband	Zkušenost	Doba pohledu doprava [s]	Opětovný pohled doprava [s]	Proti-jedoucí vozidla	Pohled na stojící auta
1.	Zkušený	0,64	0,80	2	ANO
2.	Zkušený	0,32	0,80	2	ANO
3.	Zkušený	0,04	0,00	1	ANO
4.	Zkušený	0,16	0,00	1	ANO
5.	Zkušený	0,20	0,40	2	ANO
6.	Zkušený	1,04	0,00	1	ANO
7.	Nezkušený	0,56	0,00	2	ANO
8.	Nezkušený	2,08	0,20	1	ANO
9.	Nezkušený	0,00	0,00	1	ANO
10.	Nezkušený	1,84	0,4	2	ANO
11.	Nezkušený	0,60	0,00	2	ANO
12.	Nezkušený	0,80	0,00	2	ANO

Tabulka 6 – Hodnocení pohledu na určená místa ve videosekvenci 1

Dopravní značku „Přechod pro chodce“ po pravé straně na počátku videa zpozorovali všichni zkušení řidiči, zatímco ze skupiny nezkušených si jí všimla pouze polovina probandů. Stejnou značku po levé straně shlédlo 83 % zkušených řidičů,

ze skupiny nezkušených si ji zpozoroval pouze jeden proband. Poslední ze značek „Přechod pro chodce“ v průběhu videa viděli všichni zkušení a polovina nezkušených řidičů.

Značky „Hlavní silnice“ si všimli opět všichni zkušení, ale pouze jeden ze skupiny nezkušených řidičů. Tuto značku považují za velmi důležitou pro zachování bezpečnosti jízdy. Statisticky byl testován rozdíl mezi dobou sledování dané značky. P-hodnota je rovna 0,015, tudíž existuje rozdíl mezi skupinami řidičů. Celkově je možné říct, že zkušení řidiči mají dobrý přehled o dopravním značení na vozovce. Nezkušení řidiči mají problém zpozorovat všechny značky.



**Obrázek 34 – Krabicový graf průměrné doby pohledu doprava v křižovatce**

Pro průměrnou dobu pohledu doprava v křižovatce byl vytvořen krabicový graf znázorněný na obrázku 34. Z grafu vyplývá, že průměrná doba pohledu je kratší u zkušených řidičů, což ukazuje, že zkušeným řidičům stačí kratší doba na vyhodnocení situace. Ve videu řidič vjíždí do křižovatky po hlavní silnici, nicméně z videa není patrné, na kterou stranu bude odbočovat. Vlivem nevědomosti směru odbočování může být výsledek zkreslen.

Dalšími hodnocenými objekty jsou protijedoucí auta. Probandi mohli sledovat až dvě protijedoucí vozidla. Prvního auta ihned za zatáčkou si všimlo 7 z 12 probandů, druhého protijedoucího auta na rovné vozovce si všimli všichni řidiči. Neexistuje

statisticky významný rozdíl mezi počtem sledovaných protijedoucích vozidel. Parkující auta okolo vozovky, po které se pohybuje auto řidiče, zpozorovali všichni probandi.

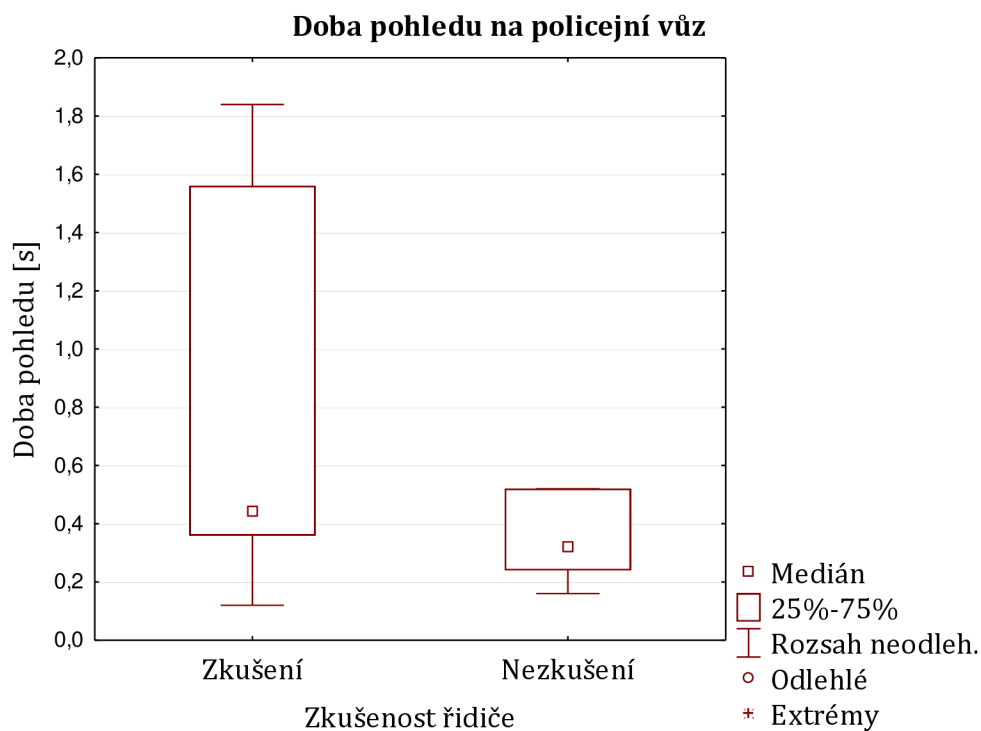
Proband	Zkušenost	Sledování protisměru	Sledování okolního prostředí	Doba pohledu na policii [s]
1.	Zkušený	ANO	NE	1,84
2.	Zkušený	ANO	ANO	0,52
3.	Zkušený	ANO	NE	0,12
4.	Zkušený	NE	NE	0,36
5.	Zkušený	ANO	NE	0,36
6.	Zkušený	ANO	NE	1,56
7.	Nezkušený	ANO	NE	0,52
8.	Nezkušený	ANO	ANO	0,16
9.	Nezkušený	ANO	NE	0,24
10.	Nezkušený	NE	ANO	0,52
11.	Nezkušený	ANO	ANO	0,28
12.	Nezkušený	ANO	NE	0,36

**Tabulka 7 – Hodnocení pohledu na určená místa ve videosekvenci 2**

Sledováním situace i v protisměru získá řidič lepší přehled o situaci na vozovce. Situaci v protisměru sledovalo 83 % probandů. Zkušenost řidiče v tomto parametru nehraje významnou roli.

Řidiči sledovali především auta pohybující se před nimi či v protisměru. Okolí dálnice (například sloupy) sledovalo 17 % zkušených a 50 % nezkušených řidičů. Okolí dálnice není podstatné pro zhodnocení stavu situace na vozovce. Nezkušení řidiči sledují více nepodstatných objektů než řidiči zkušení.

Po příjezdu policejního vozidla zareagovali všichni řidiči obdobně – pohledem na něj. Doba pohledu na policejní vůz je znázorněna grafem na obrázku 35. Podle předchozích výsledků doby pohledu na statické objekty bylo očekáváno, že zkušení řidiči budou mít kratší dobu pohledu i nyní. Předpoklad se nepotvrdil. Nezkušení řidiči mají kratší dobu pohledu než zkušení. U zkušených řidičů je značný rozsah doby pohledu. Dva probandi ze skupiny zkušených setrvali pohledem na vůz až o sekundu delším pohledem než ostatní probandi. Dané dva řidiče musel vůz zaujmout něčím zvláštním. Jelikož se situace odehrává v cizím státě, mohlo by jít o neobvyklý vzhled policejního vozidla. Byl testován statistický rozdíl mezi skupinou zkušených a nezkušených řidičů. P-hodnota je rovna 0,39. Tudiž nebyl nalezen statisticky významný rozdíl v době sledování policejního vozu.



**Obrázek 35 – Krabicový graf doby pohledu na policejní vůz**

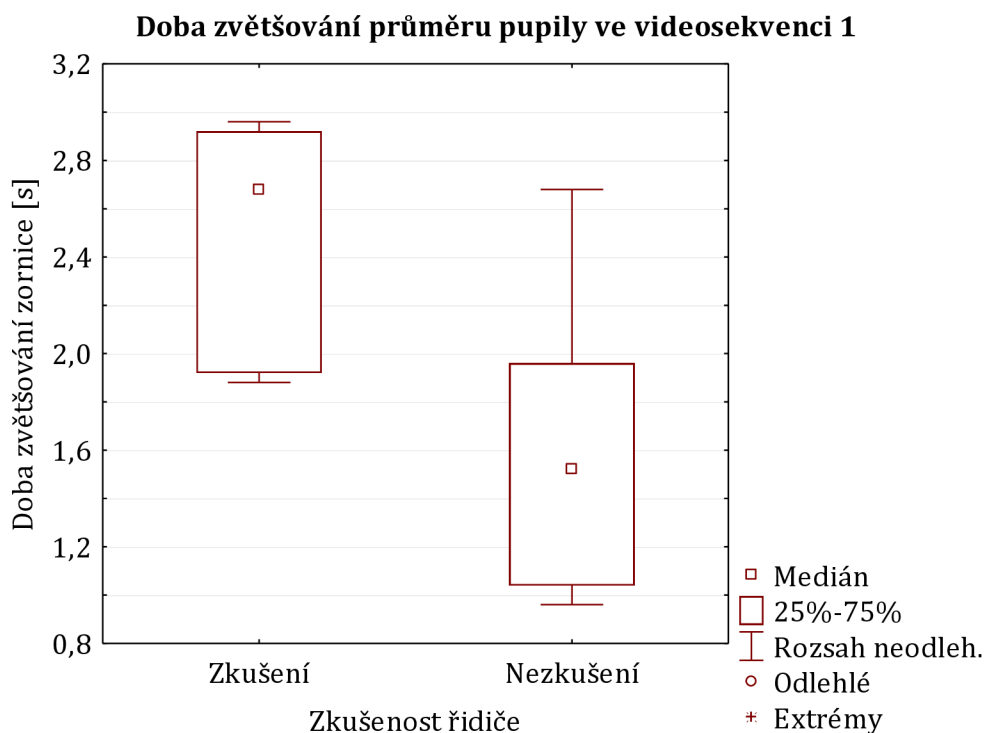
## 8.5 Změna velikosti zornice

Velikost průměru pupily v těsném okolí srážky má charakter zpočátku narůstající a následně klesající zpět k původním hodnotám. Doby zvětšování a zmenšování zornic jsou uvedeny v tabulce 8. Znázornění průběhu změn velikosti pupily je na obrázcích 37 a 39.

Proband	Zkušenost	Situace 1		Situace 2	
		Doba zvětšování pupily [s]	Doba zmenšování pupil [s]	Doba zvětšování pupily [s]	Doba zmenšování pupil [s]
1.	Zkušený	2,92	0,88	4,36	1,92
2.	Zkušený	2,96	1,12	0,84	4,76
3.	Zkušený	1,92	2,60	0,76	1,72
4.	Zkušený	2,48	3,60	1,60	1,56
5.	Zkušený	2,88	5,44	1,48	1,52
6.	Zkušený	1,88	1,48	1,40	4,36
7.	Nezkušený	1,60	5,52	3,16	2,24
8.	Nezkušený	0,96	2,28	1,08	1,96
9.	Nezkušený	2,68	5,28	1,20	3,36
10.	Nezkušený	1,44	3,28	5,24	4,66
11.	Nezkušený	1,96	4,52	1,04	5,28
12.	Nezkušený	1,04	4,44	1,28	5,44

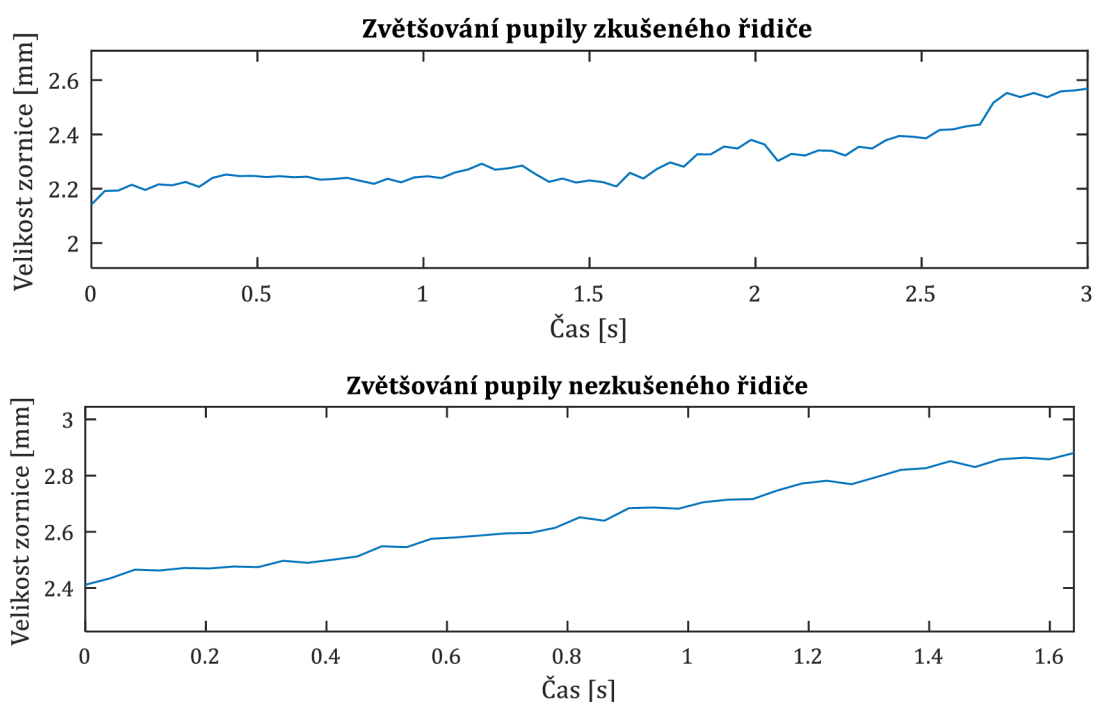
Tabulka 8 – Doby zvětšování a zmenšování zornice

Pro přehlednost byly vytvořeny krabicové grafy. Grafy jsou na obrázcích 36 a 38.



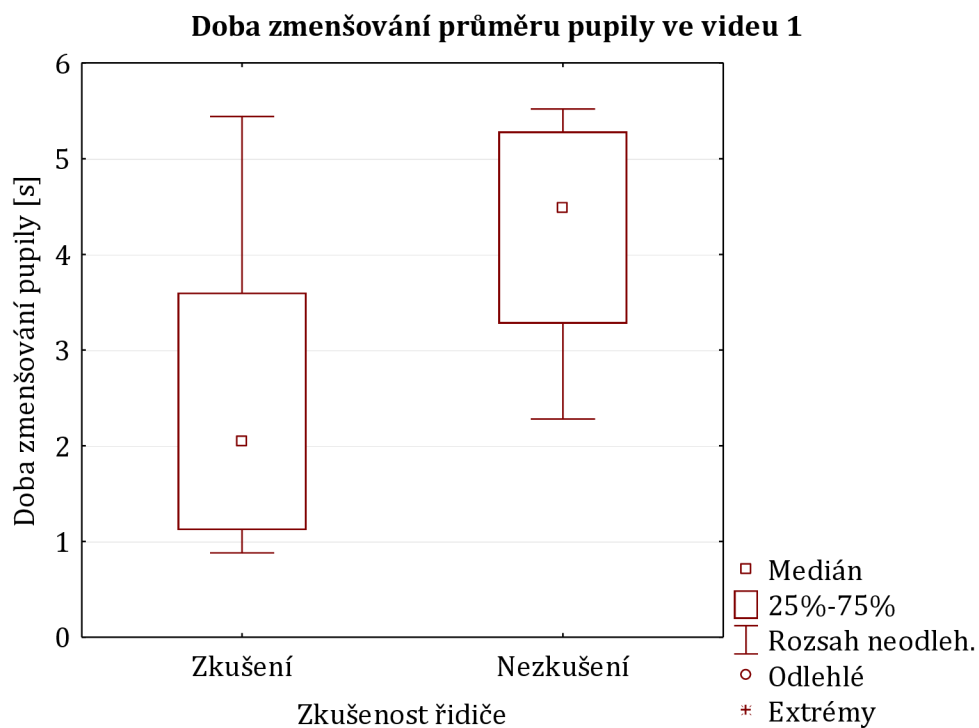
Obrázek 36 – Krabicový graf doby zvětšování pupily ve videu 1

Z krabicového grafu na obrázku 36 vyplývá, že doba zvětšování pupily byla delší u řidičů zkušených. Bodu maximálního zvětšení pupily řidiči bez větších rozdílů dosáhli těsně po srážce vozidel. Domnívám se, že delší doba zvětšování je způsobena protijedoucím nákladním vozidlem, ze kterého zkušební řidiči cítili nebezpečí. Nezkušení řidiči toto nebezpečí rozpoznali později, a proto tato doba byla kratší. Pro porovnání průběhů byly zvoleni reprezentující probandi z obou skupin. Průběhy jsou vyobrazeny na obrázku 37. Statisticky byl vyhodnocen rozdíl mezi skupinami. P-hodnota je rovna 0,04. Je tedy možné říct, že existuje statistický rozdíl v době zvětšování zornice.

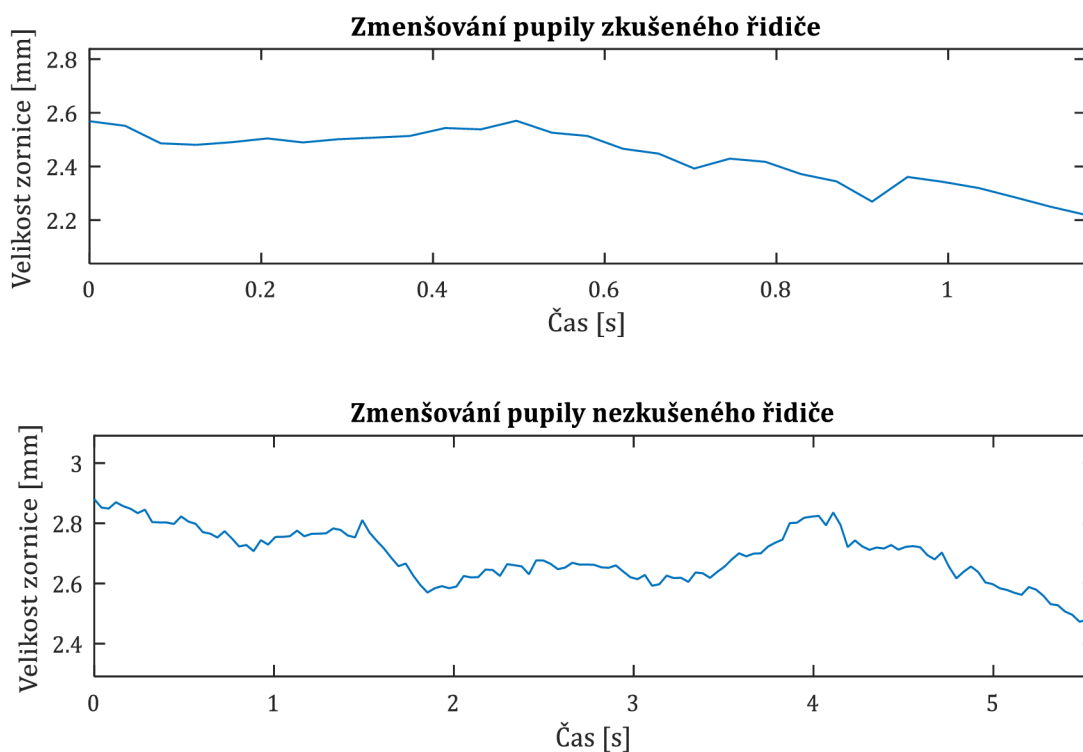


**Obrázek 37 – Průběhy zvětšování velikosti zornic ve videu 1**

Na krabicovém grafu na obrázku 38 lze vidět rozdíl v době zmenšování pupily. U zkušených řidičů je doba potřebná k uklidnění probanda nižší než u řidičů nezkušených. Delší doby zmenšování jsou způsobeny nezmenšením pupily na původní hodnotu, což mohlo analýzu ovlivnit. Průběhy zmenšování zornice jsou u reprezentujících probandů znázorněny na obrázku 39. Statisticky nebyl potvrzen rozdíl v době zmenšování pupily mezi skupinami řidičů.



**Obrázek 38 – Krabicový graf doby zmenšování pupily ve videu 1**



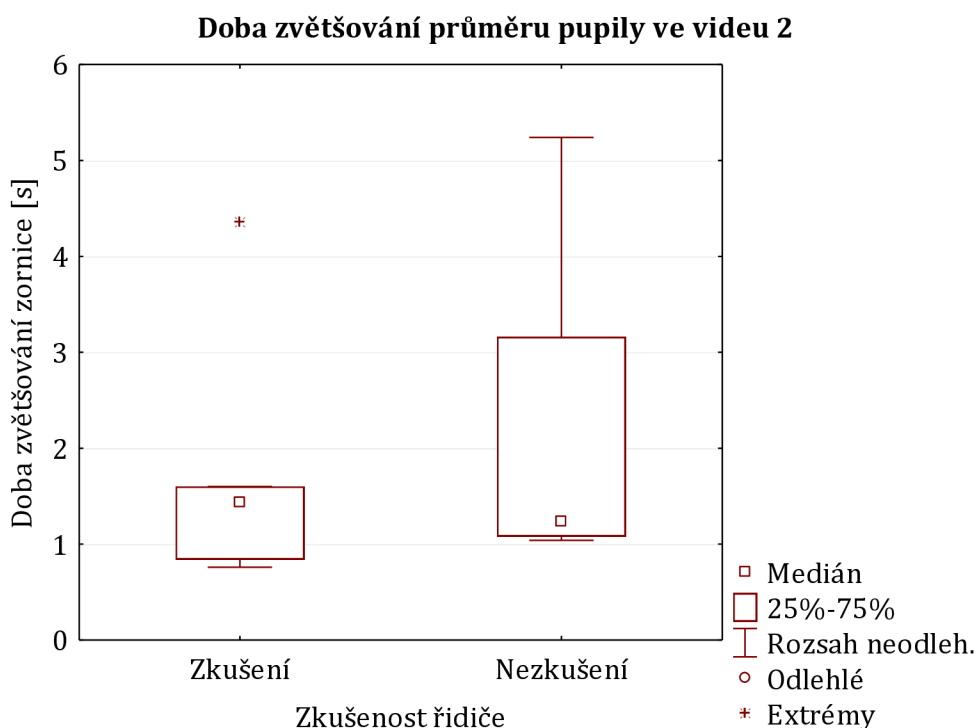
**Obrázek 39 – Průběhy zmenšování velikosti zornice ve videu 1**



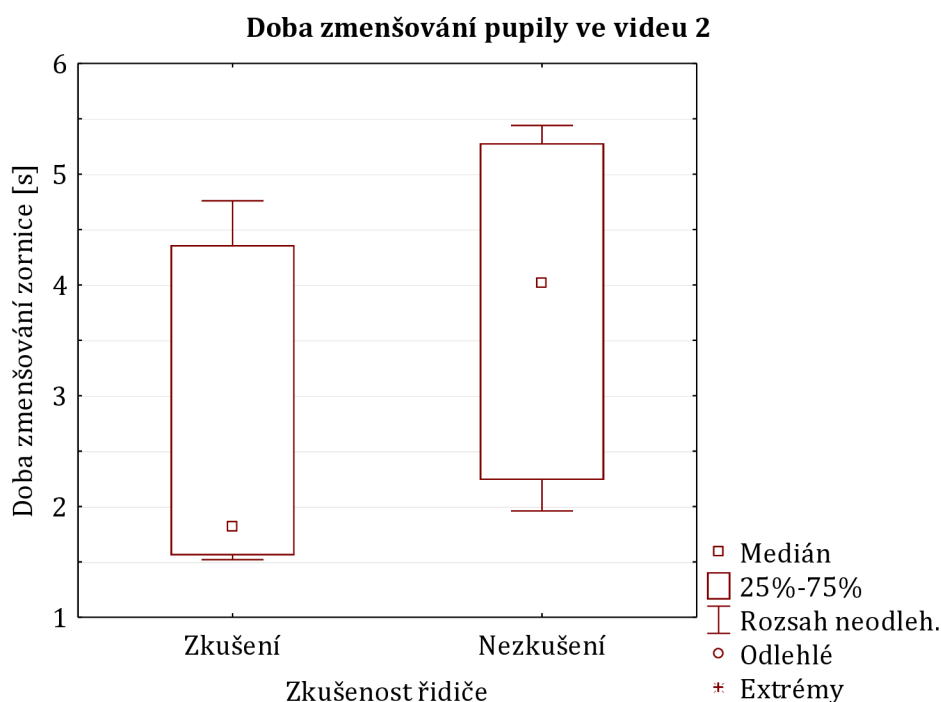
V druhé videosekvenci došlo k nepředvídatelné srážce vozidel. U řidičů byla doba zvětšování pupily srovnatelná, jelikož nemohli dopředu předvídat nebezpečí, jako v případě první situace. Krabicový graf je pro znázornění parametru na obrázku 40. Statisticky v daném parametru nebyl prokázán rozdíl mezi skupinami.

U skupin řidičů doby zmenšování zornic nebyly výrazně odlišné. Krabicový graf znázorňující dobu zmenšování zornic je na obrázku 41. Podle předpokladu by doba nutná k uklidnění zkušeného řidiče měla být kratší, což odpovídá u čtyř z šesti zkušených řidičů. U dalších dvou byla doba zmenšování pupil mnohem delší. Statistický rozdíl nebyl v daném parametru nalezen.

Doba zvětšování zornic u zkušených řidičů v situaci 2 byla výrazně kratší v porovnání s hodnotami v situaci 1, což je podle mého názoru dáno předvídatelností situace. V situaci 1 zkušený řidič reagoval pravděpodobně už na blížící se kamion a přijíždějící auto z křižovatky, což mohlo způsobit delší dobu působení stresové situace. U skupiny nezkušených řidičů jsou doby srovnatelné v obou situacích. Lze říct, že nezkušený řidič nebezpečnou situaci v prvním videu neodhalil.



Obrázek 40 – Krabicový graf doby zvětšování velikosti zornice ve videu 2



Obrázek 41 – Krabicový graf doby zmenšování velikosti zornice ve videu 2

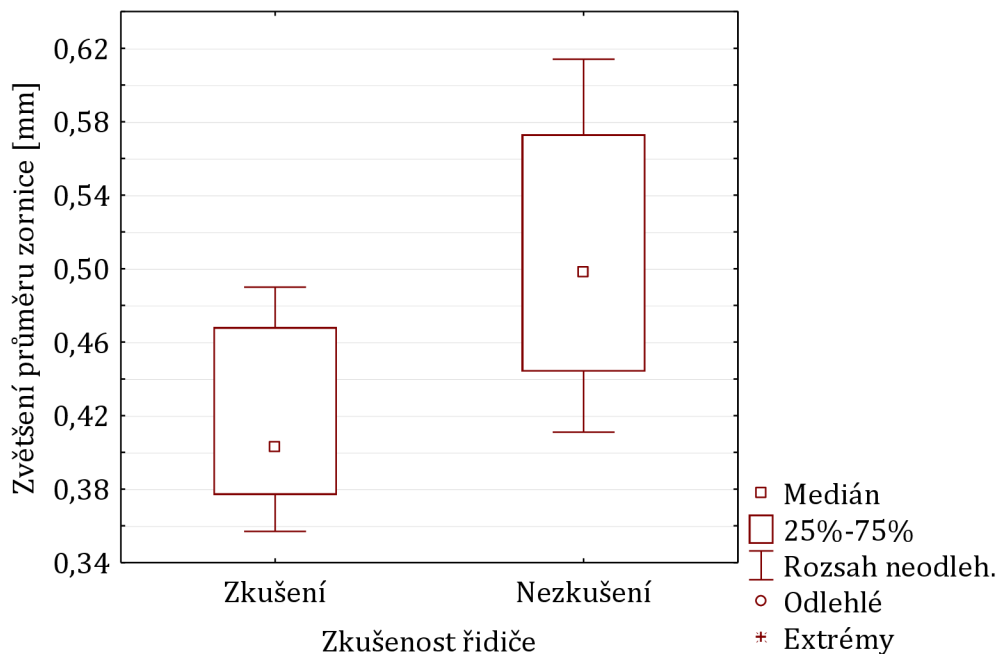
Proband	Zkušenosť	Zvětšení průměru zornice v situaci 1	Zvětšení průměru zornice v situaci 2
1.	Zkušěný	0,41	0,34
2.	Zkušěný	0,38	0,35
3.	Zkušěný	0,49	0,33
4.	Zkušěný	0,36	0,25
5.	Zkušěný	0,40	0,38
6.	Zkušěný	0,47	0,32
7.	Nezkušěný	0,47	0,43
8.	Nezkušěný	0,41	0,41
9.	Nezkušěný	0,53	0,40
10.	Nezkušěný	0,57	0,62
11.	Nezkušěný	0,44	0,37
12.	Nezkušěný	0,61	0,55

Tabulka 9 – Zvětšení zornice v obou videích

Na grafech uvedených na obrázcích 42 a 43 je znázorněno zvětšení zornice při reakcích na dopravní nehody. Lze pozorovat, že u zkušených řidičů bylo rozšíření pupily v obou situacích menší než u řidičů nezkušených. Zvětšení zornice je dáno stresem či leknutím. Zkušení řidiči se lekli méně než řidiči nezkušení. Na hladině významnosti 0,05 byl statisticky testován rozdíl mezi skupinami ve změně velikosti pupil. P hodnota

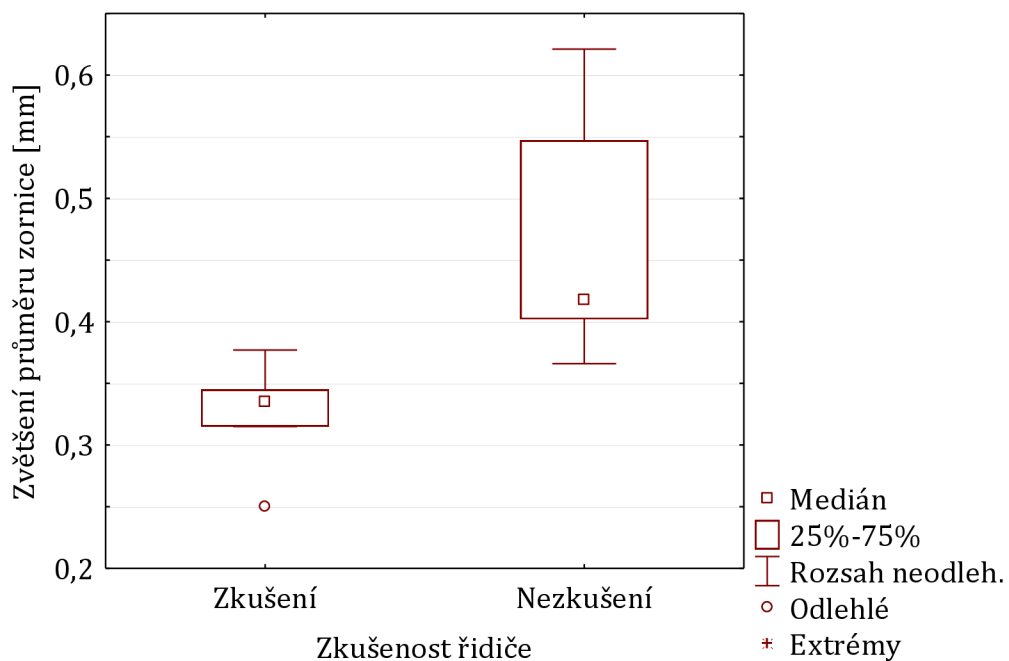
vycházející ze situace 1 je rovna 0,04. P hodnota pro situaci 2 je 0,004. Existuje statistický rozdíl mezi skupinami. Jelikož byl statistický rozdíl potvrzen pro obě zkoumané situace lze parametr považovat za směrodatný při dělení řidičů dle zkušenosti.

**Zvětšení průměru zornic při reakci na srážku ve videu 1**



**Obrázek 42 – Krabicový graf zvětšení zornice ve videu 1**

**Zvětšení průměru zornic při reakci na srážku ve videu 2**



**Obrázek 43 – Krabicový graf zvětšení zornice ve videu 2**

## 9 DISKUZE

Dosažené výsledky popsané v kapitole 8 jsou ovlivněny vlastnostmi použité metody. Metoda má mnoho omezení, což je způsobeno především použitím videosekvencí a samotnou metodou eyetrackingu.

### 9.1 Srovnání dosažených výsledků

Práce se zabývá hodnocením záznamů získaných při sledování videosekvence. Výzkumy zabývající se obdobnou tematikou využívají převážně záznamy pohybů očí ze simulátoru či záznamy získané v reálném provozu, nikoli z videí. Sledováním dopravní situace ve videu jsou zajištěny stejné podmínky pro všechny probandy. Situace jsou neměnné a lze tak přesně porovnávat reakce řidičů mezi sebou.

Chapman a Underwood ve svém výzkumu porovnávali pohyb očí zkušených a nezkušených řidičů během sledování videí s nebezpečnými situacemi. Výsledkem výzkumu bylo zjištění, že nezkušení řidiči mají delší dobu fixace v porovnání s řidiči zkušenými. Při nebezpečných situacích se tento rozdíl zvětšuje. [24] Tento výsledek byl potvrzen výzkumem, který vedli Falkmer a Gregersen. Ve výzkumu potvrdili, že při nebezpečných situacích u nezkušených řidičů dochází k prodloužení doby fixace a dalším poznatkem je, že nezkušení řidiči se více zaměřují na nepodstatné dopravní signály. [18] V práci byl analyzován obdobný parametr – četnost změny pohledu, ale nebyly shledány žádné rozdíly mezi skupinami řidičů (viz kapitola 8.2). Především byly srovnávány četnosti pohledů z celých videí, tudíž se nejednalo jen o nebezpečnou situaci a rozdíl mezi řidiči může být velmi malý. Pokud by bylo dopravní značení označeno za podstatný signál, pak by dosažené výsledky korelovaly s výsledky druhého výzkumu – řidiči zkušenější se více zaměřovali na dopravní značení v porovnání s řidiči nezkušenými.

Tématikou bezpečnostních prvků na silnicích se zabývá výzkum v rámci diplomové práce Evy Bláhové. V rámci výzkumu byl zkoumán také sledování dopravních značek a billboardů podél komunikace. Průměrná doba jednoho pohledu na značku je 0,6 sekund. [25] V porovnání s výsledky mé práce je průměrná doba pohledu delší. Doba pohledu na značku zkušeným řidičem byla do 0,3 sekundy, nezkušeným řidičem pak do 0,5 sekund. Při výzkumech byla použita odlišná metodika, což mohlo způsobit tento rozdíl. Výzkum Evy Bláhové byl prováděn v reálném provozu za použití hlavového eyetrackeru připevněného na brýlích.

Data obsahující informace o změně velikosti zornic jsou experimentální, jelikož nebyla nalezena žádná práce, ve které by tento parametr byl hodnocen.

## 9.2 Omezení vzniklé použitím videosekvencí

Při sledování videí spouštěných na monitoru dochází k rozdílným reakcím či pohledům v porovnání s reálným provozem.

Řidiči v autě nesledují pouze scénu odehrávající se v zorném poli, ale pro přehlednost o situaci na vozovce je nutné sledování zpětných zrcátek. Část informací o provozu řidiči získávají také bočními skly. Spousta pohybů očí je směřována na palubní desku automobilu. Řidič tím získává přehled o rychlosti svého vozidla. V reálném provozu řidiči často sledují nepodstatné objekty snižující jejich pozornost. Mezi dané objekty lze řadit například rádio, mobilní telefon, navigace. Pohledy během řízení je věnovány aktivitám jako jsou hledání věcí, zapalování cigaret, otevírání oken, debata se spolucestujícími apod. Vlivem zmíněných pohybů očí by byly ovlivněny parametry četnosti změn pohledů a rychlosti pohybů očí.

V dopravních křižovatkách ve videu řidič neví, na kterou stranu a zda vůbec bude odbočovat, tudíž pohyb očí a doby jednotlivých pohledů v křižovatkách by mohly být odlišné.

Reakce na dopravní nehody při sledování videa odpovídají předpokládaným výsledkům. V reálném provozu by však mohlo dojít k odlišným pohledům během nehody. Řidič by pravděpodobně nesměřoval celou dobu pohled na blížící se nebezpečí, ale naopak by se mohl snažit směřovat pohyb očí na stranu.

## 9.3 Omezení vzniklé použitím metody eyetrackingu

Každá metoda má své výhody i nevýhody. Mezi hlavní výhody eyetrackingu lze řadit bezkontaktnost, čímž lze snímat reálné reakce řidičů. Omezení při použití v reálném provozu je především zamezený pohyb hlavy. Při pohybech hlavy by došlo k rozladění kalibrace a data by byla nevyhodnotitelná.

Pro vyhodnocení změn velikosti zornic je nutné konstantní osvětlení. Při běžném provozu ovšem za denního světla dochází ke změnám osvětlení vlivem slunečního záření. V nočním provozu jsou změny osvětlení způsobeny například pouličními lampami či osvětlením jiných aut.

# ZÁVĚR

Bakalářská práce se zabývá snímáním pohybu očí při sledování dopravních situací. V práci je popsána základní anatomie oka, okohybných svalů a druhy pohybů očí. Dále jsou v teoretické části práce popsány metody sledování pohybu očí založené na hodnocení videozáznamu, snímání elektrické aktivity očí a snímání elektrického signálu ze speciální čočky. Práce objasňuje základní principy snímání pohybu očí eyetrackerem využívající infračervené záření. Ze záznamů získaných eyetrackerem lze hodnotit různé parametry, které jsou blíže popsány v kapitole 5.

Pro praktickou část práce byly vybrány dvě videosekvence. Jedná se o záznamy z palubních kamer automobilů. Záznamy byly vybrány tak, aby z nich bylo možné hodnotit reakce řidičů na různé dopravní situace. Obsah videosekvencí je nastíněn v kapitole 6.1.

Výstupem této bakalářské práce jsou dva programy. První navržený program umožňuje snímat pohyb očí při přehrávání videa. Program umožňuje uživateli volbu videosekvence. V rámci práce byl zaznamenán pohyb očí eyetrackerem 12 dobrovolníkům. Při výběru bylo důležité, aby účastníci spadali do požadované věkové kategorie 21-24 let, dále také rovnoměrné rozložení pohlaví. Každý dobrovolník vyjádřil subjektivní pocit, zda se cítí jako zkušený či nezkušený řidič, což je důležité pro vyhodnocení dat.

Druhý navržený program slouží k vizualizaci naměřených dat. Pohyb očí lze vizualizovat za pomoci červené tečky s trajektorií pohybu očí, nebo šedotónovým překryvem, který je vytvářen v okolí nazírané oblasti. Programem je možno vizualizovat rychlost pohybu očí, dobu sledování určitého místa či změnu velikosti pupily.

Rozdílné reakce a pohyby očí řidičů by mohly vést k snadnějšímu rozlišení zkušeného řidiče od nezkušeného. V práci byla porovnána skupina subjektivně zkušených řidičů se skupinou nezkušených. Rozdíly byly nalezeny pouze v některých z parametrů. Rychlost pohybu očí a četnost změny pohledu během videa nebyly podstatně ovlivněny zkušenostmi řidiče. Větší četnost pohledu na značky byl statisticky prokázán u zkušenějších řidičů. Průměrná doba pohledu na značku byla kratší u zkušenějších, avšak rozdíl není statisticky významný. Zkušení řidiči zaregistrovali většinu vybraných značek, což se u skupiny nezkušených říct nedá. Billboardy ovlivnily skupinu zkušených i nezkušených řidičů. Výsledky poukazují na to, že nezkušení řidiči sledovali méně podstatné objekty na silnici. V rámci bezpečnosti bych zrušila veškeré billboardy podél komunikací, jelikož odvádí řidičovu pozornost.

Statisticky průkazný rozdíl je u parametru zvětšování zornice v nebezpečné situaci. Doba zvětšování zornice je delší u zkušených řidičů, ale celková reakce (celkové

zvětšení zornice) je menší v porovnání s druhou skupinou. U nepředvídatelné kolize aut doba zvětšování zornic byla u obou skupin řidičů srovnatelná, ovšem celkové zvětšení pupily bylo opět větší u řidičů nezkušených. Lze tedy říct, že nezkušení řidiči se v obou případech lekli více. Jelikož byl parametr potvrzen z obou záznamů, lze jej považovat za směrodatný při určování zkušenosti řidiče. Doba nutná k uklidnění po srážce aut byla neprůkazně delší u řidičů nezkušených. Ne u všech řidičů došlo v době snímání kamerou k uklidnění, tudíž by mohl být parametr právě touto dobou zkreslen.

# LITERATURA

- [1] BEDNÁŘOVÁ, Denisa. Dopravní nehoda jako traumatická situace [online]. Brno, 2014 [cit. 2018-05-09]. Dostupné z: [https://www.vutbr.cz/www\\_base/zav\\_prace\\_soubor\\_verejne.php?file\\_id=86396](https://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=86396). Diplomová práce. VUT. Vedoucí práce prof. PhDr. HANA VYKOPALOVÁ, CSc.
- [2] FIALA, Pavel, Jiří VALENTA a Lada EBERLOVÁ. *Stručná anatomie člověka*. Praha: Univerzita Karlova v Praze, nakladatelství Karolinum, 2015. ISBN 978-80-246-2693-2.
- [3] BENEŠ, Jiří, Jaroslava KYMPLOVÁ a František VÍTEK. *Základy fyziky pro lékařské a zdravotnické obory: pro studium i praxi*. Praha: Grada Publishing, 2015. ISBN 978-80-247-4712-5.
- [4] Anatomie oka. In: *Dar zraku* [online]. [cit. 2017-10-20]. Dostupné z: [http://www.darzraku.cz/oko/cs\\_CZ-38911.html](http://www.darzraku.cz/oko/cs_CZ-38911.html)
- [5] Anatomy of the Eye Muscles. In: *No More Tired Eyes & Eye Strain!* [online]. [cit. 2017-10-20]. Dostupné z: <http://www.tiredeyes-eyestrain.com/understanding-tired-eyes-know-the-different-eye-muscles.html>
- [6] DUCHOWSKI, Andrew T. *Eye tracking methodology: theory and practice*. Third edition. Cham: Springer, 2017. ISBN 978-3-319-57881-1.
- [7] SYNEK, Svatopluk a Šárka SKORKOVSKÁ. *Fyziologie oka a vidění*. Praha: Grada, 2004. ISBN 80-247-0786-1.
- [8] HOLMQVIST, Kenneth. *Eye tracking: a comprehensive guide to methods and measures*. New York: Oxford University Press, 2011. ISBN 978-0-19969708-3.
- [9] *The Electric Signals Originating in the Eye* [online]. In: . [cit. 2017-12-11]. Dostupné z: <http://www.bem.fi/book/28/28.htm>
- [10] *Dark and bright pupil tracking* [online]. In: . [cit. 2017-11-29]. Dostupné z: [https://www.tobii.com/imagevault/publishedmedia/0o3rkcm724xukhh2tc6c/Dark\\_Bright\\_pupil\\_technique-01-01.png](https://www.tobii.com/imagevault/publishedmedia/0o3rkcm724xukhh2tc6c/Dark_Bright_pupil_technique-01-01.png)
- [11] *Dark and bright pupil tracking* [online]. [cit. 2017-11-29]. Dostupné z: <https://www.tobii.com/learn-and-support/learn/eye-tracking-essentials/what-is-dark-and-bright-pupil-tracking/>
- [12] *Tobii Pro Spectrum* [online]. In: . [cit. 2017-11-27]. Dostupné z: [https://imotions.com/portfolio-items/tobii-spectrum/#iLightbox\[gallery12954\]/0](https://imotions.com/portfolio-items/tobii-spectrum/#iLightbox[gallery12954]/0)
- [13] *Tobii Eye Tracking Glasses 2* [online]. In: . [cit. 2017-11-27]. Dostupné z: <https://imotions.com/portfolio-items/tobii-eye-tracking-glasses-2/>



- [14] *THEEYETRIBE* [online]. [cit. 2017-11-26]. Dostupné z: <http://aws-website-theeyetribe-lbmoo.s3-website-us-east-1.amazonaws.com/dev.theeyetribe.com/dev.theeyetribe.com/general/index.html>
- [15] *Eye tracking for research* [online]. [cit. 2017-12-15]. Dostupné z: <https://www.tobiipro.com/product-listing/tobii-pro-glasses-2/#Specifications>
- [16] *Eye tracking for research* [online]. [cit. 2017-12-15]. Dostupné z: <https://www.tobiipro.com/product-listing/tobii-pro-spectrum/#Specifications>
- [17] *SR Research EyeLink* [online]. [cit. 2017-12-15]. Dostupné z: [http://www.sr-research.com/mount\\_tower.html](http://www.sr-research.com/mount_tower.html)
- [18] GILLAND, Jess. *Driving, Eye-tracking and Visual Entropy: exploration of the age and the task effects* [online]. South Dakota, 2008 [cit. 2018-03-29]. Dostupné z: [http://apps.usd.edu/coglab/schieber/materials/Gilland\\_FINALDissertationREV1.pdf](http://apps.usd.edu/coglab/schieber/materials/Gilland_FINALDissertationREV1.pdf). Dissertation thesis. The University of South Dakota.
- [19] KARCH, Steven B. *Drug Abuse Handbook* [online]. USA: CRS Press, 1998 [cit. 2018-02-12]. ISBN 0-8493-2637-0. Dostupné z: <https://catbull.com/alamut/Bibliothek/Karch/Drug%20Abuse%20Handbook.pdf>
- [20] MARQUART, Gerhard, Joost DE WINTER a Christopher CABRALL. *Review of Eye-related Measures of Drivers' Mental Workload* [online]., 1-8 [cit. 2018-02-12]. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2351978915007842>
- [21] *EyeComTec* [online]. [cit. 2017-11-30]. Dostupné z: <https://www.eyecomtec.com/3119-Eye-Tribe-Tracker>
- [22] JARKOVSKÝ, Jiří a Ladislav DUŠEK. *Základy testování hypotéz* [online]. In: . [cit. 2018-04-12]. Dostupné z: [https://is.muni.cz/el/1411/jaro2015/MIAM021p/um/07\\_Zaklady\\_testovani\\_hypotez.ppt](https://is.muni.cz/el/1411/jaro2015/MIAM021p/um/07_Zaklady_testovani_hypotez.ppt)
- [23] JARKOVSKÝ, Jiří a Ladislav DUŠEK. *Neparametrické testy* [online]. In: . [cit. 2018-04-12]. Dostupné z: [https://is.muni.cz/el/1411/jaro2014/MIAM021p/um/09\\_Neparametricke\\_testy.pptx](https://is.muni.cz/el/1411/jaro2014/MIAM021p/um/09_Neparametricke_testy.pptx)
- [24] CHAPMAN, Peter a Geoffrey UNDERWOOD. Visual search of driving situations: Danger and experience. *Perception* [online]. Velká Británie, 1998, 951-964 [cit. 2018-05-13]. Dostupné z: <https://pdfs.semanticscholar.org/b6fc/0610c484c6cc439bd120057765b543efd2ac.pdf>
- [25] BLÁHOVÁ, Eva. Vliv prvků okolí komunikace na bezpečnost provozu vozidel [online]. Brno, 2014 [cit. 2018-05-13]. Dostupné z: <https://core.ac.uk/download/pdf/30310426.pdf>. Diplomová práce. VUT. Vedoucí práce Ing. Marek Semela, PhD.

## **Seznam symbolů, veličin a zkratk**

FEKT	–	Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií
VUT	–	Vysoké učení technické v Brně
EOG	–	Elektrookulografie
VOG	–	Videookulografie
GUI	–	Grafické uživatelské rozhraní
WMP	–	Windows media Player
ms	–	milisekunda
zn.	–	dopravní značka