



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

**SNÍMANÍ POHYBŮ OČÍ POMOCÍ ZAŘÍZENÍ
BIOPAC A EYETRACKERU PUPIL**

SENSING EYE MOVEMENT USING A DEVICE BIOPAC AND EYETRACKER PUPIL

BAKALAŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Johana Vančurová

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Veronika Svozilová

BRNO 2017

Bakalářská práce

bakalářský studijní obor **Biomedicínská technika a bioinformatika**
Ústav biomedicínského inženýrství

Studentka: Johana Vančurová

ID: 174536

Ročník: 3

Akademický rok: 2016/17

NÁZEV TÉMATU:

Snímání pohybu očí pomocí zařízení BIOPAC a eyetrackeru Pupil

POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

1) Nastudujte problematiku EOG signálů, zaměřte se na jejich popisné charakteristiky (např. frekvenční a amplitudový rozsah, tvar signálu) a jejich základní zpracování. 2) Seznamte se s měřicím zařízením BIOPAC a s komerčním zařízením eyetracker Pupil. 3) V laboratorních podmínkách proměřte pohyby očí pomocí EOG a eyetrackeru, proveďte základní analýzu EOG dat. 4) Srovnajte naměřená data z obou přístrojů. Nalezněte a popište souvislosti mezi výstupy obou přístrojů. 5) Proveďte analýzu a diskuzi dosažených výsledků.

DOPORUČENÁ LITERATURA:

[1] SCHOMER, Donald L.; DA SILVA, Fernando Lopes. Niedermeyer's electroencephalography: basic principles, clinical applications, and related fields. Lippincott Williams & Wilkins, 2012.

[2] HOLMQVIST, Kenneth, et al. Eye tracking: A comprehensive guide to methods and measures. OUP Oxford, 2011.

Termín zadání: 6.2.2017

Termín odevzdání: 2.6.2017

Vedoucí práce: Ing. Veronika Svozilová

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 částí druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č. 40/2009 Sb.

Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, Vysoké učení technické v Brně / Technická 3058/10 / 616 00 / Brno

Abstrakt

Tato bakalářská práce se zabývá stanovením vizuální reakční doby řidiče pomocí snímání pohybů očí. Pohyby očí byly snímány pomocí zařízení Biopac a eyetrackeru Pupil. Hlavním cílem bakalářské práce je srovnat výsledky měření z obou zmíněných metod měření pohybů očí vůči hodnotám referenčním užívaným v dopravní znalecké praxi. Teoretická část se zabývala anatomii, fyziologií oka a popisnými charakteristikami EOG signálu. V praktické části bylo navrženo pokusné měření pro získání praktických znalostí ohledně obou zařízení. Dále bylo vytvořeno experimentální měření, dle kterého byla proměřena skupina probandů. V poslední části byly výsledky z experimentálního měření vyhodnoceny, srovnány a diskutovány s referenčními hodnotami.

Klíčová slova

EOG, Biopac, eyetracker Pupil, vizuální reakční doba.

Abstract

This bachelor thesis is focused on investigation of visual reaction time of driver using eye movements acquisition. Eye movements were acquired by Biopac device and eyetracker Pupil. The main aim of this work is to compare results of own experiments with points of reference. Theoretical part dealt with anatomy, physiology of eye and describing characteristics of EOG signals. Practical part included experimental measurements to which a group of probands was involved. In the last part of this work the obtained results were compared with the points of reference.

Keywords

EOG, Biopac, eyetracker Pupil, visual reaction time.

VANČUROVÁ, J. *Měření pohybů očí pomocí zařízení BIOPAC a eyetrackeru PUPIL.*
Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních
technologií, 2017. 48 s. Vedoucí práce: Ing. Veronika Svozilová.

Prohlášení

Prohlašuji, že svou závěrečnou práci na téma „Snímání pohybů očí pomocí zařízení BIOPAC a eyetrackeru Pupil“ jsem vypracovala 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 neporušila autorská práva třetích osob, zejména jsem nezasáhla nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a jsem si plně vědoma 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 2. června 2017

.....
podpis autora

Poděkování

Děkuji vedoucí bakalářské práce Ing. Veronice Svozilové za účinnou metodickou, pedagogickou a odbornou pomoc a další cenné rady při zpracování mé bakalářské práce.

Obsah

Úvod.....	1
1 Oko.....	2
1.1 Anatomie a fyziologie oka.....	2
1.2 Zraková dráha.....	4
1.3 Pohyby očí.....	4
1.3.1 Fixace.....	4
1.3.2 Sakády.....	5
1.3.3 Sledovací pohyby.....	5
1.3.4 Vyhledávací pohyby.....	5
1.3.5 Vestibulární pohyby.....	5
1.3.6 Vergence.....	5
2 Metody sledování očních pohybů.....	6
2.1 EOG.....	6
2.1.1 Princip měření.....	6
2.1.2 Předzpracování.....	7
2.1.3 Využití.....	8
2.1.4 Biopac.....	8
2.2 Eyetracking.....	9
2.2.1 Princip měření.....	11
2.2.2 Zpracování dat z eyetrackeru Pupil.....	11
2.2.3 Využití eyetrackeru.....	12
3 Reakční doba řidiče.....	13
3.1 Vizuální reakční doba řidiče.....	13
3.2 Psychická reakční doba řidiče.....	14
3.3 Svalová reakční doba řidiče.....	14
4 Pokusné měření.....	15
4.1 Příprava pokusného měření.....	15
4.2 Vlastní pokusné měření.....	16
4.3 Hodnocení výstupů pokusného měření.....	17
4.3.1 Trvání fixací.....	17
4.3.2 Srovnání zařízení Biopac a eyetrackeru Pupil.....	18
5 Experimentální měření.....	19
5.1 Příprava experimentálního měření.....	19
5.2 Kalibrace.....	19
5.2.1 Biopac.....	19
5.2.2 Eyetracker Pupil.....	20

5.2.3	Simulátor jízdy	20
5.3	Vlastní měření.....	20
6	Výsledky Vlastního měření.....	22
6.1	Délka vizuální reakční doby z eyetrackeru Pupil	22
6.2	Délka vizuální reakční doby z Biopacu	22
6.2.1	Filtrace EOG signálu	23
6.2.2	Odstranění mrknutí	25
6.2.3	Algoritmus vyhledávání délky vizuální reakční doby	26
6.3	Statistické zpracování výsledků.....	28
6.3.1	Kolmogorovův-Smirnovův test	29
6.3.2	Krabicové grafy	30
7	Diskuze.....	32
	Závěr	34
	Literatura.....	35
	Seznam příloh	37

Seznam obrázků

Obrázek 1 Řez okem [17].	2
Obrázek 2 Rozmístění elektrod [1].	6
Obrázek 3 Ideální průběh signálu EOG [10].	7
Obrázek 4 Přední panel [2].	8
Obrázek 5 Zadní panel [2].	9
Obrázek 6 Eyetracker Pupil [22].	10
Obrázek 7 Pupil Player, zelený bod-fixace oka.	11
Obrázek 8 Přechod z jednoho bodu na druhý.	11
Obrázek 9 Umístění elektrod, převzato a upraveno z [18].	15
Obrázek 10 Zapojení svodových kabelů, převzato a upraveno z [18].	16
Obrázek 11 Typ měření – kříž.	17
Obrázek 12 Prostředí programu simulátoru.	21
Obrázek 13 EOG signály z Biopacu.	23
Obrázek 14 Naměřený nefiltrovaný signál.	24
Obrázek 15 Filtrovaný signál.	24
Obrázek 16 První derivace – mrknutí.	25
Obrázek 17 Vertikální kanál – odstranění mrknutí.	26
Obrázek 18 Úsek vertikálního kanálu a jeho derivace.	27
Obrázek 19 Oblast zájmu ve zderivovaném signále s vyznačenou sakádou odpovídající optické reakce.	27
Obrázek 20 Sakáda pro funkci vyhledávání maxima.	28
Obrázek 21 Krabicové grafy naměřených dat, na ose y jsou uvedeny hodnoty v sekundách.	31

Seznam tabulek

Tabulka 1 Technické parametry eyetrackeru Pupil [22].	10
Tabulka 2 Dělení reakční doby subsystému vozidlo + řidič [3].	13
Tabulka 3 Trvání jednotlivých reakčních dob a trvání odezvy vozidla [3].	14
Tabulka 4 Pořadí fixací - kříž.	16
Tabulka 5 Trvání fixací – kříž.	18
Tabulka 6 Trvání optických reakcí z eyetrackeru a z Biopacu.	29
Tabulka 7 Mediány získaných vizuálních reakčních dob a tabulkový medián.	29
Tabulka 8 Výsledky K-S testu.	30

ÚVOD

Cílem této bakalářské práce bylo nastudovat elektrookulografický signál (dále jen EOG), jeho popisné charakteristiky, jako je například frekvenční rozsah, a jeho základní zpracování. Dále seznámit se s měřícím systémem Biopac a komerčním zařízením eyetracker Pupil a proměřit v laboratorních podmínkách pohybu očí pomocí Biopacu a eyetrackeru a provést základní analýzu.

Nejprve bylo třeba přiblížit si anatomii a fyziologii oka pro pochopení vlastního zrakového vjemu. Pohyby oka jsou důležitou součástí teoretických znalostí potřebných pro správné hodnocení naměřených signálů.

EOG signál byl naměřen pomocí elektrod umístěných na obličeji. EOG signál je generovaný pohybem oční koule a odpovídá rozdílu potenciálů mezi elektrodami. Měření EOG signálu pomocí zařízení Biopac není složité, ale následné zpracování vyžaduje určitou znalost toho signálu.

Eyetracker Pupil je komerční zařízení, které slouží pro snímání pohybu očí na základě odrazu infračerveného záření od zorničky oka. Je to lehké mobilní zařízení, které se pomocí USB připojí k počítači a prostřednictvím příslušných softwarů se data zpracovávají.

Dále bylo potřeba nastudovat problematiku reakční doby řidiče, zejména její vizuální části, která byla stěžejním bodem experimentálního měření. Vizuální reakční doba je doba, která uplyne od objevení se překážky v zorném poli řidiče po její fixaci okem řidiče.

Pro seznámení se zařízením Biopac a s eyetrackerem Pupil sloužilo pokusné měření. Toto měření sloužilo ke zjištění, zda výstupy z obou přístrojů spolu korespondují a dají se mezi sebou porovnat.

Experimentální měření probíhalo na simulátoru, kdy cílem bylo rychle a správně reagovat na překážky, které se objevují v zorném poli řidiče během jízdy (např. vběhnutí srny do vozovky či vjetí cyklisty do vozovky). Tuto simulaci jízdy v reálném provozu, která trvala cca 3 minuty a zahrnovala celkem pět situací, na které musel řidič reagovat brzděním, absolvovalo pět probandů. Měření probandů na sobě měli nainstalovány obě zařízení pro snímání pohybů očí (tj. Biopac i eyetracker Pupil).

Výstupy těchto měření pak byly EOG signál a jemu odpovídající videozáznam z eyetrackeru. Z obou výstupů byla stanovena délka trvání vizuální reakční doby. Výsledky byly statisticky vyhodnoceny pomocí krabicových grafů a Kolmogorovova-Smirnovova testu a srovnány mezi sebou i s referenčními hodnotami vizuální reakční doby užívané dopravními znalci a náležitě okomentovány.

1 OKO

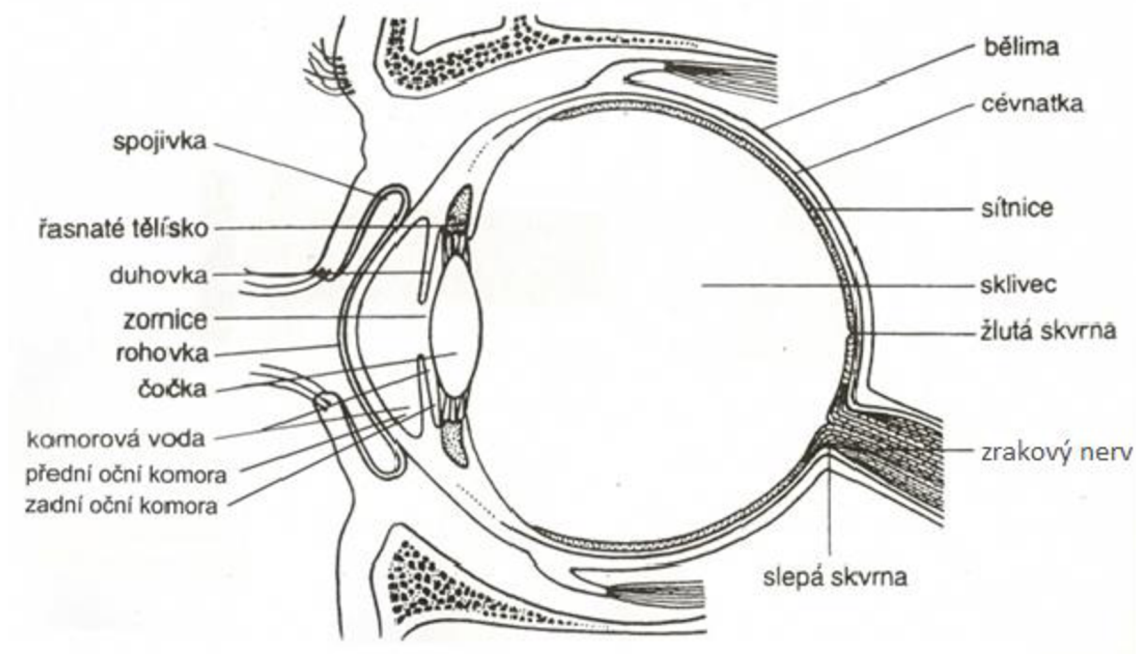
V této kapitole budou popsány základy anatomie a fyziologie oka. Nebudou popsány všechny struktury, které oko tvoří, ale jen ty důležité pro pochopení podstaty zrakového vjemu.

1.1 Anatomie a fyziologie oka

Oči jsou součástí zrakového ústrojí, které umožňuje člověku vidět. Oko neboli zrakový orgán je tvořeno oční koulí a přídatnými orgány. Lidský zrak zahrnuje detekci velmi úzkého světelného spektra v rozmezí přibližně od 400 do 750 nm vlnové délky. Nejkratší vlnovou délku vnímáme jako modrou a nejdelší jako červenou. [9][20]

Oční koule a její části

Oční koule má přibližně kulovitý tvar o průměru asi 23 mm. Je tvořena ze dvou segmentů o nestejném poloměru a zakřivení. Oční koule je uložena v očníci, kde je chráněna před nárazy tukový polštářem. Na Obrázek 1 vidíme řez okem, kde jsou popsány všechny struktury, které oko tvoří. [9][6]



Obrázek 1 Řez okem [17].

Stěna oční koule je tvořena třemi vrstvami. První vrstva je zevní a je tvořena bělimou a rohovkou. Druhá vrstva se nazývá prostřední a zahrnuje cévnatku, řasnaté

tělisko a duhovku. Poslední vrstvou je vrstva vnitřní, která je tvořena sítnicí obsahující zrakové receptory. [6]

Obsahem přední a zadní oční komory je čirý komorový mok. Přední komora je úzký prostor mezi rohovkou a přední stěnou duhovky. Zadní komora je prostor mezi zadní plochou duhovky a přední plochou čočky. Čočka má bikonvexní tvar. Její plochy nemají stejný poloměr zakřivení. Je uložena za duhovkou před sklivcem a tím, že je zavěšena na řasnatém tělísku může měnit poloměr svého zakřivení, což zabezpečuje přesné vidění zblízka i do dálky. Tato funkce se nazývá akomodace, při které se mění rozměry čočky v souvislosti se změnou její optické mohutnosti. [6][9]

Rohovka je bezbarvá, zcela průhledná a bezcévná přední část oka. V průměru vertikálním i horizontálním měří rohovka přibližně 11 až 12 mm a její tloušťka je průměrně 1 mm. Jelikož rohovka neobsahuje žádné cévy, které by ji vyživovali, je vyživována částečně komorovou vodou a částečně výměškem slzného aparátu. Rohovka představuje vstupní oddíl tzv. „optického prostředí oka“ a z hlediska indexu lomu světla je jeho nejvýznamnější součástí. Na optické mohutnosti zdravého člověka, což je +60 D (dioptrie), se rohovka podílí +40 D. Tato hodnota se po dobu života nemění. [5][14][19]

Sítnice je vnitřní vrstva oční koule. Vystýlá celou dutinovou část oční koule až k pupilárnímu okraji duhovky. Svou zevní plochou naléhá na prostřední vrstvu oční stěny a na její vnitřní plochu se přikládá sklivce. Mikroskopická stavba sítnice je velmi složitá, neboť ji tvoří 11 vrstev, proto jsou uvedeny jen některé. Vnitřní část tvoří optická část sítnice, kde se nacházejí světločivné buňky, které budou popsány dále. Zevní část přiléhá k cévnatce a spolu s pigmentovou vrstvou cévnatky působí jako světelná izolační vrstva, která pohlcuje dopadající světelné paprsky a zabraňuje jejich odrazu uvnitř oka. Slepá část sítnice neobsahuje světločivné buňky, ale pouze pigmentové a je pevně srostlá s vazivem řasnatého tělesa a duhovkou. [5][19]

Optická část sítnice je funkčně nejvýznamnější vrstvou oční koule, protože obsahuje světločivné buňky. Tyto buňky jsou dvojího typu: tyčinky a čípky. Tyčinky registrují množství dopadajícího světla a jsou určeny k vidění za šera. Obsahují zrakové barvivo rhodopsin, který vlivem dopadu světelných paprsků mění barvu (bledne) a vyvolává nervové vzruchy. Tyčinky se nejvíce vyskytují v periferii a je jich kolem 130 milionů. Čípky slouží k ostrému vidění a ke vnímání barev. Obsahují tři odlišné typy barviv, které jsou různě citlivé ke světlu o různé vlnové délce, čímž vzniká diferencovaná citlivost ke třem barvám, z jejich kombinací je složen barevný obraz.

Čípky se vyskytují ve žluté skvrně, což je místo nejostřejšího vidění, a jejich kolem 7 milionů. [5][14][19]

1.2 Zraková dráha

Zraková dráha je sensitivní dráha, kterou tvoří čtyři typy neuronů. Tato dráha začíná v oční sítnici.

Její první neurony tvoří světločivné buňky tyčinky a čípky. Tyto buňky ve své světločivné části přeměňují světelné podněty na nervové vzruchy a předávají tento vzruch druhým neuronům.

Druhými neurony jsou bipolární buňky, které jsou rozděleny do dvou skupin. Část z nich sbírá informace z čípků (jedna bipolární buňka z jednoho čípku) a část z tyčinek (jedna bipolární buňka z 3-5 tyčinek). Axony bipolárních buněk jsou spojeny s dendrity buněk třetích neuronů.

Třetími neurony jsou gangliové buňky, které sbírají informace z několika bipolárních buněk. Axony gangliových buněk se sbíhají po povrchu sítnice k papile očního nervu a po průchodu stěnou oční tvoří vlastní zrakový nerv. Oba oční nervy, jeden z každého oka, se kříží a vedou vzruch do neuronu čtvrtého typu, který vede vzruch do mozku. [5][19]

1.3 Pohyby očí

Cílem očních pohybů je fixovat místo zájmu v zorném poli tak, aby se jeho obraz promítal do žluté skvrny a díky tomu byl viděn ostře.

Pohyb očí zajišťují okohybné svaly. Okohybné svaly začínají ve společném šlachovitém začátku, z něhož se jako podlouhlé pruhy rozbíhají ke svým úponům. Dělíme je na přímé a šikmé oční svaly. [4]

1.3.1 Fixace

Fixace znamená, že se oko nehýbe a fixuje se na určitý bod. Problém je, že oko není nikdy v absolutním klidu. Během fixace vykonává drobné pohyby, jsou to mikrosakády. Mikrosakáda je pomalé klouzání očních os a třes očí a trvá v rozmezí 10-20 ms. [19]

1.3.2 Sakády

Sakadické pohyby očí jsou rychlé drobné pohyby oční koule, které stále mění směr. Jsou automatické a mimovolní. Jejich funkce je dvojí. Za prvé se jimi podstatně rozšiřuje místo nejostřejšího vidění, které by při nehybnosti oční koule představovalo jen oblast centrální jamky žluté skvrny a odpovídalo by pouze 1-2 uhlovým stupňům zorného pole. Za druhé mění bodové vidění v souvislý obraz. [5]

1.3.3 Sledovací pohyby

Sledovací pohyby jsou přítomny v případě, že se v zorném poli pohybuje předmět, nejsou ovladatelné vůlí. Jestliže se předmět pohybuje rychlostí menší než 25-30 ° za sekundu, sleduje oko přesně předmět. Začátek pohybu je opožděn o 125 ms. Toto zpoždění je vyrovnáno korekčními sakádami.[19]

1.3.4 Vyhledávací pohyby

Vyhledávací pohyby jsou automatické, pomalejší, kývavé pohyby očí, které se objevují v případě, že oko v zorném poli rychle nefixuje žádný objekt. Příkladem může být homogenní struktura v zorném poli, v níž oko ihned nezachytí detail. [5]

1.3.5 Vestibulární pohyby

Vestibulární pohyby jsou reakcí na podněty vznikající v polokruhovitých kanálcích, které mají za úkol udržovat fixaci pohledu během pohybu hlavy. [8]

1.3.6 Vergence

Vergence jsou diskonjugované oční pohyby, kdy osy obou očí směřují buď od sebe (divergence) nebo k sobě (konvergence). Jsou vyvolány rozdílnými obrazy fixačního bodu na sítnici. [19]

2 METODY SLEDOVÁNÍ OČNÍCH POHYBŮ

V této kapitole jsou popsány dvě metody, kterými lze sledovat oční pohyby. Metod měření pohybů očí existuje více, ale tato práce se zabývá jen metodami elektrookulografie a eyetrackingu.

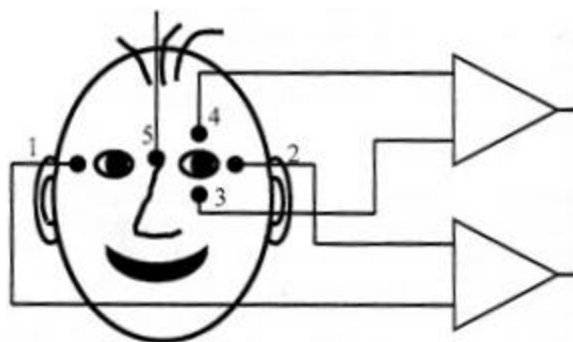
2.1 EOG

Elektrookulografie je neinvazivní měřicí metoda, která je schopná zaznamenávat biosignály generované při pohybu očí.

Elektrookulogram (EOG) zaznamenává rozdíl potenciálů mezi elektrodami umístěnými na kůži v blízkosti očí. Signál je generovaný pohybem oční koule a mění se vzdáleností rohovky od elektrod. Podstatou potenciálové změny je napěťový rozdíl mezi rohovkou a sítnicí. Při pohybu oční koule dojde ke změně potenciálu v jeho okolí. Potenciál má původ v pigmentovém epitelu sítnice a je závislý na úhlu, ve kterém se mění postavení oční koule a na intenzitě okolního osvětlení a adaptaci na světlo. [10][21]

2.1.1 Princip měření

Snímání EOG je možné pomocí povrchových kožních elektrod, které se přikládají v okolí očí. Elektrody jsou umístěvány na vnější straně pravého a levého oka pro měření horizontálních pohybů. Pro měření vertikálních pohybů se elektrody umísťují nad a pod pravé nebo levé oko. Referenční elektroda se umísťuje na čelo mezi oči (Obrázek 2). [4]



Obrázek 2 Rozmístění elektrod [1].

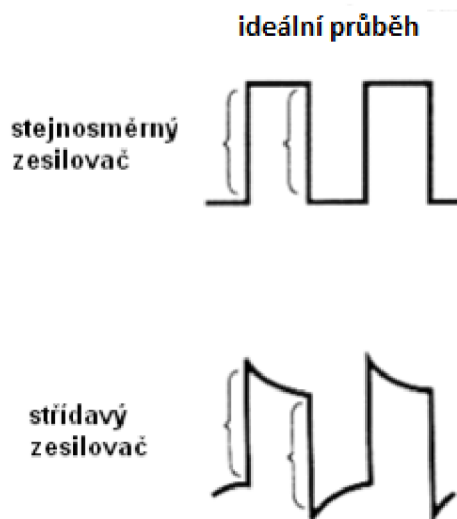
Pro měření EOG signálu se používají standardní Ag-AgCl elektrody, které jsou nepolarizované. Abychom docílili dobrého kontaktu kůže s elektrodou, je třeba kůži odmastit a na elektrody naaplikovat vodivou pastu nebo gel. U některých elektrod,

tzv. jednorázových, je gel přímo součástí elektrody. Elektrody se pak svodovými kabely připojí k zesilovači. Impedance elektroda-kůže by neměla přesahovat 5 k Ω . [4][10]

Pokud se osoba dívá přímo vpřed, na výstupu by měla být nula, jelikož dipól je umístěn symetricky mezi dvě elektrody. Pokud se osoba podívá doleva, pozitivní rohovka se dostane do pozice blíže levé elektrody, která se tak stane více pozitivní. Mezi úhlem pohledu a EOG výstupem je téměř lineární závislost až do $\pm 30^\circ$. Pohyby očí menší než $1-2^\circ$ je těžké zaznamenat. [21]

2.1.2 Předzpracování

Změřený signál má charakter obdélníkového signálu a jeho úroveň je rovna stálému corneoretinálnímu potenciálu. Na Obrázek 3 je vidět ideální průběh EOG signálu za použití stejnosměrného nebo střídavého zesilovače. [21]



Obrázek 3 Ideální průběh signálu EOG [10].

Užitečný signál se nachází v rozsahu 0,1 až 30 Hz, proto obecné doporučení pro zesilovač je dolní mezní kmitočet 0,1 Hz a horní mezní kmitočet 30 Hz, což způsobí, že signál bude mít obdélníkový tvar.

Podle teoretických předpokladů by bylo vhodné použít stejnosměrný zesilovač, ale ten se z důvodů kolísání nulové izolace nepoužívá. Používá se tedy střídavý zesilovač s filtrem typu horní propusti s dolním kmitočtem 0,1 Hz. Při použití vyššího dolního kmitočtu dochází k deformaci obdélníkového tvaru signálu a následná analýza by byla obtížná. [10]

Pro filtraci signálu lze použít filtr typu dolní propusti s mezním kmitočtem 30 Hz nebo mediánový filtr. [4]

2.1.3 Využití

Měření EOG signálu se využívá v elektrookulografii, která se hojně využívá v medicíně pro diagnostiku řady chorob. Problémem této metody je, že vyžaduje spolupráci s pacientem, proto není tato metoda zcela objektivní.

Měření EOG signálu se využívá ke zjištění funkčnosti okohybných svalů, nebo jejich součinností s příslušnými nervy. Dále EOG slouží k vyšetření pomalých a rychlých očních pohybů ve spánku. Často se taky EOG měří v neurologii spolu s EEG, kdy se hledá souvislost mezi funkcí zraku a mozku. EOG se taky uplatňuje při vyšetření vestibulárního systému. Při poruše vestibulárního systému často dochází k samovolnému pohybu očí, který můžeme pomocí EOG zachytit. Společně se světelnými stimuly se EOG používá k testování abnormalit pigmentového epitelu sítnice. [13][15]

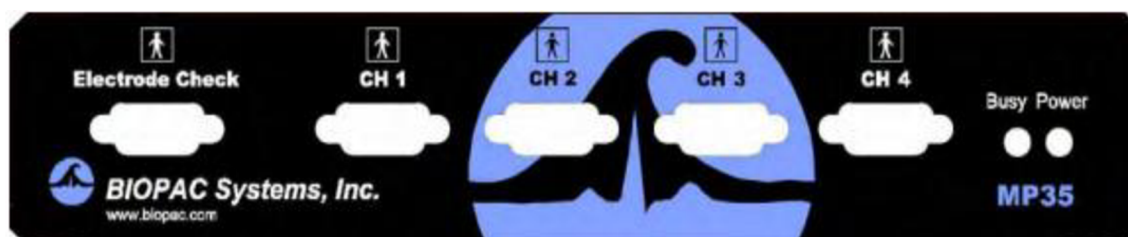
Elektrookulografie slouží jako pomoc pro tělesně postižené, kdy pomocí EOG mohou ovládat elektrický invalidní vozík nebo ovládat počítač (kurzor na PC). [18]

2.1.4 Biopac

Pro záznam EOG signálu slouží systém BIOPAC. Jedná se o hardwarové a softwarové vybavení určené k výuce a výzkumu v oblasti věd zabývajících se životem. Umožňuje měření a hodnocení základních fyziologických parametrů.

Přední panel (front panel)

Na Obrázek 4 je zobrazen přední panel Biopacu MP35. Úplně vlevo je Electrode Check port, který slouží ke zjištění, zda jsou elektrody správně upevněny na obličej vyšetřovaného. Dále jsou zde vstupní porty CH1, CH2, CH3 a CH4, do kterých se zapojují svodové kabely. Na pravé straně předního panelu jsou umístěny indikátory. Indikátor Busy svítí tehdy, když probíhá měření nebo několik prvních sekund po zapnutí přístroje. Indikátor Power je aktivní, tedy svítí, když je deskový přístroj zapnutý.



Obrázek 4 Přední panel [2].

Zadní panel (back panel)

Na Obrázek 5 je zobrazen zadní panel Biopacu MP35. Na levé straně se nachází analogový výstupní port Analog Out, který slouží k zesílení a výstupu signálu. Hned vedle něho je USB port, kterým se přístroj připojuje k počítači. Dále se zde nachází výstup pro sluchátka. I/O Port (input/output) je určen pro připojení jiných digitálních zařízení. Trigger slouží k připojení zařízení, které do přístroje přivádí spouštěcí signály. Biopac MP35 je napájen stejnosměrným proudem (12 V a 1 A). Pro ochranu je zde pojistka, na obrázku nazvaná Fuse. Úplně vpravo je vypínač pro zapínání a vypínání přístroje. [2]



Obrázek 5 Zadní panel [2].

2.2 Eyetracking

Eyetracking je jedna z metod sledování pohybů očí. Přístroj provádějící měření je eyetracker. Jedním z nejvíce komerčně využívaným typem eyetrackeru je eyetracker Pupil.

V dnešní době eyetracker funguje na principu odrazu světla od odrazových ploch tvořící jednotlivé části oka. Oko se osvětluje infračerveným světlem, které nemá vliv na změnu velikosti zorniček. Infračervený paprsek je vyslán z pevného zdroje a odrazové body tvoří tzv. Purkyňovy obrazy. Tyto obrazy vznikají při odrazu světla dopadajícího na rozhraní očních tkání. Byli popsány čtyři druhy obrazů. První Purkyňův obraz je zdánlivý a vzpřímený a vzniká na rozhraní přední stěny rohovky a vzduchu. Odrazem na rozhraní komorové vody a zadní stěny rohovky vzniká druhý Purkyňův obraz, který je méně jasný než první obraz, zdánlivý a také vzpřímený. Druhý obraz v mnoha případech splývá s prvním. Třetí Purkyňův obraz vzniká na rozhraní přední čočky a komorové vody a jeho intenzita je velmi nízká z důvodů malého rozdílu indexů lomů na tomto rozhraní. Třetí obraz je, stejně jako přechodí obrazy zdánlivý a vzpřímený. Velikost toho obrazu závisí na zakřivení přední plochy čočky. Poslední Purkyňův obraz,

tedy čtvrtý, je skutečný a převrácený. Vzniká na rozhraní zadní plochy čočky a sklívce. [7][22]

Samotné oko, při svém pohybu, vytváří různé odrazové plochy s různým zakřivením. Při vysokých frekvencích snímání oka dokáže eyetracker určit střed zaměření oka na sledovanou plochu s určitou přesností a záznamem jsou pak samotné fixace a sáky. [22]

Eyetracker Pupil je mobilní zařízení, které je zobrazeno na Obrázek 6. Skládá se z rámu a dvou kamery. Jedna kamera, která je ve spodní části, vysílá infračervený paprsek a detekuje odražené paprsky od oka a druhá kamera nad okem snímá sledovanou scénu. [11]



Obrázek 6 Eyetracker Pupil [22].

V Tabulka 1 jsou uvedeny technické parametry eyetrackeru Pupil.

Tabulka 1 Technické parametry eyetrackeru Pupil [22].

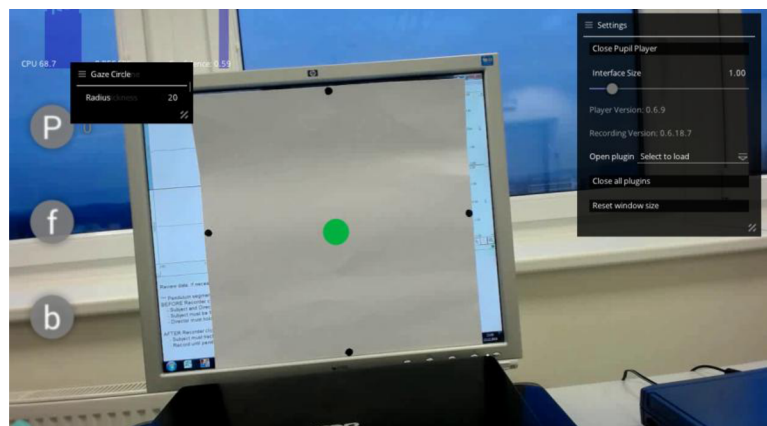
Oční kamera	Maximální rozlišení 640x480, 30 fps.
	Infračervená kamera s IR-filtr.
	Nastavitelné rameno kamery.
Kamera snímající okolní scénu	Maximální rozlišení 1920x1080, 30 fps.
	Zorný úhel 90°.
Design	Uzavřené kamery v samostatných pouzdrech.
Připojení	USB
Materiál	PLA
Váha	44 g

2.2.1 Princip měření

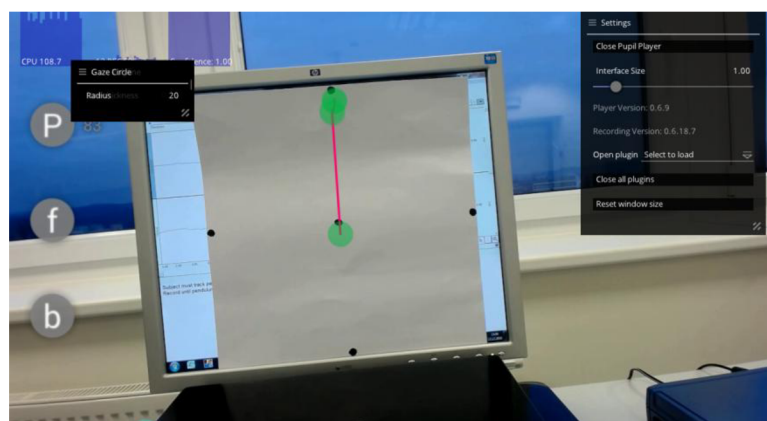
Eyetracker Pupil si měřená osoba nasadí na hlavu. Kabel, který vede z eyetrackeru se připojí pomocí USB do počítače. Abychom mohli měřit, musíme mít v počítači software Pupil Capture, díky kterému můžeme eyetracker zkalibrovat a naměřit data. Kalibraci předchází nastavení spodní (oční) kamery tak, aby zachycovala přesně zornici měřeného oka. Po provedení kalibrace začne samotné měření, kdy se snímá daná scéna s pohledem měřené osoby. [11]

2.2.2 Zpracování dat z eyetrackeru Pupil

Naměřená data se zpracovávají v softwaru Pupil Player (Obrázek 7). V tomto programu se načte video s naměřenými daty. Bod, na který se oko fixuje, je na obrázku zaznačen zelenou barvou. Přechod oka z jednoho bodu na druhý je značen červenou přímkou (Obrázek 8).



Obrázek 7 Pupil Player, zelený bod-fixace oka.



Obrázek 8 Přejchod z jednoho bodu na druhý.

Problémem zpracování dat na eyetrackeru je, že naměřená data přehrává rychleji, takže pro správné určení fixací se musí data přepočítat dle vztahu (1):

$$\text{trvání fixací} = \frac{\text{počet snímků na jednu fixaci}}{fvz} \cdot 2, \quad (1)$$

kde fvz je vzorkovací frekvence, v našem případě 24 snímků/s. Násobení dvěma je zde proto, že eyetracker přehrává data na dvakrát rychleji.

2.2.3 Využití eyetrackeru

Eyetracker je hojně využíván v dopravním inženýrství. Pomocí eyetrackeru se vyvíjejí nové systémy na sledování únavy řidiče, což vede ke snížení dopravních nehod. Pomocí sledování očí eyetrackerem se dá zjistit doba, kdy je řidič unaven a systém je schopen na to upozornit varovným signálem.

Dále se eyetracker využívá v marketingu. V západních zemích využívají sledování očí ke studiu chování zákazníků v obchodech a při čtení reklamních materiálů, televizních reklam aj. Dále se taky využívá k analýze internetových stránek, jako například k hodnocení jejich grafiky, rozložení reklam, obsahu stránek aj. [12][16]

3 REAKČNÍ DOBA ŘIDIČE

Tato kapitola se zabývá reakční dobou řidiče automobilového vozidla. Existují tři druhy reakčních dob a těmi jsou reakční doba vizuální (či starší označení optická reakce), psychická a svalová. Stěžejní pro tuto práci však bude jen jedna z nich, a to je reakční doba vizuální.

Ze soudně inženýrského hlediska reakční dobou je nazývána doba, která uběhne od vjemu do uvedení zařízení v činnost naučeným způsobem. Pokud bychom uvažovali neobvyklou situaci, kde se předpokládá, že nemáme naučený způsob této situace, reakční doba by byla individuálně delší. Pokud vezmeme v potaz vozidlo a řidiče dohromady, tak se reakční doba dělí podle Tabulka 2. Tohoto dělení se využívá při analýze silničních nehod.[3]

Tabulka 2 Dělení reakční doby subsystému vozidlo + řidič [3].

Hranice časového úseku		Název časového úseku	
1	Počátek optického vnímání nebezpečného objektu	optická reakce	reakční doba řidiče
2	Počátek ostrého optického vnímání objektu		
3	Začátek svalové reakce		
4	Dotyk brzdového pedálu	svalová reakce	
5	První dotyk třecích ploch brzd	prodleva brzd	odezva vozidla
6	Začátek zanechávání stop pneumatik na vozovce	náběh brzd	

3.1 Vizuální reakční doba řidiče

Řidič vozidla musí neustále myslet na to, co by se mohlo stát, to znamená jet „v budoucnu“. Musí také mít rozhled alespoň na takovou vzdálenost před vozidlo, aby byl schopen z dané rychlosti zastavit. Mozek řidiče je neustále zahlcován informacemi ohledně dění kolem vozidla. Řidič průběžně sleduje všechny objekty, které má v zorném poli a musí vyhodnocovat, jak moc jsou pro něj nebezpečné. Pokud vyhodnotí, že objekt v zorném poli není nebezpečný pro jeho bezpečnou jízdu, přestane se o něj zajímat a sleduje další objekt. Nastane-li ovšem situace, kdy se v zorném poli objeví nebezpečný objekt, musí řidič tento objekt nejprve zpozorovat a pak jej

vyhodnotit. Problémem ovšem je, že rozsah ostrého vidění je kolem osy oka jen zhruba jeden stupeň, tudíž pokud se objekt pohybuje mimo tento rozsah a řidič jej zachytí periferním viděním, musí se oko řidiče k objektu natočit. [3]

3.2 Psychická reakční doba řidiče

Psychickou reakční dobou se rozumí čas od optického zafixování nebezpečného objektu do okamžiku uvolnění plynového pedálu. V Tabulka 2 jsou hodnoty, které platí pro normálního střízlivého řidiče. Testovaní řidiči nebyli rozlišováni podle věku, pohlaví, staří nebo řidičských schopností.[3]

3.3 Svalová reakční doba řidiče

Jak vyplývá z předchozího odstavce, svalová reakční doba začíná od ukončení psychické reakce do té doby, dokud se řidič nedotkne brzdového pedálu. Dotyk na brzdovém pedálu neboli konec svalové reakce můžeme laboratorně měřit pomocí kontaktu, který je upevněn na brzdovém pedálu. Délka svalové reakce také částečně závisí na tom, jak jsou pedály uspořádány.[3]

V Tabulka 3 jsou uvedeny jednotlivé reakční doby a jejich trvání. Dále je zde také uvedena doba odezvy vozidla.

Tabulka 3 Trvání jednotlivých reakčních dob a trvání odezvy vozidla [3].

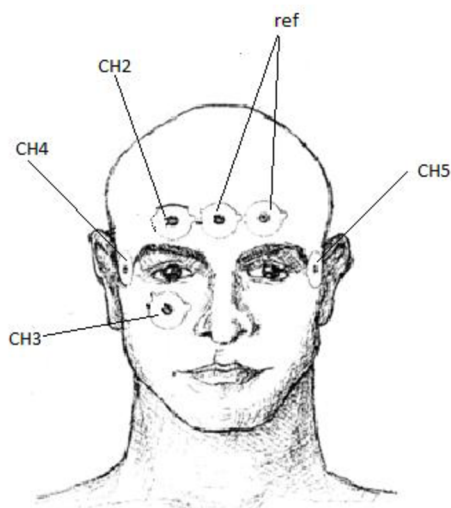
	Doba trvání (sekund)		
	spodní mez (2 %)	průměr	horní mez (98 %)
Optická reakce (varianty)			
řidič předem přímo pozoruje kritický objekt a)	0,00	0,00	0,00
- řidič sledoval jiný objekt b)	0,32	0,48	0,55
- v rozsahu do 5° c)	0,41	0,61	0,70
- v rozsahu nad 5°			
Psychická reakce (rozhodování)	0,22	0,45	0,58
Svalová reakce (přesun nohy z pedálu na pedál)	0,15	0,19	0,21
Odezva vozidla			
- prodleva brzd (od dotyku pedálu po první dotyk třecích ploch brzd)	0,03	0,05	0,06
- náběh brzdícího účinku (od prvního dotyku třecích ploch brzd po začátek zanechávání stop pneumatik na vozovce)	0,07	0,15	0,49
Odezva celkem	0,10	0,20	0,55
CELKEM - varianta			
a) (přímý pohled)	0,47	0,84	1,34
b) (do 5°)	0,79	1,32	1,89
c) (nad 5°)	0,88	1,45	2,04

4 POKUSNÉ MĚŘENÍ

Tato kapitola se zabývá přípravou pokusného měření. Bylo provedeno kalibrační měření, pro seznámení se s měřením EOG signálu pomocí zařízení Biopac a pomocí eyetrackeru. Tímto měřením byla získána délka fixací na určitý bod pro následné hodnocení, zda se výstupy z obou přístrojů dají porovnávat neboli jestli spolu určitým způsobem korespondují.

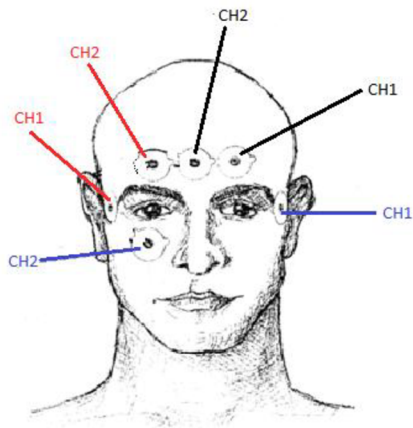
4.1 Příprava pokusného měření

Nejprve bylo nutné správně umístit elektrody na obličej měřené osoby. Na Obrázek 9 je vidět umístění šesti elektrod. Byly použity dvě referenční elektrody, jelikož s jednou referenční elektrodou zařízení Biopac není schopno měřit.



Obrázek 9 Umístění elektrod, převzato a upraveno z [18].

Následně byly zapojeny svodové kabely k elektrodám a připojeny k Biopacu. Zapojení svodových kabelů je naznačeno na Obrázek 10. K jednomu kanálu lze připojit pouze tři svodové kabely. Tyto svodové kabely se dělí na dva měřicí kabely (bílý a červený) a na jeden referenční kabel (černý). Horizontální kanál je na obrázku zaznačen jako CH1 a vertikální kanál jako CH2. Přičemž bílé svodové kabely jsou na obrázku značeny modrou barvou.



Obrázek 10 Zapojení svodových kabelů, převzato a upraveno z [18].

Po zapojení elektrod a svodových kabelů se osoba posadí před monitor ve vzdálenosti 50 cm. Pracovní vzdálenost pro zařízení Biopac je 25-50 cm, na rozdíl od eyetrackeru, který ze vzdálenosti menší než 50 cm není schopen zachytit všechny body.

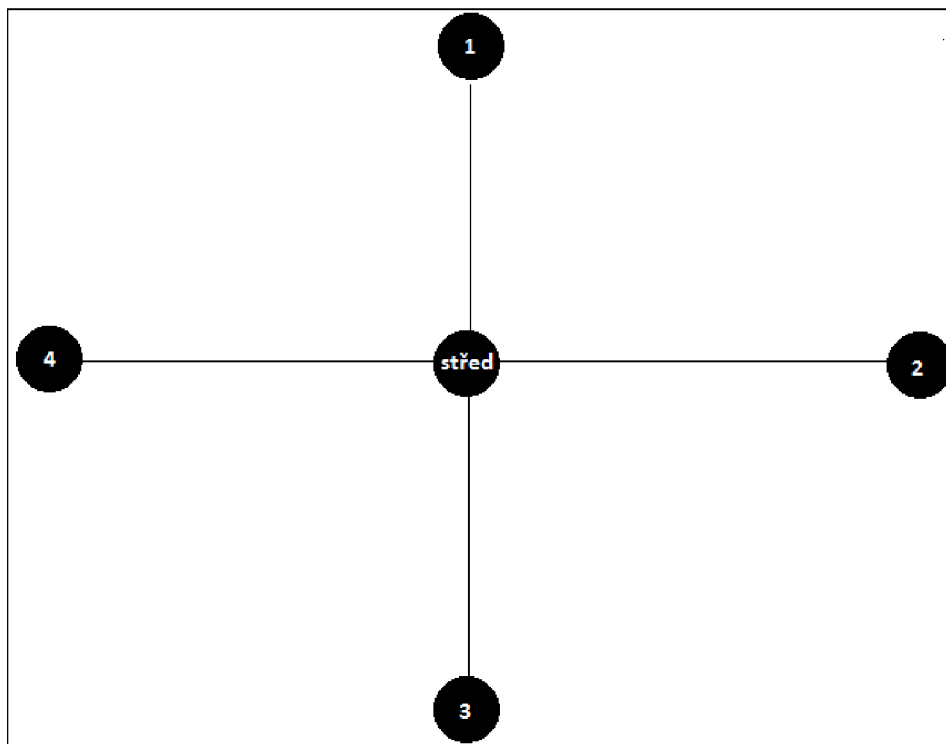
Poté je nutné provést jak kalibraci Biopacu, tak eyetrackeru a následně provést měření.

4.2 Vlastní pokusné měření

Tento typ měření dostal pracovní název kříž, jelikož trajektorie očí, po které se měřená osoba pohybovala, vytvořila imaginární kříž. Na Obrázek 11 jsou naznačeny body, na které měřená osoba fixovala svůj pohled. V Tabulka 4 je uvedeno pořadí fixací v průběhu měření.

Tabulka 4 Pořadí fixací - kříž.

pořadí	fixace
1	střed
2	bod 1
3	střed
4	bod 2
5	střed
6	bod 3
7	střed
8	bod 4
9	střed



Obrázek 11 Typ měření – kříž.

4.3 Hodnocení výstupů pokusného měření

V této kapitole jsou uvedeny výsledky pokusného měření. Je zde uvedeno, jak se k daným výsledkům došlo a co bylo třeba udělat pro jejich správné získání. Byla hodnocena délka trvání fixací na dané body, která byla naměřena jak zařízením Biopac, tak eyetrackerem.

4.3.1 Trvání fixací

Z Tabulka 5 můžeme vidět, že trvání fixací se u obou přístrojů významně neliší, což je známka toho, že oba přístroje jsou zhruba stejně přesné. Dále můžeme vidět, že ve dvou bodech ze čtyř Biopac zaznamenal rychleji změnu polohy oka, což znamená, že eyetracker také zaznamenal ve dvou bodech změnu rychleji než Biopac. Tudíž nelze říct, který z nich je přesnější.

Tabulka 5 Trvání fixací – kříž.

	eyetracker	Biopac
Bod	čas [s]	čas [s]
1	4,42	4,7
2	5,16	5,03
3	5	4,59
4	5	5,46

Pokud bychom měli referenční čas, se kterým bychom trvání fixací srovnávali, mohli bychom určit, který z přístrojů je přesnější. Této referenční čas nemáme, protože je v tomto případě těžko měřitelný.

4.3.2 Srovnání zařízení Biopac a eyetrackeru Pupil

Obecně byla snaha najít parametr, podle kterého by mohla být porovnáována obě měřící zařízení. K tomuto účelu byl vybrán parametr trvání fixací na určitý bod. Z naměřených hodnot můžeme říct, že provedené kalibrační měření nám nepodává zásadní informaci o lepším přístroji. Jak už bylo řečeno, k porovnání bychom potřebovali referenční čas, který je bohužel těžko měřitelný.

Obecně neexistuje referenční čas, podle kterého by se zařízení Biopac a eyetracker Pupil dali porovnat. Z tohoto důvodu bylo vymyšleno experimentální měření, kdy se vyšetřovala vizuální složka reakční doby řidiče. V tomto případě referenční čas existuje, proto lze na základě experimentální měření oba přístroje porovnat a vyhodnotit, který z nich je přesnější.

5 EXPERIMENTÁLNÍ MĚŘENÍ

Experimentální měření probíhalo ve spolupráci s Ústavem dopravního inženýrství VUT v Brně. Jde o simulovanou jízdu autem, při které se na cestě objevují překážky. Sledovaným parametrem byla vizuální reakční doba řidiče, tj. doba, která uplynula od objevení překážky v zorném poli po její zafixování okem měřené osoby.

V rámci experimentálního měření bylo naměřeno pět osob. Z každého měření jsme dostali celkem 5 hodnot reprezentujících vizuální reakční doby. Celkový počet vizuálních reakčních dob byl 25.

5.1 Příprava experimentálního měření

Příprava měření probíhala stejně jako u pokusného měření (viz. kapitola 4.1). Elektrody Biopacu i čelenku eyetrackeru měla měřená osoba na sobě současně.

Kalibrace obou přístrojů probíhala zvlášť a bude popsána dále. K synchronizaci Biopacu a eyetrackeru bylo využito synchronizační zařízení, jehož první konec byl upevněn na elektrodu sloužící k záznamu EOG signálu, v našem případě na elektrodu nad okem, která slouží pro sledování vertikálních pohybů. Druhý konec zakončený LED diodou sloužící k synchronizaci videozáznamu z eyetrackeru. LED dioda byla umístěna před čelní kameru eyetrackeru. Jakmile bylo stlačeno tlačítko synchronizátoru, rozsvítla se dioda před kamerou eyetrackeru a EOG signál měřený Biopacem byl zkratován. Počáteční čas byl reprezentován okamžikem zkratu EOG signálu a okamžikem bliknutí LED diody ve videozáznamu (tj. první snímek videozáznamu, kde se bliknutí objevilo).

5.2 Kalibrace

V této podkapitole budou popsány kalibrace Biopacu a eyetrackeru Pupil. Jak bylo výše uvedeno, kalibrace probíhaly před měřením zvlášť, jelikož u každého přístroje probíhala kalibrace jinak.

5.2.1 Biopac

Kalibrace Biopacu probíhá pomocí kyvadla. Po správném umístění elektrod Biopacu na měřenou osobu byl spuštěn program, který je součástí toho přístroje. Program sám nabídnul kalibraci před samotným měřením. Kalibrace pomocí kyvadla probíhala tak, že

po obrazovce monitoru běžel bod po kruhu ve směru hodinových ručiček. Úkolem měřené osoby bylo neustále bod sledovat. Při kalibraci, po kalibraci a ani při samotném měření nesměla měřená osoba hýbat hlavou.

5.2.2 Eyetracker Pupil

Způsob kalibrace eyetrackeru byl velice jednoduchý. Nejprve si měřená osoba musela nasadit brýle. Dále bylo důležité, aby kamera, která snímá zorničku, byla přesně na zorničku namířena. Toho se docílilo ručním nastavením této kamery. Následně se v příslušném programu k eyetrackeru spustila kalibrace. Ta probíhala tak, že se na obrazovce objevovaly červené body, na které musela měřená osoba zafixovat svůj pohled. Pokud fixovala na daný bod měřená osoba dobře, červený bod zezelenal a objevil se další bod na jiném místě. Kalibraci vypnul program sám, jakmile vyhodnotil, že má dostatek zafixovaných bodů. Přesnost kalibrace jsme si mohli zkontrolovat. Stačilo měřenou osobu instruovat, aby se dívala do určitého místa, například levý horní roh monitoru, a měl by se na obrazovce monitoru v tomto místě objevit červený bod. Pokud tomu tak bylo, a červený bod se neobjevil někde jinde, proběhla kalibrace eyetrackeru Pupil správně.

5.2.3 Simulátor jízdy

Simulátor jízdy vozidlem se skládal z volantu, pedálů, řadicí páky a počítače, ve kterém byl nahrán program pro simulaci. V čase měření nebylo nutné používat řadicí páku. Z těchto důvodů měřená osoba používala jen volant a pedály plynu a brzy.

5.3 Vlastní měření

Vlastní měření spočívalo v simulované jízdě tahačem. Na Obrázek 12 je vyfoceno prostředí programu simulátoru.



Obrázek 12 Prostředí programu simulátoru.

Nejprve bylo potřeba, aby měřená osoba uvedla tahače do pohybu stlačením pedálu plynu a rozjela tahač na rychlost 50 km/h. Po dosažení této rychlosti se začaly objevovat překážky. Těmito překážkami byly například srnky nebo cyklisti. Jedna jízda trvala zhruba tři minuty, v závislosti na tom, jak dobře měřená osoba reagovala. Pokud nestačila na překážku zareagovat, celková reakční doba se v programu nevyhodnotila. Celkový počet reakcí, které měřená osoba musela absolvovat, bylo pět.

6 VÝSLEDKY VLASTNÍHO MĚŘENÍ

V této kapitole bude popsáno, jak byly výstupy z obou programů upravovány a analyzovány. Dále pak budou provedeny základní statistiky výsledků.

6.1 Délka vizuální reakční doby z eyetrackeru Pupil

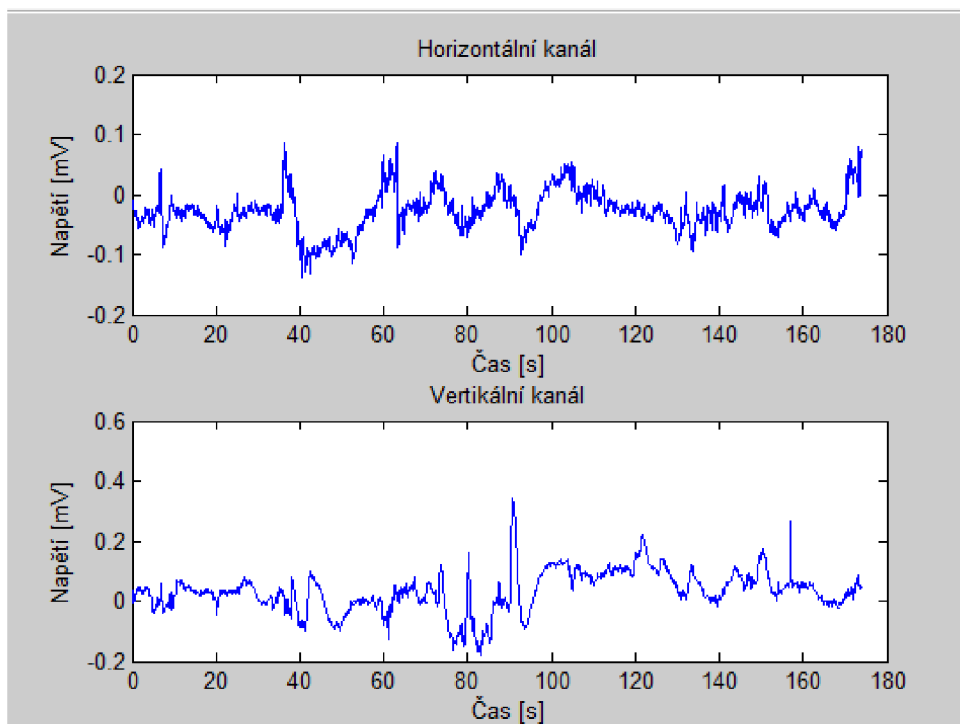
Trvání vizuálních reakčních dob z eyetrackeru bylo zjištěno podobným způsobem jako v pokusném měření. V programu Pupil Player jsme spustili výstup z měření eyetrackerem. Výstupem z eyetrackeru je videozáznam se zeleným bodem, jak už bylo uvedeno. Jelikož výstupem je video, délka vizuálních reakčních dob se dala určit s velkou přesností. Začátek vizuální reakční doby se počítal od objevení se překážky v zorném poli měřené osoby. Konec vizuální reakční doby se vyhodnocoval tehdy, když měřená osoba očima zaregistrovala překážku.

Problémem získání vizuálních reakčních dob ovšem bylo, že některé byly špatně hodnotitelné. Důvodem, který vedl k nevyhodnocení některých vizuálních reakčních dob, byly špatné světelné podmínky při simulaci jízdy. Jízda byla simulována za slunečného počasí, tudíž v některých částech videa je špatně viditelný obraz. Z toho důvodu, nebylo možné přesně určit kdy přesně se překážka objevila v zorném poli měřené osoby, a nebylo tudíž možné určit začátek vizuální reakční doby.

6.2 Délka vizuální reakční doby z Biopacu

Výstupem z Biopacu byl EOG signál, který byl načten do Maltabu pomocí funkce *load_acq*. Tato funkce načetla dvě proměnné a těmi byly hodnoty naměřené v horizontálním kanále a ve vertikální kanále (Obrázek 13).

Pro hodnocení délky vizuální reakční doby se nejprve musel určit kanál (horizontální nebo vertikální), ve kterém se tato reakce projevila podle toho, kam se měřená osoba podívala.



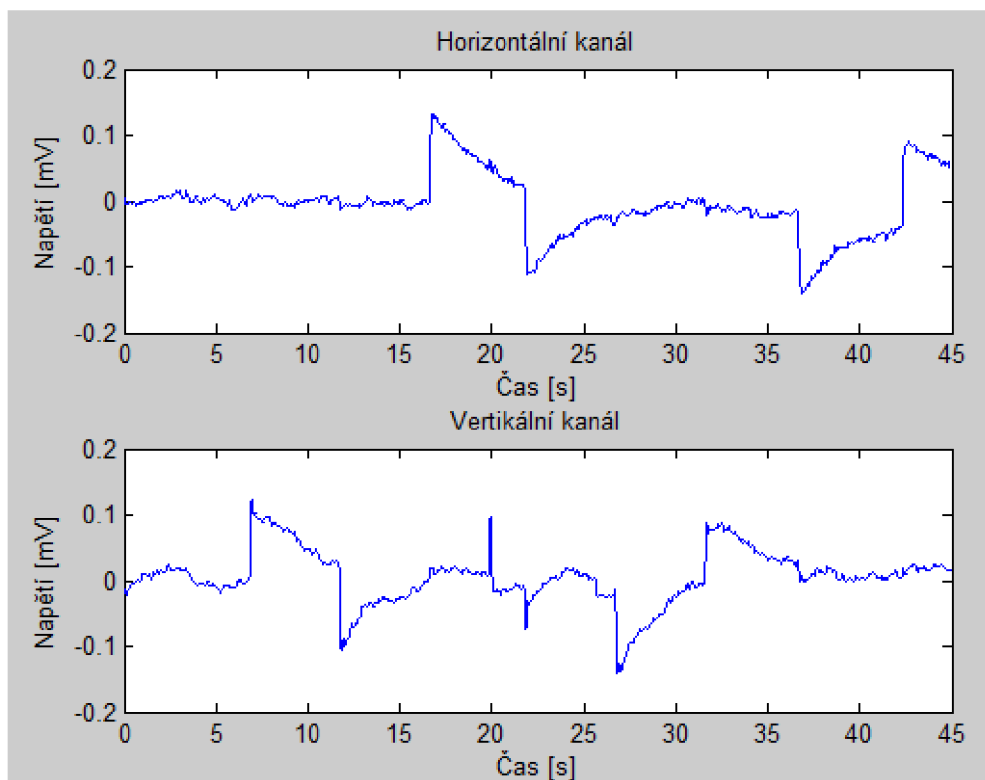
Obrázek 13 EOG signály z Biopacu.

6.2.1 Filtrace EOG signálu

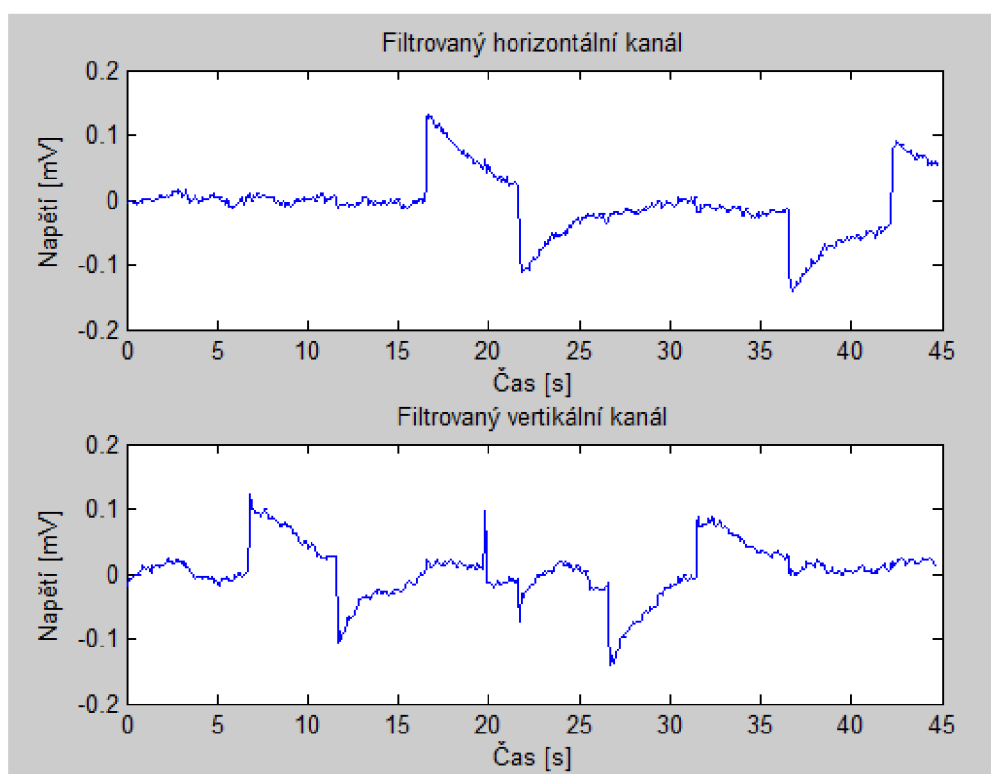
Pro samotnou filtraci naměřených dat byl použit filtr typu dolní propusti s mezním kmitočtem 30 Hz. Signál před filtrací je na Obrázek 14. Signál byl naměřen jako závislost počtu vzorků na napětí, tudíž bylo nutné převést počet vzorků na čas podle vzorce (2):

$$\text{čas} = \frac{\text{počet vzorků}}{fvz}, \quad (2)$$

kde fvz je vzorkovací frekvence a v našem případě se rovná 100 Hz. Dále byla provedena filtrace naměřených dat a výsledek je na Obrázek 15.



Obrázek 14 Naměřený nefiltrovaný signál.

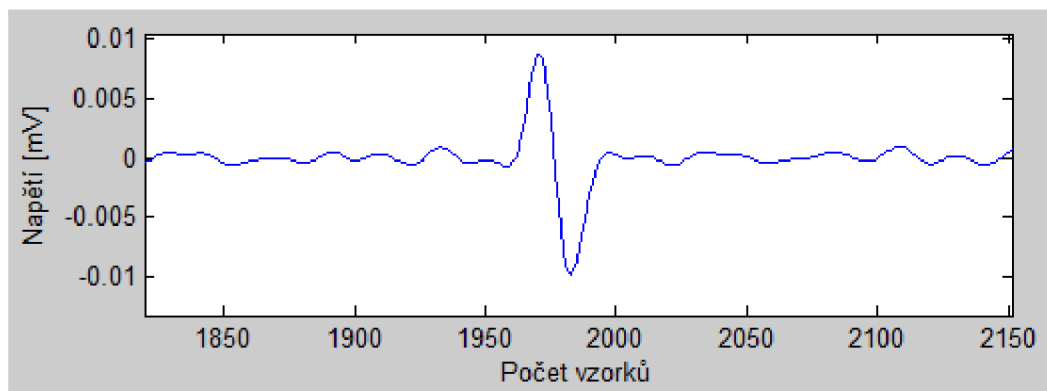


Obrázek 15 Filtrovaný signál.

6.2.2 Odstranění mrknutí

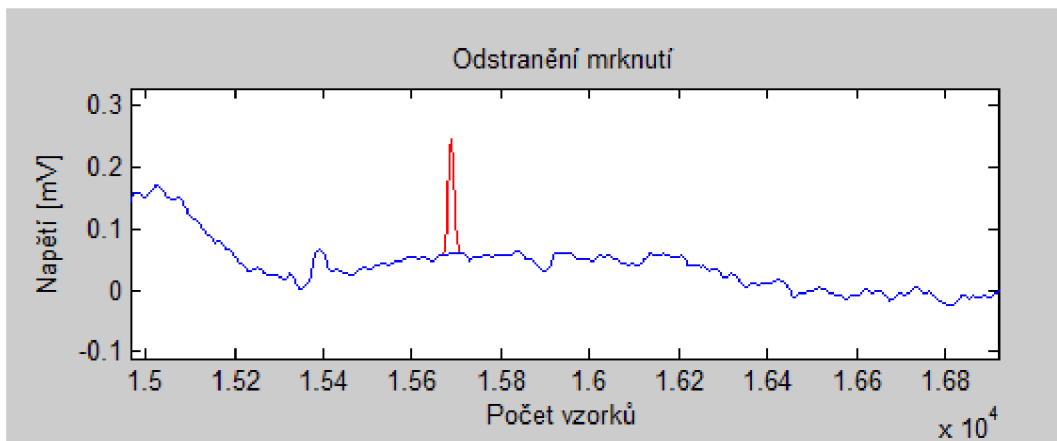
Po filtraci bylo nutné odstranit rušivé aspekty, jako je mrknutí. Průměrná doba trvání mrknutí je 100 až 400 ms. [4]

Mrknutí se v signále vyznačuje rychlým úzkým píkem ve vertikálním kanále. Proto byl vertikální kanál filtrován dolní propustí s mezním kmitočtem 7 Hz. Následně byla provedena první derivace filtrovaného vertikálního kanálu, kde mrknutí vykazuje nejprve kladnou výchylku (zavírání oka) a následně zápornou výchylku (otevírání očí), což je vidět na Obrázek 16.



Obrázek 16 První derivace – mrknutí.

Pro detekci mrknutí se v první derivaci hledaly body vyšší než nastavený maximální práh a body menší než minimální práh. Následně se hledala vzdálenost nejbližších maxim a minim. Pokud tato vzdálenost byla menší než nastavený práh, jednalo se o mrknutí. Následně se hledal začátek mrknutí a konec mrknutí. Mrknutí bylo ze signálu odstraněno a chybějící část byla lineárně aproximována. Lineárně aproximovaná znamená, že byla vygenerována klesající nebo stoupající čára od začátku mrknutí do konce mrknutí a touto čarou bylo mrknutí nahrazeno. Signál bez mrknutí je na Obrázek 17 (červená původní signál a modrá signál bez mrknutí).



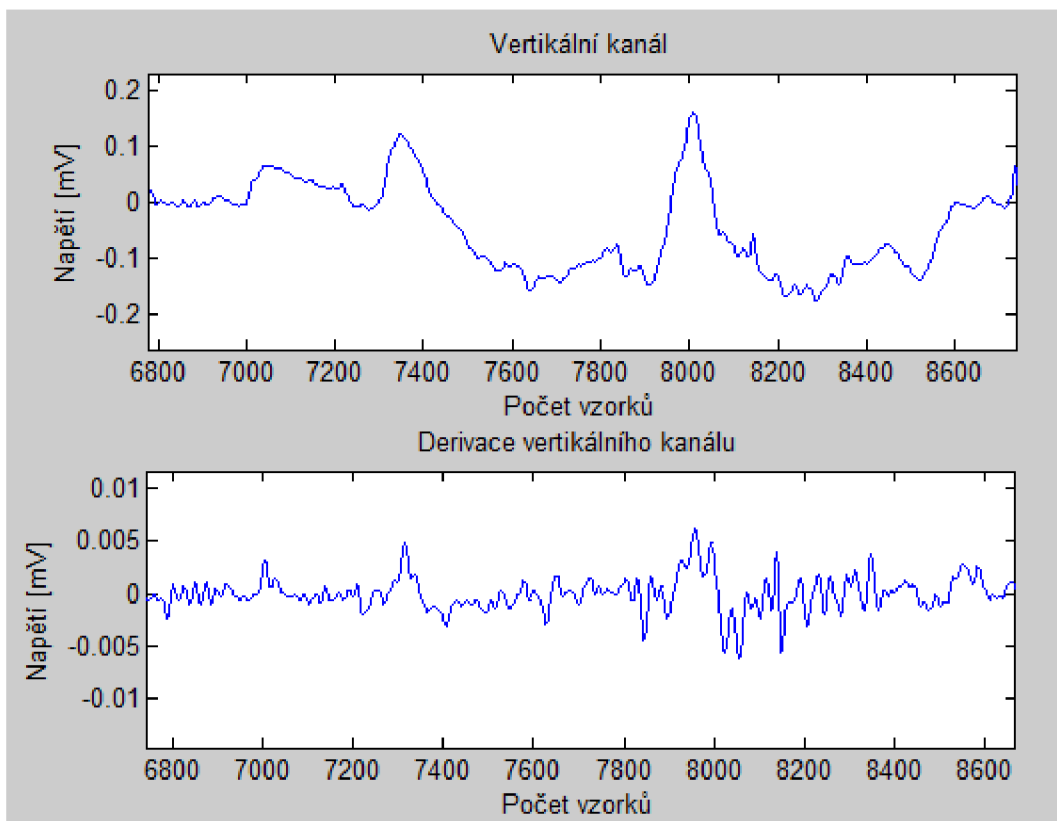
Obrázek 17 Vertikální kanál – odstranění mrknutí.

6.2.3 Algoritmus vyhledávání délky vizuální reakční doby

Při automatickém vyhledávání délky vizuální reakční doby bylo nutno vyřešit několik problémů. Prvním a největším problémem bylo to, že jednotlivé optické reakce, a tedy i tvary sakád, vypadaly jinak, a tudíž bylo problematické jejich vyhledávání generalizovat. Tvary sakád byly například úzký vysoký pík nebo delší vlnka. Odlišovaly se od sebe i směrem výchylky, která u jedné reakce byla kladná a u druhé záporná. Tento problém byl vyřešen tak, že se vytvořily dvě samostatné funkce lišící se vyhledávací algoritmem, které se při vyhledávání použily v závislosti na tvaru dané sakády.

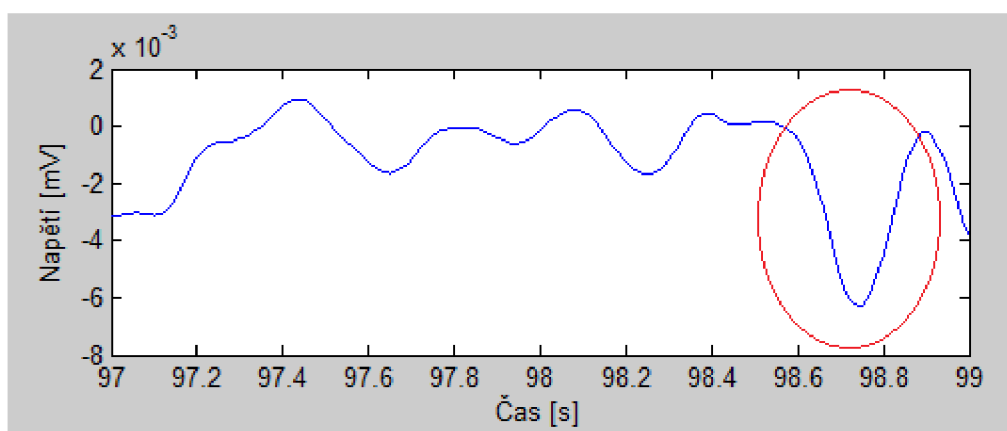
Detekce sakád pak probíhala jen v určitém časovém rozmezí (ne v celém signálu). Toto časové rozmezí bylo zjištěno z eyetrackingového záznamu. Z eyetrackingového záznamu byl zjištěn čas příslušné optické reakce a v okolí tohoto zjištěného času pak probíhalo vyhledávání a detekce příslušných sakád v EOG signálu.

Délky vizuálních reakčních dob byly určovány z první derivace signálu. První derivace určuje strmost signálu v každém bodě a zvýrazní přechody z klidového signálu do sakád. Derivace hodnot vertikálního kanálu jsou na Obrázek 18.



Obrázek 18 Úsek vertikálního kanálu a jeho derivace.

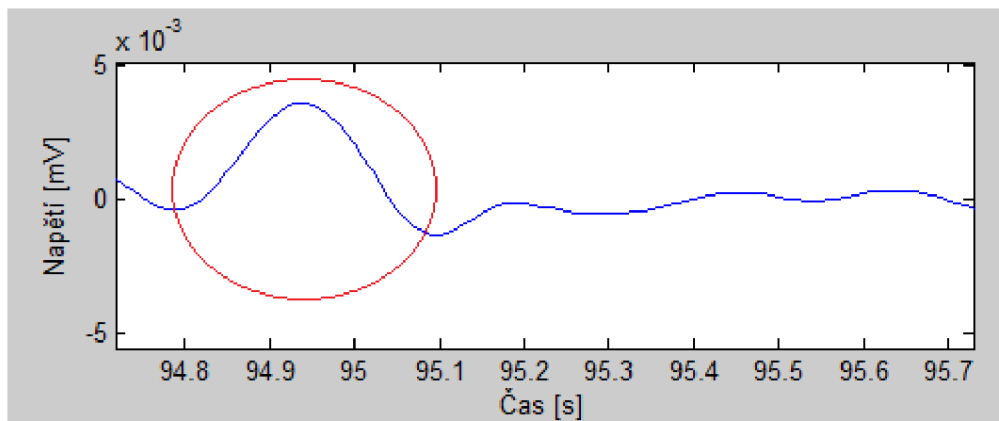
Následně bylo nutné vybrat oblasti zájmu, kde se nacházely optické reakce. V těchto oblastech se pak následně pomocí dvou funkcí určovaly délky vizuálních reakčních dob. Oblasti byly vybírány podle časových údajů z eyetrackeru. Například z eyetrackeru se vyhodnotil začátek optické reakce v čase 75,83 s a v okolí tohoto času se v EOG signálu hledala daná optická reakce. Oblasti zájmu můžeme vidět na Obrázek 19.



Obrázek 19 Oblast zájmu ve zderivovaném signále s vyznačenou sakádou odpovídající optické reakce.

6.2.3.1 Funkce vyhledávání maxima

Pro použití této funkce se sakáda vyznačovala kladnou výchylkou, která zároveň byla maximem v dané oblasti zájmu (Obrázek 20).



Obrázek 20 Sakáda pro funkci vyhledávání maxima.

Funkce vyhledávání maxima funguje na principu vyhledání maxima v určité oblasti zájmu první derivace signálu. Po vyhledání maxima se na obě strany od něho hledá zlom, kdy signál začne zase stoupat. Tímto získáme dva body, jejichž pozice (čas) od sebe odečteme a tím získáme délku vizuální reakční doby.

6.2.3.2 Funkce vyhledávání minima

Tvar sakády pro tuto funkci je na Obrázek 19. Tato sakáda se vyznačuje zápornou výchylkou, která je zároveň minimem v dané oblasti zájmu.

Funkce je založená na stejném principu jako funkce vyhledávání maxima s tím rozdílem, že se vyhledá minimum v oblasti zájmu první derivace signálu. Dále hledáme první bod napravo i nalevo od minima, kdy signál začne klesat. Trvání délky vizuální reakční doby získáme stejným způsobem, a to odečtením pozic (času) těchto bodů od sebe.

6.3 Statistické zpracování výsledků

V této podkapitole bude popsáno statistické zpracování získaných výsledků. Kolmogorovův-Smirnovův test pro dva výběry byl proveden v Matlabu a krabicové grafy byly provedeny v programu Statistica. Všechny výsledky statistického testování budou okomentovány v kapitole 7.

Délky optických reakcí (v sekundách) naměřených hodnot z eyetrackeru i z Biopacu jsou uvedeny v Tabulka 6.

Tabulka 6 Trvání optických reakcí z eyetrackeru a z Biopacu.

	eyetracker	biopac
1	0,33	0,32
2	0,58	0,29
3	0,33	0,34
4	0,33	0,33
5	0,5	0,32
6	0,417	0,51
7	0,5	0,35
8	0,417	0,26
9	0,33	0,26
10	0,66	0,6
11	0,5	0,53
12	0,5	0,27

Z těchto získaných hodnot obou přístrojů byl vypočítán medián a následně bude porovnáván s tabelovanými hodnotami pro délku vizuální reakční doby. Hodnoty mediánů jsou v Tabulka 7.

Tabulka 7 Mediány získaných vizuálních reakčních dob a tabulkový medián.

	eyetracker	biopac	tabulková hodnota
medián	0,4585	0,325	0,555

6.3.1 Kolmogorovův-Smirnonův test

Kolmogorovův-Smirnonův (dále jen K-S) test říká, zda dvě náhodné veličiny pocházejí se stejného rozdělení pravděpodobnosti. Tento test má více variant, v našem případě jsme použili test pro dva výběry neboli dvouvýběrový test.

Nulová hypotéza toho testu zní: „Dva výběry pocházejí ze stejného rozdělení“. Testování jsme provedli s hladinou významnosti $\alpha=0,05$.

Tento test byl vypočítán v Matlabu pomocí funkce *kstest2*, který slouží pro dvouvýběrový test. Výsledky jsou uvedeny v Tabulka 8. Písmeno H nám říká, jestli je nulová hypotéza zamítnuta či nikoli. Může nabývat pouze dvou hodnot a to 1 nebo 0. Pokud H=1, tak je nulová hypotéza zamítnuta. V opačném případě H=0, není nulová hypotéza zamítnuta. Druhou hodnotou, kterou K-S test vypočítá, je p-hodnota. Tato

hodnota udává mezní hladinu významnosti, při které bychom nulovou hypotézu ještě zamítli. Pokud je p-hodnota menší než α , nulovou hypotézu zamítáme. V opačném případě nulovou hypotézu přijímáme.

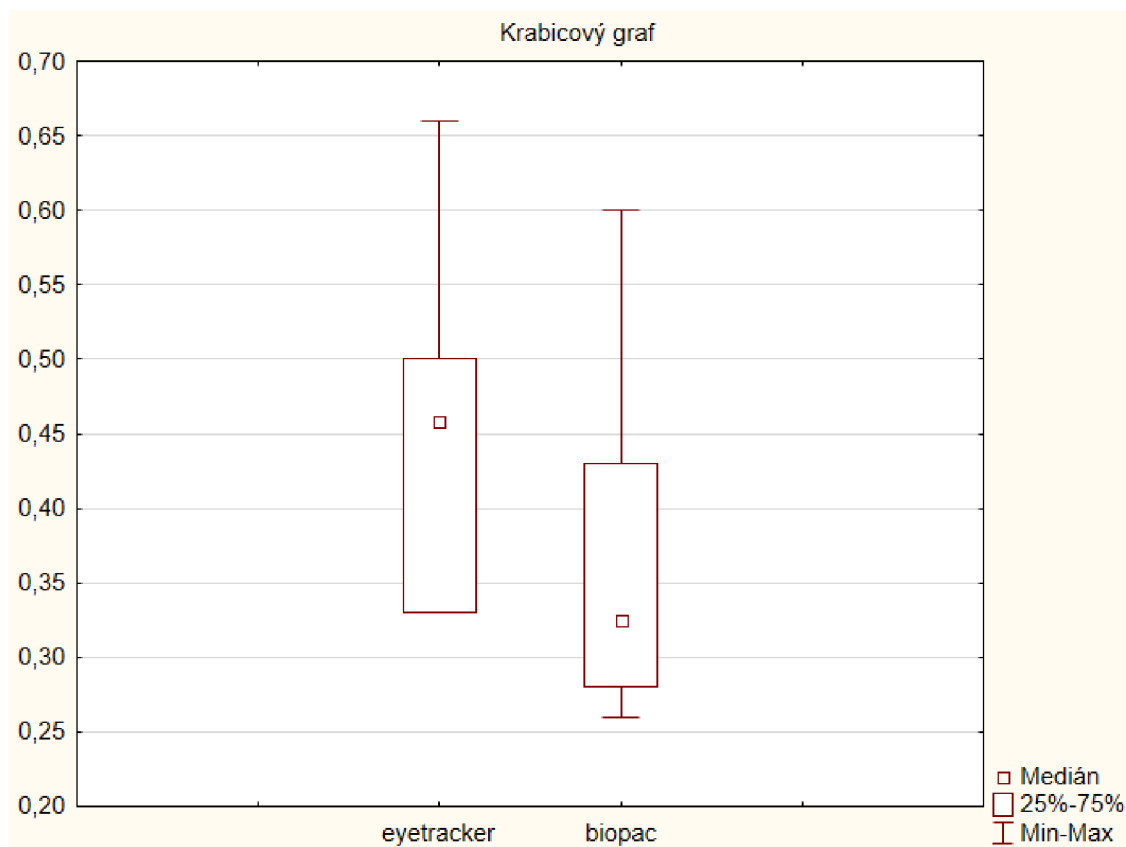
V Tabulka 8 jsou uvedeny výsledky pro získané výsledky z obou typů měření vizuální reakční doby (z Biopacu i eyetrackeru). Nulová hypotéze nebyla zamítnuta, tudíž to znamená, že oba výběry pocházejí ze stejného rozdělení a lze je tedy srovnávat mezi sebou.

Tabulka 8 Výsledky K-S testu.

p-hodnota	H
0,0656	0

6.3.2 Krabicové grafy

Krabicové grafy (či boxploty) slouží k vizualizaci dat. Pomocí boxplotů můžeme vyhodnotit odlehle hodnoty, rozptyl dat a medián. Boxploty dat naměřených Biopacem a eyetrackerem Pupil jsou uvedeny na Obrázek 21. Na základě této popisné statistiky byly hodnoty trvání vizuální reakční doby porovnány mezi sebou i s referenčními tabelovanými hodnotami.



Obrázek 21 Křabicové grafy naměřených dat, na ose y jsou uvedeny hodnoty v sekundách.

7 DISKUZE

Získané výsledky byly statisticky vyhodnoceny v kapitole 6.3. V Tabulka 3 jsou uvedeny dvě rozmezí optických reakčních dob. Jedno rozmezí pro pohyby očí pod 5° a druhé nad 5° . Pro naše měření bylo vybráno rozmezí, které odpovídá pohybům nad 5° . Pro toto rozmezí se vizuální reakční doba pohybuje od 0,41 do 0,70 s. Toto rozmezí trvání vizuální reakční doby bylo vybráno z důvodů toho, že ani při jedné z optických reakcí se oko měřené osoby nepohnulo o méně než 5° .

Při odstraňování mrknutí došlo k detekci chybných úseků signálu, které se jeví jako mrknutí, ale ve skutečnosti mrknutí nebyly. Následkem toho bylo chybné odstranění signálu, který ovšem nezasahoval do daných vizuálních reakcí. Důvodem chybné detekce, mohl být algoritmus, kterým se mrknutí odstraňuje, jelikož některé pohyby očí se mohli jevit jako mrknutí a byly detekčním algoritmem uznány za mrknutí.

Bylo proměřeno pět dobrovolníků, z nichž by každý měl mít pět optických reakcí. Celkově by tedy počet optických reakcí měl být 25. Avšak statistický soubor z obou zařízení má velikost pouze 12 pro jedno zařízení. Důvodů, které vedly k tak velkému zmenšení dat, bylo hned několik. První důvodem bylo prostředí simulátoru, kdy jízda probíhala za slunečného počasí, což ale způsobilo zhoršení světelných podmínek pro hodnocení optických reakcí. V některých případech tak překážky nebyly dobře vidět a nebylo možné správně určit začátek vizuální reakční doby. Dalším důvodem pro nevyhodnocení vizuální reakční doby byl samotný EOG signál. Některé z optických reakcí nebylo možné rozeznat, i když jsme znali čas reakce z eyetrackeru. Dalším důvodem pro nevyhodnocení vizuální reakční doby byl pohyb hlavy měřené osoby. Všechny tyto důvody vedly ke snížení celkového počtu naměřených optických reakcí a ke snížení počtu měření na 4 dobrovolníky.

Pomocí Kolmogorova-Smirnovova testu bylo ověřováno, zda oba soubory dat, jak z Biopacu tak z eyetrackeru, odpovídají stejnému rozdělení, aby mohly být porovnány mezi sebou. Z Tabulka 8 je patrné, že p-hodnota vyšla větší než hladina významnosti, která byla 0,05. Díky tomu hodnota H vyšla 0 a nulová hypotéza, která zní, že oba soubory odpovídají stejnému rozdělení, tak nebyla zamítnuta (byla tedy přijata). Z toho důvodu můžeme oba soubory dat mezi sebou porovnávat.

Pokud budeme výsledky hodnotit pomocí krabicových grafů, lze říci, že získané hodnoty vizuální reakční doby z EOG signálů snímaných ze zařízení Biopac mají téměř shodný rozptyl jako vizuální reakční doby získané z eyetrackeru. Většina hodnot naměřených zařízením Biopac ovšem nespadá do tabelovaného rozmezí délky vizuálních reakcí, které je 0,41 až 0,7 s. Dále z krabicových grafů můžeme vyčíst

mediány a porovnat je s mediánem tabulkové hodnoty námi vybraného rozmezí (Tabulka 7). Soubor hodnot vizuální reakční doby z Biopacu má medián 0,325 s. Rozdíl oproti mediánu hodnot vizuální reakční doby z eyetrackeru, který má hodnotu 0,4585 s je zřetelný. Pokud budeme oba mediány srovnávat s mediánem tabulkových hodnot, který má hodnotu 0,555 s, lze říci, že eyetracker je přesnější, protože se mediánem blíží více tabulkovému mediánu než medián Biopacu.

Další způsob, jak můžeme obě zařízení mezi sebou porovnat, je pomocí složitosti vyhodnocení výstupů. Výstup z Biopacu byl EOG signál. Tento signál je nutné před hodnocením upravit. Nejprve se musí filtrovat pomocí filtru typu dolní propusti s mezním kmitočtem 30 Hz. Dále je nutné odstranit artefakty jako je mrknutí. Aby mohl být takto upravený signál vyhodnocen, je potřeba se nejprve na dané optické reakce podívat, aby byla využita správná funkce pro nalezení délky vizuální reakční doby. K tomu také musíme znát přesný čas začátku optické reakce, protože ze samotného naměřeného signálu nepoznáme, kde přesně se optická reakce nachází, jelikož měřená osoba při jízdě autem dělá mnoho pohybů očima, které se podobají těmto optickým reakcím. Přesný čas optických reakcí bylo možné díky synchronizaci získat z eyetrackeru. Oproti Biopacu jsou výstupy z eyetrackeru vyhodnotitelné velice jednoduše. Výstup z eyetrackeru byl videozáznam, kde zelený bod značí, kam se osoba dívá. Pokud je eyetracker správně zkalibrovan, lze s velkou přesností určit začátek i konec vizuální reakční doby. Čas začátku vizuální reakční doby se počítal od okamžiku, kdy se překážka objevila v zorném poli měřené osoby. Konec vizuální reakční doby byl zaznamenán, když měřená osoba pohledem zaregistrovala překážku. Tato skutečnost odpovídala přesunu zeleného bodu na překážku. Výstup z eyetrackeru se nemusel nijak upravovat nebo filtrovat. Z pohledu složitosti vyhodnocení výsledků lze říci, že eyetracker je oproti Biopacu o mnoho jednodušší. Není potřeba ho nijak upravovat a nemusí se používat žádné složité algoritmy.

ZÁVĚR

Bakalářská práce se zabývala měřením pohybů očí pomocí zařízení Biopac a eyetrackeru Pupil. Nejprve byla popsána základní anatomie a fyziologie oka spolu s druhy pohybů očí. Byla provedena rozsáhlá rešerše ohledně EOG signálu a jejich zpracování. Byly popsány principy snímání pohybů očí pomocí Biopacu a eyetrackeru Pupil.

Bylo provedeno pokusné měření, které sloužilo k porozumění základním principům měření s Biopacem i s eyetrackrem Pupil. Pomocí tohoto měření byl změřen jeden dobrovolník a výsledky z toho měření byly vyhodnoceny. Bylo zjištěno, že porovnat tato dvě zařízení v obecné rovině nelze, takže je nutné tato dvě zařízení vyzkoušet v konkrétní situaci, kdy je známa referenční hodnota, ke které se výsledky z obou zařízení budou vztahovat. V tomto případě bylo vybráno měření a stanovení vizuální reakční doby řidiče, kde získané výsledky z obou zařízení byly porovnávány mezi sebou a hlavně s referenčními tabelovanými hodnotami dopravní znalecké praxe.

Experimentální měření probíhalo na simulátoru jízdy autem, kdy úkolem měřené osoby bylo rychle a správně reagovat na překážky, které se objevovaly v jeho zorném poli. Těmito překážkami byly například srnky nebo cyklisti. Experimentálního měření se zúčastnilo 5 dobrovolníků, kteří absolvovali třiminutovou jízdu tahačem a museli celkem pětkrát zareagovat na překážku.

Hodnoceným parametrem experimentálního měření byla vizuální reakční doba měřené osoby. Vizuální reakční doba je doba od objevení překážky v zorném poli měřené osoby po její zaregistrování očima měřené osoby. Tato vizuální reakční doba by podle tabulkových hodnot měla být v rozmezí 0,41 a 0,70 s.

Z výsledků vyplývá, že eyetracker je jednodušším a přesnějším zařízením pro měření pohybů očí. Nespornou výhodou eyetrackeru Pupil je, že jeho výstup se nemusí nijak upravovat, a že uživatel přímo z videozáznamu dokáže určit trajektorii a směr pohledu zkoumané osoby.

Literatura

- [1] Balek B.: Elektrické biosignály lidského těla měřené ISESem, Veletrh 16, Olomouc 2011. Dostupné z: <http://vnuf.cz/sbornik/prispevky/16-01-Balek.html>
- [2] BIOPAC SYSTEMS, Inc. Biopac Student Lab PRO Manual: Professional Version 3.7.7 [online] [cit.2016-12-22]. Dostupné z: http://www.seas.upenn.edu/~belab/equipment/equipment_links/BioPac_Student_Manual.pdf
- [3] BRADÁČ, Albert. *Soudní inženýrství*. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 1999. ISBN 80-7204-057-X.
- [4] BULLING, Andreas, Jamie A WARD, Hans GELLERSEN a Gerhard TRÖSTER. Eye Movement Analysis for Activity Recognition Using Electrooculography. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence* [online]. 2011, **33**(4), 741-753 [cit. 2016-12-22]. DOI: 10.1109/TPAMI.2010.86. ISSN 0162-8828. Dostupné z: <http://ieeexplore.ieee.org/document/5444879/>
- [5] ČIHÁK, Radomír, DRUGA, Rastislav a Miloš GRIM (eds.). *Anatomie*. 2., upr. a dopl. vyd. Praha: Grada, 2004. ISBN 80-247-1132-X.
- [6] DOKLÁDAL, Milan a Libor PÁČ. *Anatomie člověka III.: systém kožní, smyslový a nervový*. 2. nezm. vyd. Brno: Masarykova univerzita, 2002. ISBN 80-210-3027-5.
- [7] DUŠEK Jaroslav, HOZMAN Jiří, HROMÁDKA Zdeněk, DOSTÁLEK Miroslav.: Automatická detekce horizontální polohy Purkyňových obrazů,
- [8] GANONG, William F. *Přehled lékařské fyziologie*. 20. vyd. Praha: Galén, 2005. ISBN 80-7262-311-7.
- [9] HOLIBKOVÁ, Alžběta a Stanislav LAICHMAN. *Přehled anatomie člověka*. 5. vyd. Olomouc: Univerzita Palackého v Olomouci, 2010. ISBN 978-80-244-2615-0.
- [10] ISCEV STANDARDS. ISCEV standard for clinical electro-oculography. Perth: Annual General Meeting, 2010. 7 s. Dostupné z <http://www.iscev.org>.
- [11] KASSNER, Moritz, William PATERA a Andreas BULLING. *Pupil: An Open Source Platform for Pervasive Eye Tracking and Mobile Gaze-based Interaction* [online]. [cit. 2016-12-23]. Dostupné z: <https://arxiv.org/pdf/1405.0006.pdf>
- [12] KLIMEŠ, Jeroným. Oční kamera a její využití v marketingu. *Strategie*. 2001, č.9

- [13] KOLDER, Hansjoerg E. Electro-oculography. HECKENLIVELY, John R a Geoffrey B ARDEN. Principles and practice of clinical electro.
- [14] KVAPILÍKOVÁ, Květa. *Vyšetřování oka*. Brno: Institut pro další vzdělávání pracovníků ve zdravotnictví, 1995. ISBN 80-7013-195-0.
- [15] MALMIVUO, Jaakko a Robert PLONSEY. Bioelectromagnetism: principles and applications of bioelectric and biomagnetic fields [online]. New York: Oxford University Press, 1995 [cit. 2013-08-25]. ISBN 01-950-5823-2. Dostupné z: <http://www.bem.fi/book/>.
- [16] NIELSEN, Jakob a Kara PERNICE. Eyetracking web usability. Berkeley, CA.: New Riders, 2010, xix, 437 p. ISBN 03-214-9836-4. 39.
- [17] NOVOTNÝ, Ivan a Michal HRUŠKA. *Biologie člověka*. 3., rozš. a upr. vyd. Praha: Fortuna, 2002. ISBN 80-7168-819-3.
- [18] PFLANZER, Richard, a kol. BIOPAC SYSTEM, Inc. Biopac Student Lab: Laboratory Manual. 1. vyd. Goleta, CA, 2007.
- [19] SYNEK, Svatopluk a Šárka SKORKOVSKÁ. *Fyziologie oka a vidění*. Praha: Grada, 2004. ISBN 80-247-0786-1.
- [20] WARD, Jeremy P. T. a R. W. A. LINDEN. *Základy fyziologie*. Praha: Galén, c2010. ISBN 978-80-7262-667-0.
- [21] WEBSTER, John G. a John W. CLARK. *Medical instrumentation: application and design*. 4th ed. Hoboken, NJ: John Wiley, c2010. ISBN 0471676004.
- [22] Základní úvod do Eye Trackingu. *VLET.osu.cz* [online]. [cit. 2016-12-23]. Dostupné z: <http://vlet.osu.cz/e-tracking.htm>

Seznam příloh

Příloha 1: Obsah přiloženého CD

Příloha 1: Obsah příloženého CD

1. Bakalářská práce (formát .pdf)
2. Složka „Databáze signálů“
 - Obsahuje naměřené signály dobrovolníků „jméno“
3. Složka „Programy“
 - Mereni_vita.m
 - Mereni_dana.m
 - Mereni_misa.m
 - Mereni_tom.m
4. Složka „Funkce“
 - Load_acq.m
 - Odstraneni_mrknuti.m
 - Vyhledavani_maxima.m
 - Vyhledavani_minima.m
5. Podrobnější informace k programům (formát .pdf)