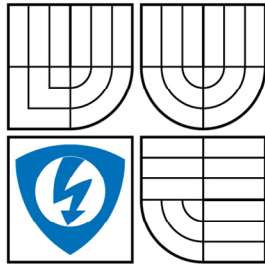


VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ  
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A  
KOMUNIKAČNÍCH TECHNOLOGIÍ  
ÚSTAV AUTOMATIZACE A MĚŘICÍ TECHNIKY

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION  
DEPARTMENT OF CONTROL AND INSTRUMENTATION

# AUTOMATICKÁ DETEKCE POHYBU OČÍ

AUTOMATIC DETECTION OF EYE MOVEMENT

## Bakalářská PRÁCE

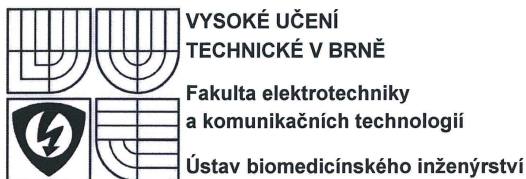
BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE  
AUTHOR

MICHAL KAŇA

VEDOUCÍ PRÁCE  
SUPERVISOR

Ing. JANA BARDOŇOVÁ, PH.D.



# Bakalářská práce

bakalářský studijní obor  
**Automatizační a měřicí technika**

**Student:** Kaňa Michal  
**Ročník:** 3

**ID:** 47849  
**Akademický rok:** 2007/08

**NÁZEV TÉMATU:**

## Automatická detekce pohybu očí

### POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

Seznamte se s počítačovým systémem Biopac, který umožňuje záznam biologických signálů. Zaměřte se na záznam elektrických projevů očních svalů EOG. Navrhněte měření pro záznam EOG a v programovém prostředí MATLAB vytvořte aplikaci pro automatickou detekci pohybu očí. Funkčnost systému ověřte a navrhněte možnosti využití v praxi.

### DOPORUČENÁ LITERATURA:

- [1] HONZÍKOVÁ, N., HONZÍK, P. Biologie člověka. Skriptum. Brno: Nakladatelství VUTIUM, 2000
- [2] CHMELAR, M. Lékařská přístrojová technika. Skriptum. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 1995
- [3] Biopac [online]. MP System BIOPAC Hardware Guide, User's Manual, BIOPAC System, Inc., 2004

**Termín zadání:** 1.2.2008

**Termín odevzdání:** 2.6.2008

**Vedoucí projektu:** Ing. Jana Bardoňová, Ph.D.

**prof. Ing. Pavel Jura, CSc.**  
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 § 152 trestního zákona č. 140/1961 Sb.

**Anotace:**

Tato práce se zabývá možností využití počítačového systému Biopac pro detekci očních pohybů.

Čtenář je uveden do problematiky očních pohybu, seznámen s metodou měření pomocí elektrookulografie a s počítačovým systémem Biopac. Cílem této práce je navržení postupu měření a způsobu, jakým vyhodnocená data zpracovat.

Vypracovaná metoda postupu dovoluje měřit detekci očních pohybů na základě metody elektrookulografie a z naměřených dat prezentovat výsledky. Součástí práce jsou výsledky, na nichž byla dokázána funkčnost metody.

**Klíčová slova:** Elektrookulografie, Biopac

Brno University of Technology  
The Faculty of Electrical Engineering and Communication  
Department of Control and Instrumentation

## **AUTOMATIC DETECTION OF EYE MOVEMENT**

Bachelor's Thesis

Specialisation of study: Control and Instrumentation  
Student: Michal Kaňa  
Supervisor: Ing. Jana Bartoňová Ph.D.

### **Abstract:**

This bachelor thesis deals with possibilities of using computer system Biopac for detection of eye movements.

Reader is introduced to problematics of eye movement, method of measuring with the help of electrooculography and computer system Biopac. The goal of this bachelor thesis is to design a procedure of measuring and method of processing of evaluated data.

This elaborated method of procedure allows measuring eye movement detection based on the method of Electrooculography and present results of measuring data. Functionality of the method was demonstrated on the results which are also part of the thesis.

**Key words:** Electrooculogram, Biopac

## **Bibliografická citace**

Kaňa, Michal. Automatická detekce pohybu očí. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2008. s 6. příloh. Vedoucí práce. Ing. Jana Bartoňová, Ph.D.

## **P r o h l á š e n í**

„Prohlašuji, že svou bakalářskou práci na téma Automatická detekce pohybu očí jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové 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 bakalářské práce dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením této bakalářské 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 § 152 trestního zákona č. 140/1961 Sb.“

V Brně dne :

Podpis:

## **P o d ě k o v á n í**

Děkuji tímto Ing. Janě Bartoňové, Ph. D. za cenné připomínky a rady při vypracování diplomové práce.

V Brně dne :

Podpis:

## OBSAH

<b>1. ÚVOD .....</b>	<b>10</b>
<b>2. OČNÍ POHYBY A ZPUSOB JEJICH MĚŘENÍ.....</b>	<b>11</b>
2.1 Elekkookulografie (EOG):.....	11
2.2 Zachycení zrakového vjemu: .....	12
2.3 Fáze Fixace: .....	12
2.4 Fáze sakád:.....	13
<b>3. MĚŘICÍ SYSTÉM BIOPAC.....</b>	<b>15</b>
3.1 Biopac Student Lab:.....	15
3.2 Hardwarová část systému Biopac: .....	16
3.3 Technické Parametry MP35/30: .....	16
3.4 Nastavení systému Biopac: .....	17
<b>4. POPIS A PRŮBEH MĚŘENÍ, VIZUÁLNÍ STIMULY.....</b>	<b>20</b>
4.1 Popis testovacího měření: .....	20
4.2 Měřicí potřeby:.....	20
4.3 Příprava Měření: .....	20
4.4 Vyhodnocení měření: .....	23
4.5 Vyhodnocení grafu: .....	24
<b>5. VIZUÁLNÍ STIMULY: .....</b>	<b>27</b>
5.1 Testy:.....	27
5.2 Čtení kontrolního textu: .....	28
5.3 Sledování statického bodu: .....	30
5.4 Čtení textu s rušivým stimulem: .....	30
<b>6. VYHODNOCENÍ MĚŘENÍ.....</b>	<b>31</b>
6.1 Vizuelní stimul: testy .....	31
6.2 Vizuelní stimul: čtení textu .....	33
6.3 Sledování statického bodu: .....	38
6.4 Čtení textu s poruchou: .....	39
6.5 Zhodnocení záznamů druhé měřené osoby:.....	40
6.6 Zhodnocení záznamů třetí měřené osoby: .....	41

<b>7. IMPLEMENTACE EOG DO PROGRAMOVÉHO PROSTŘEDÍ MATLAB</b>	
.....	<b>42</b>
<b>8. VYUŽITÍ V PRAXI</b> .....	<b>43</b>
<b>9. ZÁVĚR:</b> .....	<b>44</b>
<b>10. LITERATURA</b> .....	<b>45</b>

## SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1.1	Potenciálové rozdíly v oku.....	11
Obr.1.2	Potenciálové rozdíly v oku .....	12
Obr. 1.3	MP35/30 .....	16
Obr. 1.2	Úvodní okno BSL PRO. ....	17
Obr. 1.3	Záložka MP35.....	18
Obr. 1.4	Záložka Set up Channels.....	18
Obr. 1.5	Set up Acquisition.....	19
Obr. 1.1	Připojení elektrod pro horizontální směr.....	21
Obr. 1.2	Připojení elektrod pro vertikální směr.....	22
Obr. 1.3	Vizuální stimul pro kalibraci.....	23
Obr. 1.4	Rozpoznání fáze fixace.....	24
Obr. 1.5	Rozpoznání fáze sakády.....	25
Obr. 1.6	Změna potenciálu – vertikální směr.....	26
Obr. 1.7	Změna potenciálu – horizontální směr.....	27
Obr. 1.8	Vizuální stimul testu horizontálního pohybu oka – Test-1.....	27
Obr. 1.9	Vizuální stimul testu vertikálního pohybu oka – Test-2.....	28
Obr. 1.10	Vizuální stimul – Text-1.....	28
Obr. 1.11	Vizuální stimul – Text-2.....	29
Obr. 1.12	Vizuální stimul – Text-3.....	29
Obr. 1.13	Vizuální stimul StatB.....	30
Obr. 1.14	Záznam elektrookulogramu Test-1.....	31
Obr. 1.15	Záznam elektrookulogramu Test-2.....	32
Obr. 1.16	Záznam elektrookulogramu Text-1.....	34
Obr. 1.17	Záznam elektrookulogramu Text-2.....	35
Obr. 1.18	Záznam elektrookulogramu Text-3.....	37
Obr. 1.19	Záznam elektrookulogramu StatB.....	38
Obr. 1.20	Záznam elektrookulogramu Text-RI.....	39

## 1. ÚVOD

Cílem této bakalářské práce je seznámit se se základními informacemi o příčině očních pohybů. Dále je popsáno, jakým způsobem se dají oční pohyby zaznamenat a vyhodnotit pomocí metody elektrookulografie. Čtenář je seznámen s počítačovým systémem Biopac a s navrženým postupem, jak pomocí tohoto systému detekovat oční pohyby, na základě výše zmíněné metody.

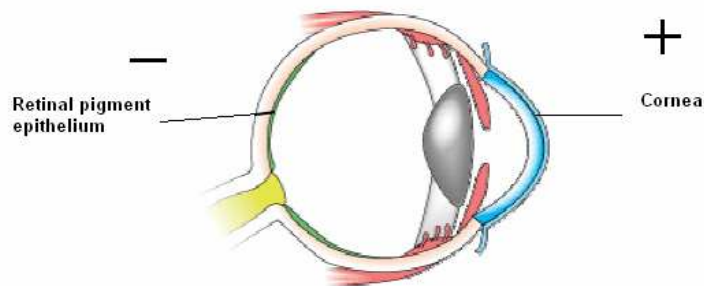
Hlavním výsledkem této práce by mělo být zhodnocení použitelnosti metody elektrookulografie ve spojení s měřicím systémem Biopac.

Nejdůležitějším smyslovým orgánem, pomocí něhož člověk získává nejvíce informací o okolním prostředí jsou oči. Jako veškeré tělesné funkce jsou i oči řízeny mozkiem pomocí bio-signálů. Pohyb očí je ovládán pomocí šestice okohybných externích svalů, přičemž každý ze svalů je ovládán samostatně. Tyto svaly mohou okem pohybovat a nebo jej fixovat při pohybu hlavy. Metod pro záznam očních pohybů je několik. V této práci je blíže popsána a využita metoda elektrookulografie (EOG), která spočívá v záznamu potenciálového rozdílu, mezi oční rohovkou a očním pozadím. EOG je neinvazivní, bezpečná, levná a přes některé nedostatky stále využívaná metoda. Záznam měřených hodnot při použití metody EOG se nazývá elektrookulogram a prezentuje se ve formě grafu.

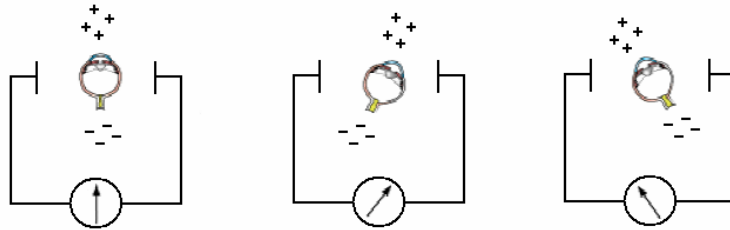
## 2. OČNÍ POHYBY A ZPUSOB JEJICH MĚŘENÍ

### 2.1 ELEKROOKULOGRAFIE (EOG):

Elektrookulografie je metoda pro záznam očních pohybů. Tato technika spočívá v záznamu rozdílového potenciálu (tzv. korneoretinální potenciál) mezi oční rohovkou a očním pozadím, který je přibližně roven 1mV. Elektrický potenciál je v závislosti určený podle intenzity světla a na změně výchylky oka. Jelikož k měření elektrookulografie dochází při nezměněné intenzitě světla, lze elektrický potenciál v závislosti na intenzitě světla považovat za nulový. Elektrookulografie je neinvazivní, bezpečná a přes některé nedostatky stále využívaná metoda. Záznam výsledku elektrookulografie je prezentován ve formě grafu a nazývá se elektrookulogram. Vhodným umístěním snímacích elektrod je možné zaznamenat výchylky v horizontálním i vertikálním směru.



Obr. 2.1 Potenciálové rozdíly v oku



**Obr.2.2 Potenciálové rozdíly v oku**

## 2.2 ZACHYCENÍ ZRAKOVÉHO VJEMU:

Pro zachycení zrakového vjemu je nutné aby světlo dopadlo na sítnici. Sítnice je umístěná v zadní části oka. Je složená ze světločivých receptorů – tyčinek a čípků. Tyčinky jsou receptory velmi citlivé na světlo, ale nedokážou rozeznat barvu s výjimkou modré a zelené. Jejich předností je, že poskytují lepší časovou odezvu než čípky. Čípky detekují barvy a zároveň umožňují vidět zřetelněji. Existují 3 druhy čípku, kdy každá skupina je určena k jiné detekci vlnové délky.

Při nižší intenzitě světla přestávají čípky reagovat a zrakový vjem zajišťují pouze tyčinky, které zobrazují světelnou informaci v zelenošedých a modrých odstínech. Aby byl zrakový vjem co nejostřejší je nutné aby světelná informace dopadal na oblast známou jako žlutá skvrna (centrální foveu). Žlutá skvrna se nachází přibližně nad oblasti průchodu optické osy sítnice. Zde se nachází největší koncentrace světločivých receptorů (převážně čípky).

## 2.3 FÁZE FIXACE:

Fáze fixace je stav, když je oko relativně v klidu a dochází k vnímání zrakového vjemu. Světlo zrakového vjemu je zachycováno v oblasti žluté skvrny. Oblast žluté skvrny v této fázi zachytává 1-2 stupně zrakového úhlu (čemuž přibližně odpovídá 3-6 písmen textu na stránce A4, při vzdálenosti od stránky 30cm). Při

fixaci se zrakový vjem také odráží na parafoveální oblast sítnice. Tato oblast se nachází kolem oblasti žluté skvrny. Parafoveální oblast zahrnuje přibližně 4 stupně zrakového úhlu, čemuž odpovídá přibližně 18 písmen textu. Zbylá oblast sítnice odpovídá perifernímu vidění.

Ve fázi fixace není oko naprostém v klidu, ale vykonává drobné pohyby (makrosakády, drift).

Drift je klouzavý pohyb oka, kdy se oko v průběhu 200ms vychýlí o 1 – 5 minuty. Tento pohyb je určující pro obnovování obrazu na sítnici.

Mikrosakády jsou podobné sakádám, avšak jejich úkolem je vyvážení pohybu způsobeného driftem.

#### 2.4 FÁZE SAKÁD:

Fáze sakad je stav, kdy dochází ke skokové změně pohledu oka. Velikost a směr sakad lze ovlivnit vůlí, avšak při četní textu, nebo sledování rychle se pohybujícího předmětu je tento pohyb automatický. Během sakád dochází k potlačení vnímání.

Pro sakadické pohyby je několik určujících parametrů:

Amplituda sakady – velikost sakády, která je měřená v úhlových stupních nebo minutách. U člověka dosahují sakady až desítky stupňů.

Maximální rychlost sakad – rychlost během sakády, kdy oko dosahuje maximální rychlosti. Sakády dosahují rychlosti až 900 stupňů za sekundu.

Doba sakady – čas za který proběhne samotná sakáda. Řadově se pohybuje kolem desítek ms.

Mezi těmito určujícími parametry platí určitá souvislost, která je natolik charakteristická, že se dá použít k vyhodnocení sakád.

$$d = 2,2 * a + 21$$

d – doba trvání sakády v ms

a – amplituda sakády ve stupních

Zpravidla je délka trvání jednoho sakadického pohybu 20ms. Rychlost sakády dosahuje až 900 stupňů za sekundu.

### 3. MĚŘICÍ SYSTÉM BIOPAC

#### 3.1 BIOPAC STUDENT LAB:

Biopac Student Lab (BSL) je jedinečný systém umožňující studentům pracovat s biologickými signály bez potřeby komplexního nastavení přístrojů a soustředit se na výsledky měření. Tento systém zahrnuje hardware (MP35/MP30), software, a dokumentaci která obsahuje soubor lekcí ilustrující základní fyziologické principy.

BSL je systém představující komplexní řešení pro nejrůznější druhy fyziologických měření lidského, ale i zvířecího organismu. Systém je primárně určen pro výuku, ale po instalaci rozšiřujícího softwaru lze tento systém použít i pro testování a výzkum. Systém je naprosto bezpečný a při správném používání a dodržování základních pravidel nehrozí měřené osobě ani žádné jiné v blízkosti systému BSL žádné nebezpečí. Systém BSL je natolik bezpečný, že měřenou osobou mohou být i osoby se zvýšeným zdravotním rizikem.

Základní verze BSL je primárně určena k výuce a k měření jednoduchých biologických projevů a signálů. K systému BSL je dodávána sestava 17 základních lekcí, které slouží k základnímu seznámení s fyziologickými průběhy funkcí lidského těla. Všechny tyto lekce jsou již přednastaveny a ke každé z nich je přiložený podrobný návod. Tyto lekce jsou pouze výukové a nelze s nimi manipulovat nebo je upravovat. Všech 17 výukových lekcí je určeno pro měření na lidech a jsou volně k distribuci ze stránek výrobce ([biopac.com](http://biopac.com)) nebo ze stránek dodavatele.

Výukové lekce jsou zvoleny tak, aby pokryly základní fyziologické vlastnosti lidského těla a osvětlili studentům jejich principy. K systému BSL je dodávána manuál, ve které jsou podrobně popsány jednotlivé lekce. Ke každé lekci je v tomto manuálu podrobný popis návod připojení sond, nastavení sond, popis kalibrace sond a také jejich připojení k lidskému tělu.

### Biopac Student Lab. PRO:

Možnost, jak pomocí BSL vytvářet nové výukové úlohy, nebo provádět vlastní měření spočívá v softwarovém rozšíření PRO.

### 3.2 HARDWAROVÁ ČÁST SYSTÉMU BIOPAC:

Hardwarovou část systému představuje MP35/30. Základem hardwaru MP35/30 je mikroprocesor, který zajišťuje potřebnou komunikaci a transformaci potřebných dat. Mikroprocesor přijímá digitální data z počítače a podle těchto dat nastavuje a kontroluje (kalibruje) jednotlivé kanály. Měřená analogová data z jednotlivých kanálů (CH1-CH4) jsou podle nastavení vzorkována a zpracována podle předem nastavených parametrů. Přenos dat mezi MP35/30 a počítačem je přes USB rozhraní



Obr. 3.1 MP35/30

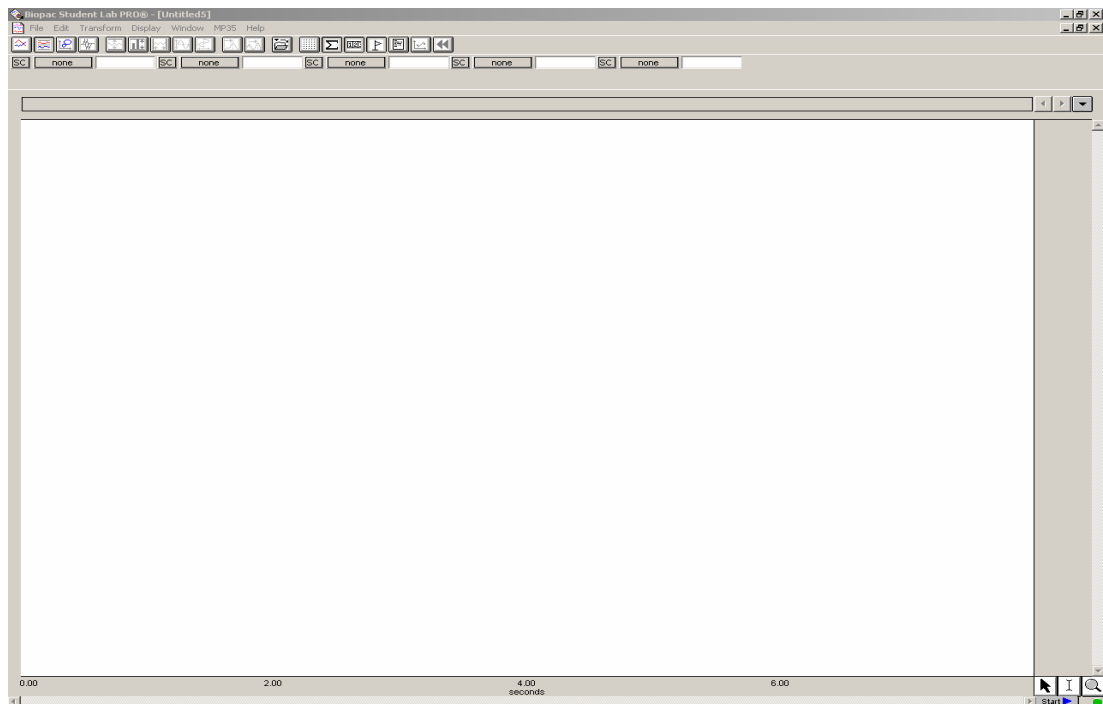
### 3.3 TECHNICKÉ PARAMETRY MP35/30:

Rozměry	7*29*25 cm
Váha	1,4 kg
Napájecí napětí:	110-230V (dle napájecí sítě a transformátoru )
Počet vstupních (měřících kanálů):	4 (CH1-CH4)
Vin+ Vin- k GND:	0-100KΩ

Vzorkovací frekvence:	100K/s-1/s
A/D převodníky:	24-bit
Měřitelný signál:	>90dB
Vstupní přesnost kanálu:	+0.001%
Vstupní ochrana:	+1mA/V
Maximální vstupní napětí:	2V p-p
Offsetová tolerance elektrod:	Gains 10, 20, 50: +-2V Gains 100, 200, 500: +-200mV Gains 1000, 50000: +-80mV

### 3.4 NASTAVENÍ SYSTÉMU BIOPAC:

Po spuštění měřicího programu BSL PRO se objeví hlavní okno měření (viz. Obr. 3.2).



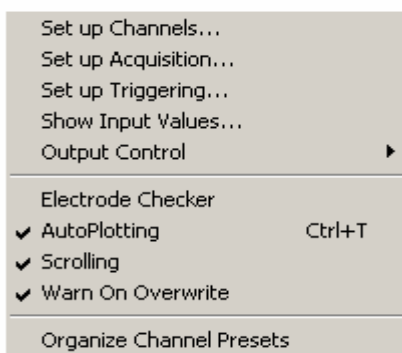
**Obr. 3.2 Úvodní okno BSL PRO.**

V horní části se nachází lišta se záložkami, pomocí nichž probíhá celkové nastavení. Pod lištou se záložkami je umístěna lišta, na níž jsou umístěny ikony pro

úpravu, transformaci a kontinuitu naměřených dat. Spouštění a záznam měření je ovládán ikonami vpravo dole.

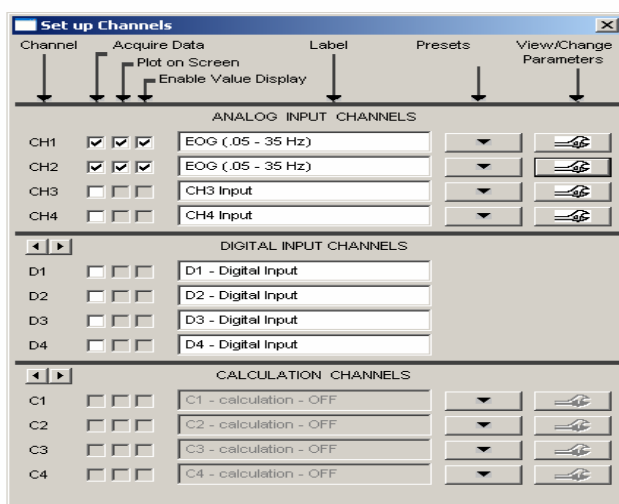
Záložka **Transform** – rozčlenění měřicího okna a nastavení zobrazených změřených dat.

Záložka **MP35** – nastavení parametrů měření.



Obr. 3.3 Záložka MP35

**Set up Channels** – nastavení parametrů jednotlivých měřicích kanálů.



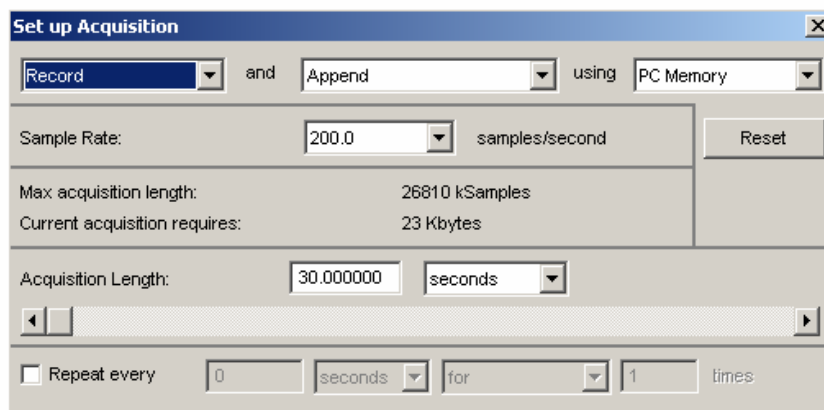
Obr. 3.4 Záložka Set up Channels

**Presets** – nastavení druhu sondy pro vybraný měřicí kanál.

**View/Change Parameters** – parametry připojených sond

- zesílení
- offset sondy připojené na kanál
- vzorkovací frekvence
- možnost nastavení dolní nebo horní propusti

**Set up Acquisition** – parametry záznamu měřených hodnot.



**Obr. 3.5 Set up Acquisition**

Pomocí těchto oken lze provést základní nastavení potřebné pro měření.

## 4. POPIS A PRŮBEH MĚŘENÍ, VIZUÁLNÍ STIMULY.

### 4.1 POPIS TESTOVACÍHO MĚŘENÍ:

Pro přiblížení funkcí, které musí výsledné měření splňovat, krátce popíšeme průběh měření. Výsledkem měření je zjištění, zda testovaná osoba reaguje na vizuální stimul. Tímto stimulem je text na monitoru počítače.

K tomuto jsou potřeba 2 počítače. Na prvním počítači je nainstalovaný software BSL PRO, připojený hardware MP35/30 a měřicí sondy. Tento počítač slouží k měření vizuálních stimulů, a k jejich vyhodnocení. Druhý počítač slouží k zobrazování stimulů, na které má měřená osoba reagovat.

### 4.2 MĚŘICÍ POTŘEBY:

Počítač – 2x

Měřicí sondy – Biopac electrode set (SS2L) - 2x

Měřicí elektrody – Biopac disposable vinyl electrodes (EL503) – 6x

Gel – Biopac Electrode Gel (GEL1)

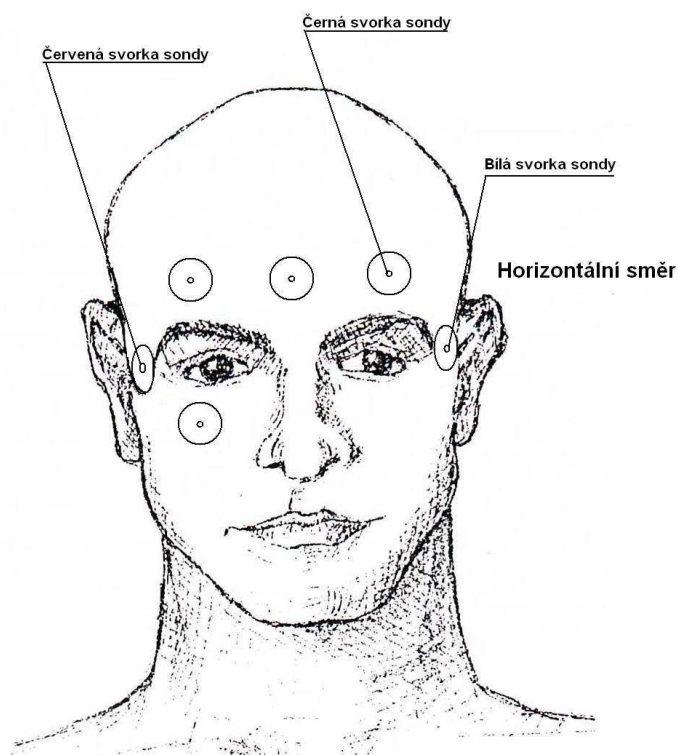
MP35/30

### 4.3 PŘÍPRAVA MĚŘENÍ:

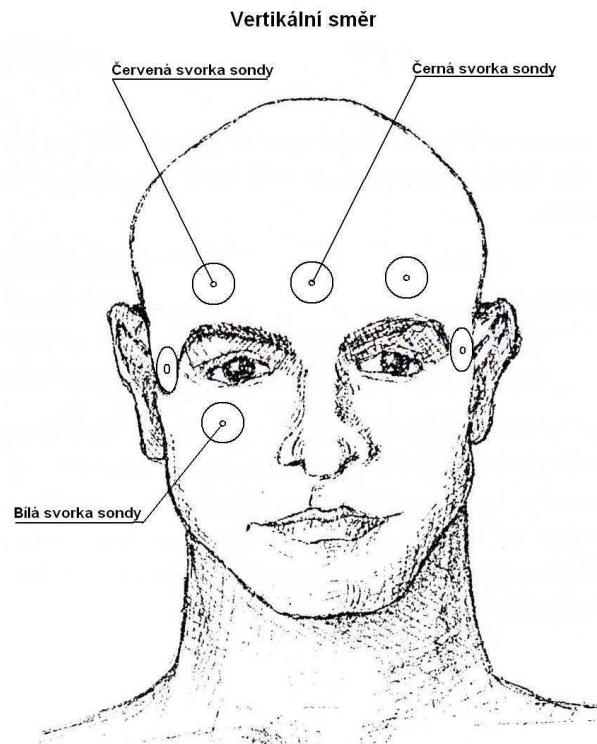
Testovanou osobu posadíme před druhý počítač a seznámíme jej s průběhem měření. Na prvním počítači měřicí osoba spustí program BSL PRO, nastaví a spustí novou úlohu ( File/New). Následně provede měřicí osoba připojení měřicích sond. Pro průběh měření jsou potřeba dvě sondy SSL2, které se připojí na kanály CH1 a CH2. Na kanálu CH1 probíhá měření rozdílového potenciálu pro horizontální pohyb očí. Na kanálu CH2 probíhá měření rozdílového potenciálu vertikálního pohybu očí. Po připojení sond ke kanálům měřicí osoba provede nastavení jednotlivých kanálů. Nejdříve měřicí osoba pomocí tlačítka **Transform** nastaví parametry zobrazování kanálů pro měření. Následně pomocí tlačítka **MP35/Set up**

**Channels** připojí jednotlivé kanály a tlačítkem **Present** vybere vhodné nastavení kanálu. Tlačítkem **Scaling** provede předkalibraci sond.

Každá měřicí sonda má 3 konektory pro připojení elektrod. Měřící osoba provede fixaci měřících elektrod měřené osobě na obličej. Před aplikací elektrod je nutné na místa, kam se přilepí elektrody, nanést gel, pro lepší elektrickou vodivost a přilnavost. Připojení elektrod kanálu CH1 pro horizontální směr je vyobrazeno na obr 4.1, připojení elektrod kanálu CH2 pro vertikální směr je vyobrazeno na obr 4.2.



**Obr. 4.1 Připojení elektrod pro horizontální směr**



**Obr. 4.2 Připojení elektrod pro vertikální směr**

Po připojení elektrod měřená osoba sleduje kalibrační stimul, který v průběhu 0,5s mění hodnoty na obrazovce počítače 2. Z těchto kalibračních grafů měřící osoba určí, zda jsou sondy a elektrody správně připojeny a zda je potřeba provést změnu nastavení jednotlivých kanálů.



**Obr. 4.3 Vizuální stimul pro kalibraci**

Měření proběhlo na třech testovaných osobách. Každá měřená osoba absolvovala 2 testy (**Test-1** a **Test-2**), čtení textu (**Text-1**, **Text-2**, **Text-3**), statické sledování jednoho bodu (**StatB**) a čtení textu s rušivým impulzem (**Text-RI**). Čtení textu s rušivým impulzem spočívá v čtení Text-2 s tím, že uprostřed přečteného textu měřící osoba umístila do směru pohledu měřené osoby rušivý stimul (předmět na nějž se měla měřená osoba podívat - tužka). Jelikož technika záznamu EOG snímá rozdíly potenciálového napětí pohybu očních svalů, jsou při tomto typu měření snímány i elektrické impulzy ostatních svalů na obličeji. Proto byly veškeré měření provedeny za předpokladu, že měřený subjekt nemrkal.

#### **4.4 VYHODNOCENÍ MĚŘENÍ:**

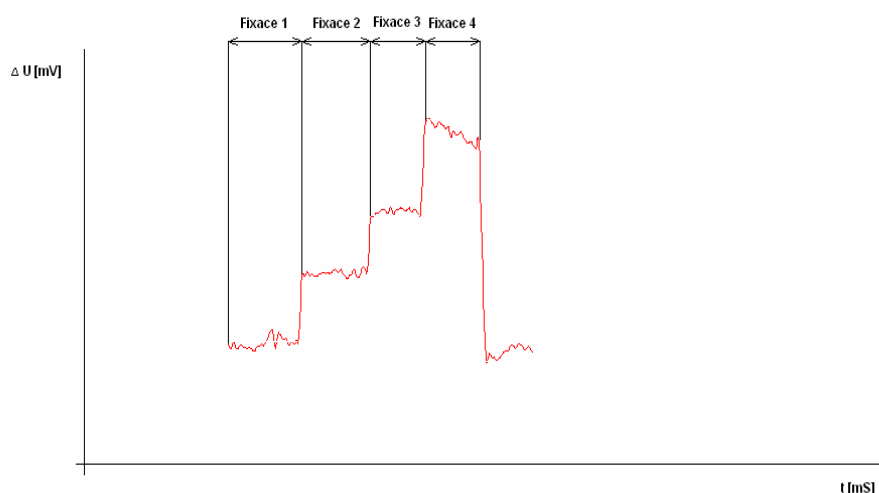
Jak již bylo řečeno v úvodní popisu, je výslednou hodnotou měření je záznam elektrických impulzů okohybných svalů. Každé oko je fixováno 6 svaly, které dovolují pohyb oka ve vertikálním, horizontálním směru a také k zaostření oka. Pro elektrookulografii jsou důležité záznamy potenciálového rozdílu, avšak do záznamu měření se projevují i rušivé složky. Těmito rušivými složkami jsou pohyby očních svalů, pohyby ostatních obličejových svalů a pohyby víček. Tyto rušivé elektrické impulzy bohužel nelze eliminovat, ale mohou být potlačeny spoluprací měřeného subjektu, který bude co nejméně pohybovat obličejovými svaly.

Záznam měření při elektrookulografii se nazývá elektrookulogram. Jedná se o záznam elektrických impulzů potenciálu oka v závislosti na čase. Pro toto měření systémem BSL PRO bylo použito 6 snímacích elektrod. Každá z elektrických sond snímala určitý potenciál. Rozmístění bylo zvoleno tak, aby 3 elektrody snímaly horizontální pohyb oka a 3 snímaly vertikální pohyb oka.

#### 4.5 VYHODNOCENÍ GRAFU:

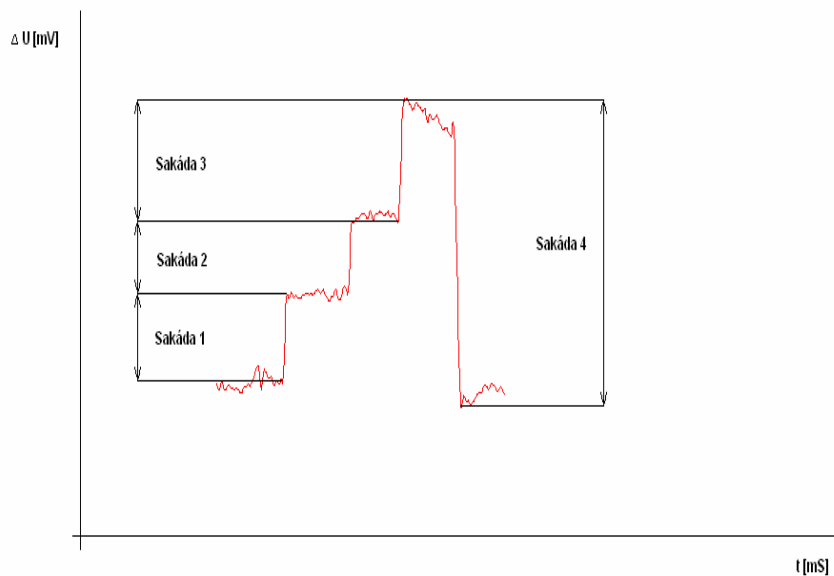
Výsledkem měření EOG pomocí systému BSL PRO jsou dva elektrookulogramy. První elektrookulogram představuje pohyb oka v horizontální poloze, a druhý pohyb oka ve vertikální poloze. Pro pohyb oka jsou určující dvě základní fáze. Fáze fixace a fáze sakády. Pro správné vyhodnocení elektrookulogramu je důležité detekovat jednotlivé fáze (fixace a sakády) a správně vyhodnotit, zda odpovídají danému vizuálnímu stimulu.

**Fáze fixace** se v elektrookulogramu projeví jako neměnná hodnota elektrického impulzu v závislosti na čase. Během tohoto časového impulzu, který trvá několik desítek až stovek milisekund dojde k promítnutí vizuálního stimulu na sítnici.



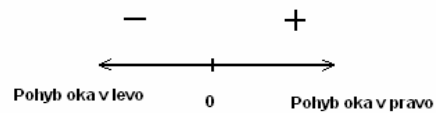
Obr. 4.4 Rozpoznání fáze fixace

**Fáze sakád** se v elektrookulogramu projeví jako změna hodnoty elektrického potenciálu oka v závislosti na čase. Během tohoto impulsu dojde k přesunu do další fáze fixace. Doba trvání fáze sakády je několik jednotek až desítek milisekund.



**Obr. 4.5 Rozpoznání fáze sakád**

Samotná změna potenciálu během sakády je natolik určující, že při pohybu jedním směrem je potenciál impulsu kladný, kdežto při pohybu druhým směrem je potenciál záporný. Při měření byly sondy a elektrody nastaveny tak, aby při výchylce v horizontálním směru doprava byla výchylka kladná, kdežto při výchylce v horizontálním směru vlevo byla výchylka záporná. Při výchylce vertikálním směrem jsou sondy a elektrody nastaveny tak, aby při výchylce nahoru byl potenciál kladný, kdežto při výchylce ve vertikálním směru dolů, byla výchylka záporná. Tyto parametry jsou dané pouze umístěním konkrétních elektrod a nastavením měřicích kanálů.



**Obr. 4.6 Změna potenciálu – vertikální směr**



**Obr. 4.7 Změna potenciálu – horizontální směr**

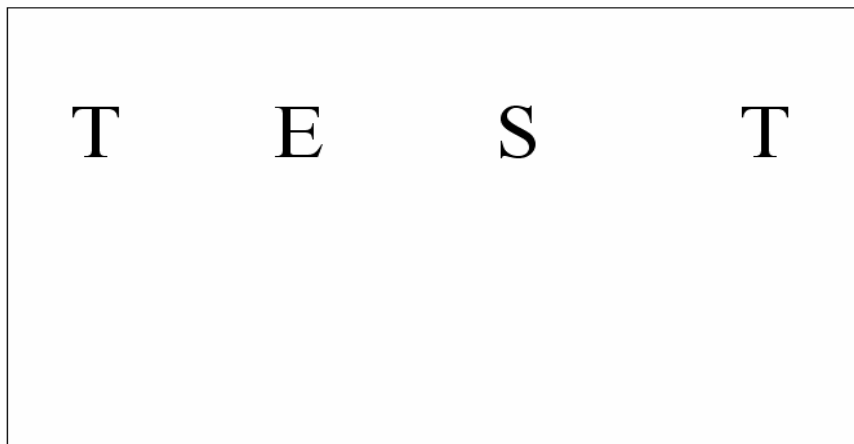
## 5. VIZUÁLNÍ STIMULY:

K experimentálnímu měření bylo použito několik vizuálních stimulů. Vizuální stimuly jsou rozděleny do několika kategorií podle způsobu jejich využití. Pro přehlednost uvádíme jednotlivé z nich.

### 5.1 TESTY:

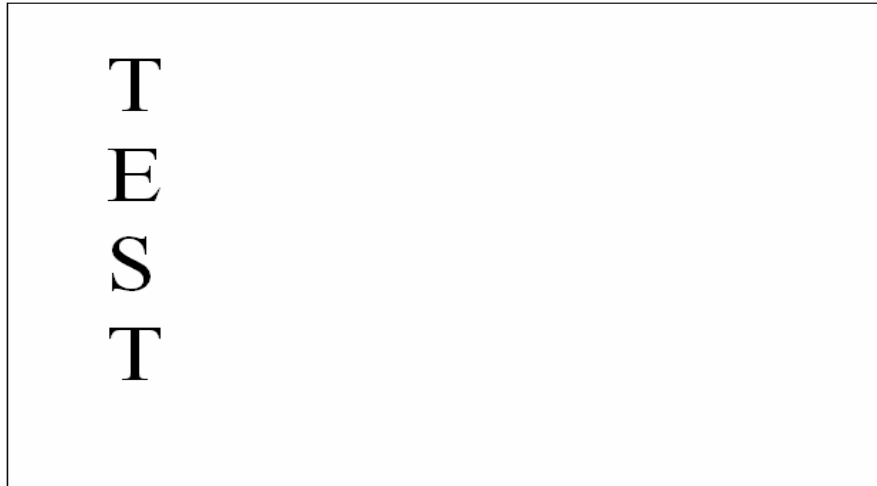
Měřená osoba má za úkol opakovaně číst text vizuálního stimulu.

**Test-1**- čtení horizontálního textu několikrát po sobě:



**Obr. 5.1** Vizuální stimul testu horizontálního pohybu oka – Test-1

**Test-2** – čtení vertikálního textu několikrát po sobě:

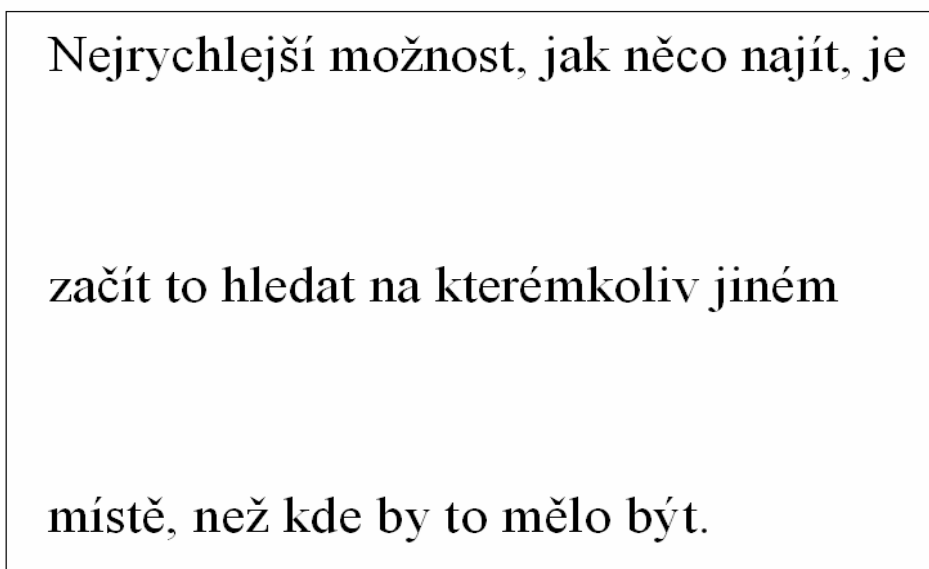


**Obr. 5.2** Vizuální stimul testu vertikálního pohybu oka – Test-2

## **5.2 ČTENÍ KONTROLNÍHO TEXTU:**

Měřená osoba má za úkol přečíst text vizuálního stimulu.

**Text-1** – čtení textu:



**Obr. 5.3** Vizuální stimul – Text-1

**Text-2** – čtení textu:

Shannonův teorém je důležitým teorémem  
týkajícím se převodu jakékoliv spojité  
veličiny do nespojité, tzv. diskrétní podoby

Obr. 5.4 Vizualní stimul – Text-2

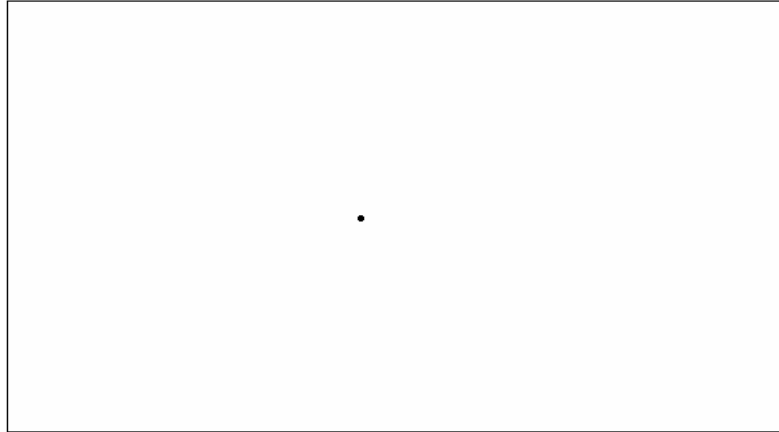
**Text-3** – čtení textu:

*Těleso ponořené do kapaliny je  
nadlehčováno silou, rovnající se tíze  
kapaliny stejného objemu jako je  
ponořená část tělesa.*

Obr. 5.5 Vizualní stimul – Text-3

### 5.3 SLEDOVÁNÍ STATICKÉHO BODU:

Měřená osoba má za úkol sledovat vizuální stimul představující statický bod.



Obr. 5.6 Vizuální stimul StatB

### 5.4 ČTENÍ TEXTU S RUŠIVÝM STIMULEM:

Testovaná osoba má za úkol přečíst **Text-2** s rušivým impulzem, který je vložen do jeho zorného pole uprostřed čtení. Na tento rušivý impulz musí měřená osoba zareagovat.

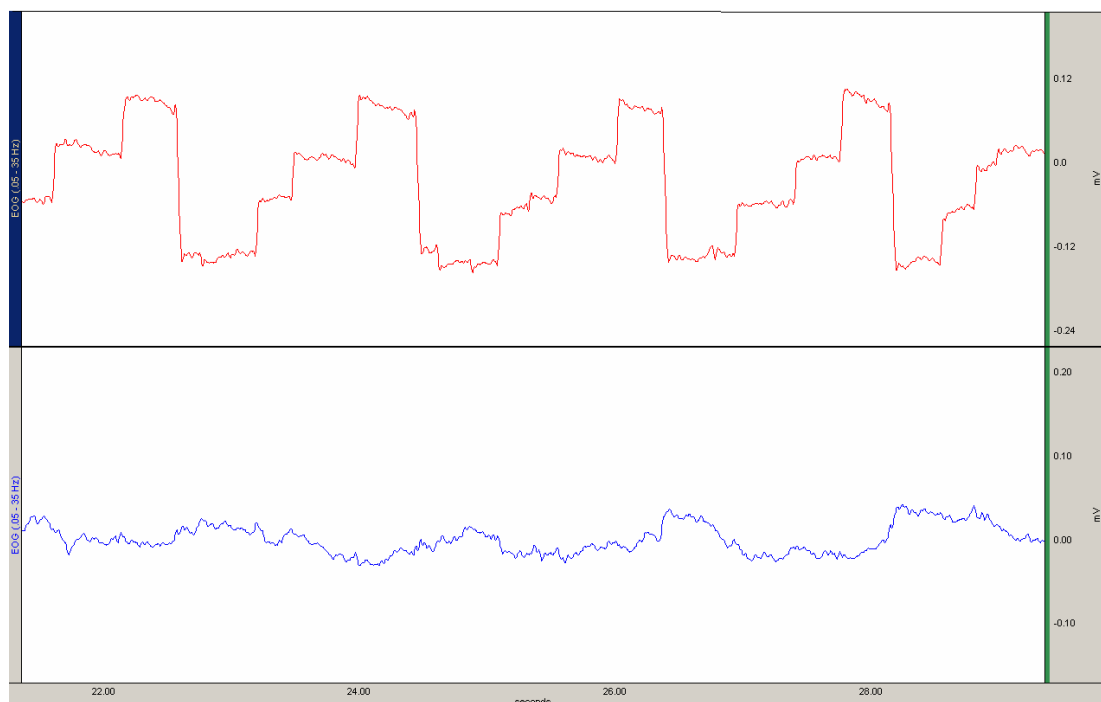
## 6. VYHODNOCENÍ MĚŘENÍ

Měření bylo pro ověření funkčnosti metody provedeno na 3 testovaných osobách. Pro přehlednost uvedeme pouze měření, které proběhlo na jedné osobě. Výsledky elektrookulogramu dalších osob jsou uvedeny v příloze. Každá z těchto osob absolvovala před měřením kalibrační část úlohy. Elektrookulogram je rozdělen na dvě části, z nichž první (červená křivka) odpovídá záznamu elektrookulogramu pro horizontální pohyb oka a druhý (modrá křivka) odpovídá záznamu elektrookulogramu pro vertikální pohyb oka. Oba záznamy jsou časově shodné.

### 6.1 VIZUÁLNÍ STIMUL: TESTY

Každá z testovaných osob nejdříve absolvovala testovou část (**Test-1** a **Test-2**). Úkolem těchto testovacích stimulů je ověřit správnost kalibrace a nastavení jednotlivých kanálů. Jelikož vizuální stimul Test-1 testuje pouze pohyb v horizontálním směru neměl by se při správném nastavení, kalibraci a provedeném měření projevovat žádný sakadický pohyb ve vertikální části elektrookulogramu.

#### Test-1:



Obr. 6.1 Záznam elektrookulogramu Test-1

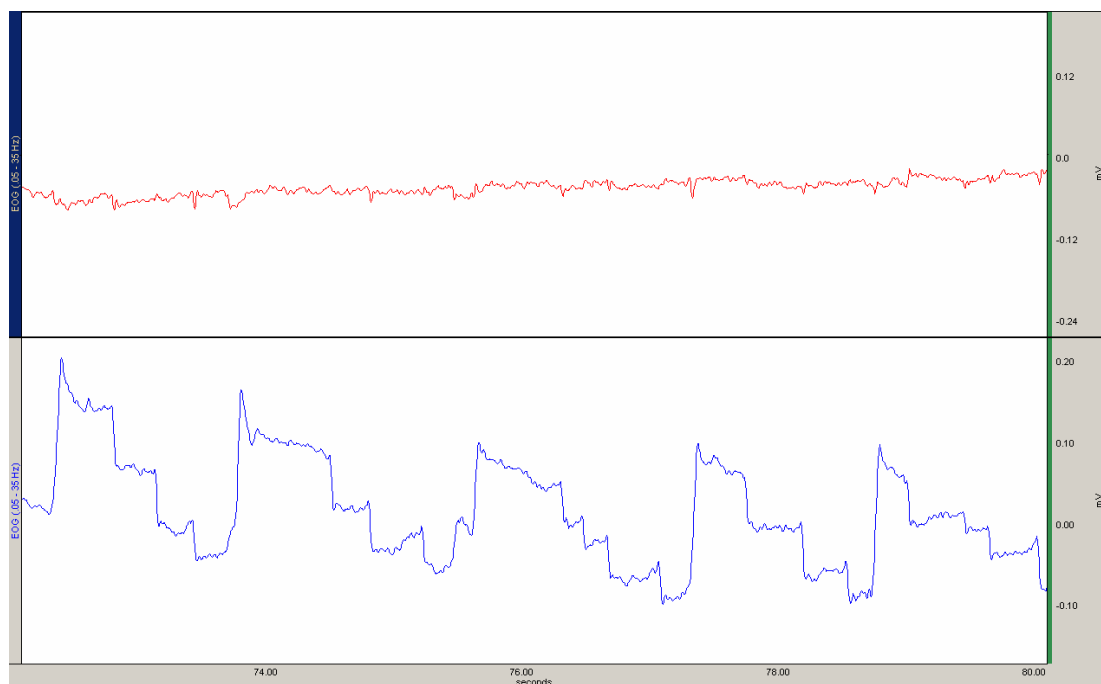
Tímto elektrookulogramem ověřujeme správné nastavení kanálu (CH1) a sond pro měření ve vertikální oblasti pohybu oka.

Z přiloženého elektrookulogramu je zřejmé, že v oblasti vertikálního pohybu oka (modrá křivka) nedošlo k žádnému sakadickému pohybu. V oblasti horizontálního pohybu (červená křivka) jsou zřetelně vidět 4 sakadické pohyby. Text vizuálního stimulu je text TEST, kdy při opakovaném pohybu oka z jednoho písmene na druhé dochází k sakadickému pohybu. První sakadický pohyb představuje pohyb oka z písmene T na písmeno E. Druhý sakadický pohyb je pohyb oka z písmene E na S. Třetí pohyb oka z písmene S na písmeno T. Všechny tyto 3 pohyby představují pozitivní nárůst potenciálu, jelikož dochází ke čtení textu z levé strany na pravou. Poslední sakadický pohyb představuje přesun z posledního písmene textu TEST na první písmeno, tedy přesun oka písmene T na písmeno T. Jelikož dojde k přesunu z pravé strany na levou, projeví se tento posun zápornou hodnotou potenciálu.

#### Shrnutí:

Z elektrookulogramu je zřejmé, že nastavení a kalibrace je pro horizontální hodnotu (kanál CH1) správné.

#### Test-2:



Obr. 6.2 Záznam elektrookulogramu Test-2

Tímto elektrookulogramem ověřujeme správné nastavení kanálu (CH2) a sond pro měření ve vertikální oblasti pohybu oka.

Z příloženého elektrookulogramu je zřejmé, že v oblasti horizontálního pohybu oka (červená křivka) nedošlo k žádnému sakadickému pohybu. V oblasti vertikálního pohybu oka (modrá křivka) jsou zřetelně vidět 4 sakadické pohyby. Text vizuálního stimulu je text TEST, kdy při opakovaném pohybu oka z jednoho písmene na druhé dochází k sakadickému pohybu. První sakadický pohyb představuje pohyb oka z písmene T na písmeno E. Druhý sakadický pohyb je pohyb oka z písmene E na S. Třetí pohyb oka z písmene S na písmeno T. Všechny tyto 3 pohyby představují záporný nárůst potenciálu, jelikož dochází ke čtení textu zhora dolů. Poslední sakadický pohyb představuje přesun z posledního písmene textu TEST na první písmeno, tedy přesun oka z písmene T na písmeno T. Jelikož dojde k přesunu ze spodní strany nahoru, projeví se tento posun kladnou hodnotou potenciálu.

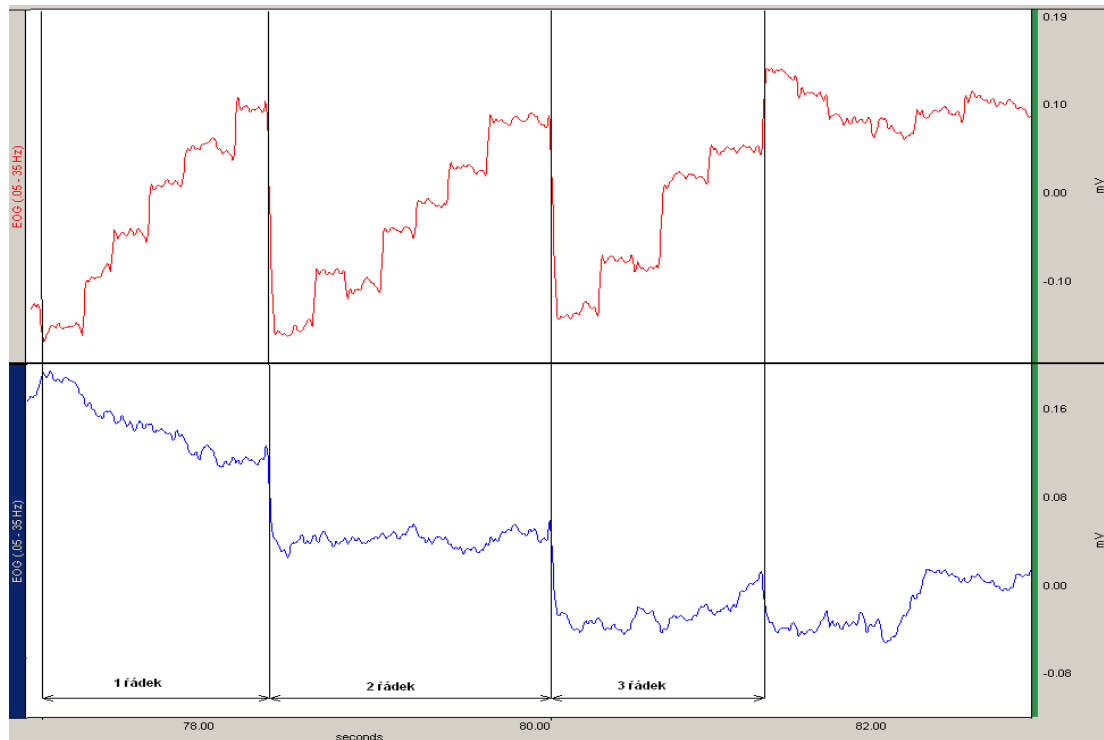
#### **Shrnutí:**

Z elektrookulogramu je zřejmé, že nastavení a kalibrace je pro vertikální hodnotu (kanál CH2) správné.

## **6.2 VIZUÁLNÍ STIMUL: ČTENÍ TEXTU**

Záznam elektrookulogramu je natolik spolehlivý, že se z něj dají zjistit poměrně přesné údaje o pohybu oka. Z jednotlivých sakadických pohybů v obou rovinách (vertikální, horizontální), se v případě čtení textu dá poměrně přesně zjistit počet řádků textu a poměrnou metodou i počet písmen nebo slov na řádku.

**Text-1:**



**Obr. 6.3 Záznam elektrookulogramu Text-1**

Tento záznam Elektrookulogramu dopovídá textu:

Nejrychlejší možnost, jak něco najít je  
začít to hledat na kterémkoliv jiném  
místě, než kde by to mělo být.

Z elektrookulogramu pro vertikální pohyb(modrá křivka) jsou jasně rozeznatelné sakadické pohyby. Tyto sakadické pohyby jsou dva, jelikož představují sakádu oka z prvního řádku na druhý a z druhého řádku na třetí řádek. Na elektrookulogramu pro horizontální pohyb (červená křivka) je pro první řádek, zřetelně vidět 6 fází fixace. Tyto fáze fixace odpovídají textu “**Nejrychlejší možnost, jak něco najít je**“. Jak bylo v úvodu zmíněno odpovídá fáze fixace přibližně 1 - 2 stupně zrakového úhlu. Pro naše měření byla vzdálenost přibližně

50 - 60 cm od stimulujícího vjemu. Fáze fixace tedy odpovídá přibližně 6-ti až 7-mi znakům textu. Tento poznatek můžeme aplikovat na třetí řádek textu. Na tomto řádku se nachází 29 znaků včetně mezer. Z elektrookulogramu zjistíme, že na třetím řádku jsou 4 fáze fixace. Jedna fáze fixace pojme přibližně 7 znaků, z čehož vyplývá:

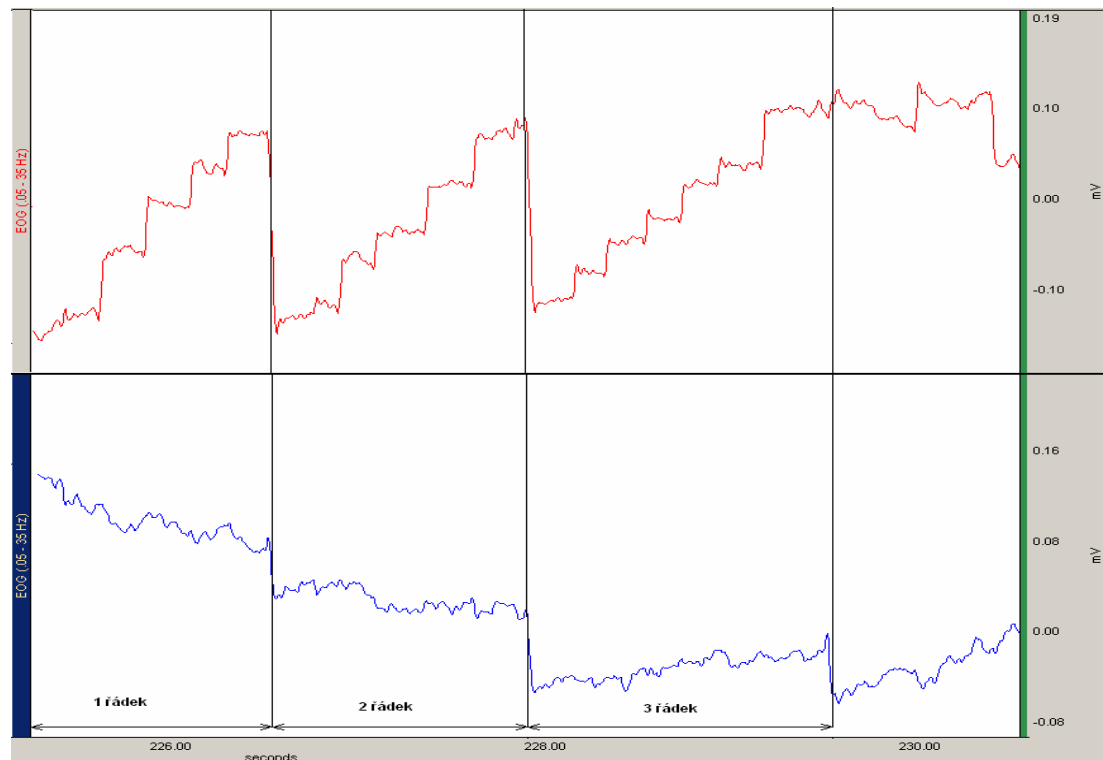
$$4 * 7 = 28$$

Počet znaků na řádku je 29, což je skoro totožná hodnota, zjištěná výpočtem (28 znaků).

### Shrnutí:

Z daného elektrookulogramu vyplývá, že testovaná osoba tento text přečetla správně a během čtení nedošlo k přerušení čtení, ani k zastavení uprostřed textu.

### Text-2:



Obr. 6.4 Záznam elektrookulogramu Text-2

Tento záznam elektrookulogramu dopovídá textu:

Shannonův teorém je důležitým teorémem  
týkajícím se převodu jakékoliv spojité  
veličiny do nespojité, tzv. diskrétní podoby

Z elektrookulogramu pro vertikální pohyb (modrá křivka) jsou jasně rozeznatelné sakadické pohyby. Tyto sakadické pohyby jsou dva a představují sakádu oka z prvního řádku na druhý a z druhého řádku na třetí řádek. Na elektrookulogramu pro horizontální pohyb (červená křivka) je pro první řádek zřetelně vidět 7 fází fixace. Tyto fáze fixace odpovídají textu “ **Shannonův teorém je důležitým teorémem**“.

Můžeme opět aplikovat poznatek z předešlého případu, kdy fáze fixace odpovídá přibližně 6-ti až 7-mi znakům textu. Na třetím řádku se nachází 45 znaků včetně mezer.

$$7 * 6 = 42$$

$$7 * 7 = 49$$

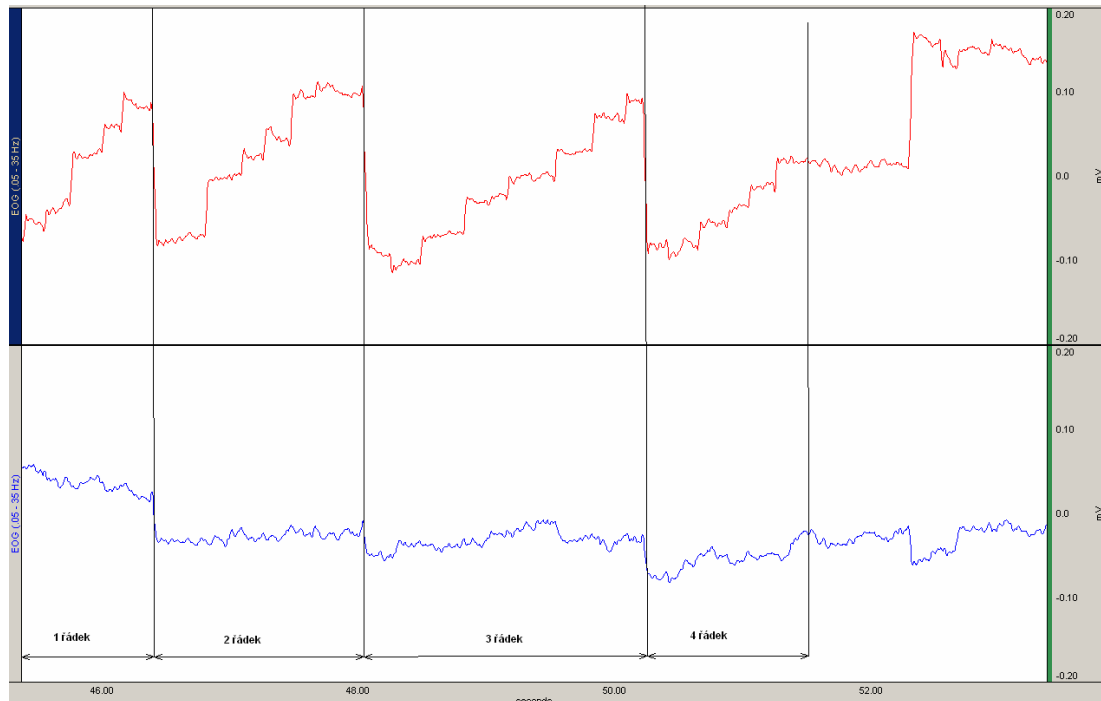
Počet vypočtených znaků na řádku je 42 - 49.

Počet skutečných znaků na řádku je 45, což odpovídá vypočtené toleranci .

### **Shrnutí:**

Z daného elektrookulogramu vyplývá, že testovaná osoba tento text přečetla správně, během čtení nedošlo k přerušení čtení ani k zastavení uprostřed textu.

**Text-3:**



**Obr. 6.5 Záznam elektrookulogramu Text-3**

Tento záznam elektrookulogramu dopovídá textu:

Těleso ponořené do kapaliny je  
nadlehčováno silou, rovnající se tíze  
kapaliny stejného objemu jako je  
ponořená část tělesa.

Z elektrookulogramu pro vertikální pohyb (modrá křivka) jsou jasně rozeznatelné sakadické pohyby. Tyto sakadické pohyby jsou 3, které představují sakádu oka z prvního řádku na druhý a z druhého řádku na třetí řádek a z třetího na čtvrtý řádek. Na elektrookulogramu pro horizontální pohyb (červená křivka) je pro 2. řádek, zřetelně vidět 5 fází fixace. Tyto fáze fixace odpovídají textu “ **nadlehčováno silou, rovnající se tíze**“.

Můžeme opět aplikovat poznatek z předešlého elektrookulogramu, kdy fáze fixace odpovídá přibližně 6-ti až 7-mi znakům textu. Na druhém řádku se nachází 35 znaků včetně mezer.

$$5 * 6 = 30$$

$$5 * 7 = 35$$

Počet vypočtených znaků na řádku je 30 - 35.

Počet skutečných znaků na řádku je 35, což odpovídá vypočtené toleranci .

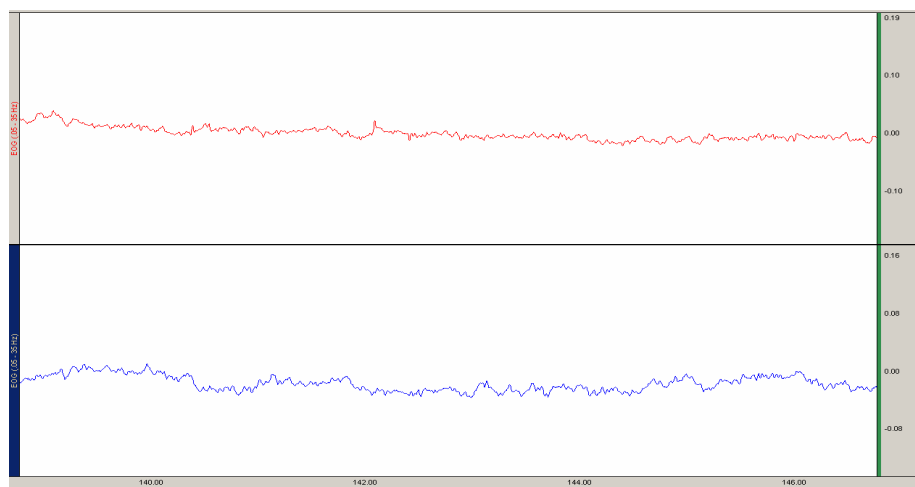
### Shrnutí:

Z daného elektrookulogramu vyplývá, že měřená osoba tento text přečetla správně. Během čtení nedošlo k přerušení čtení ani k zastavení uprostřed textu.

### 6.3 SLEDOVÁNÍ STATICKÉHO BODU:

Poznatkem tohoto měření je dokázat, že i ve fázi fixace není potenciál oka vždy nulový. Během fáze fixace dochází k mikrosakádám, které slouží k obnovování obrazu na sítnici. Také nelze předpokládat, že měřený subjekt zůstane v neměnné pozici.

#### StatB:



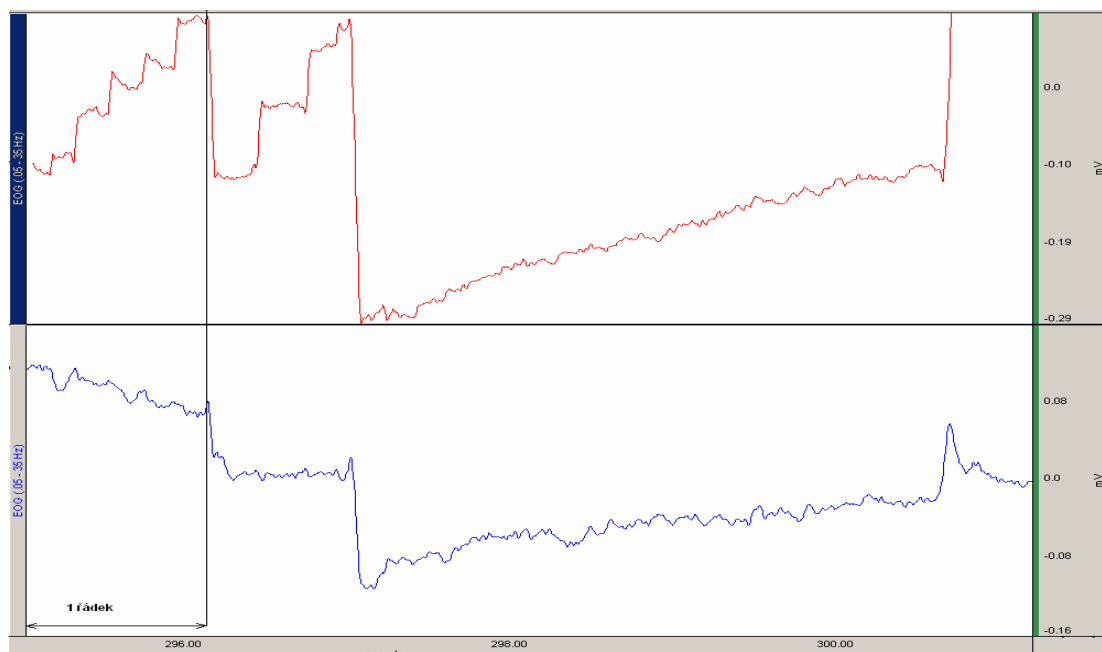
Obr. 6.6 Záznam elektrookulogramu StatB

Z elektrookulogrami je patrné, že ani při sledování nehybného bodu není oko v klidu. Vždy se projevuje efekt mikrosakád nebo jiné rušivé impulzy.

#### 6.4 ČTENÍ TEXTU S PORUCHOU:

Aby měla metoda opodstatnění je nutné ověřit funkčnost elektrookulografie i při chybovém čtení textu. Měřená osoba čte vizuální stimul (Text-2). Během čtení je umístěn do zorného pole měřené osoby rušivý stimul (tužka).

##### Text-RI:



Obr. 6.7 Záznam elektrookulogramu Text-RI

Tento záznam elektrookulogramu dopovídá textu:

Shannonův teorém je důležitým teorémem  
týkajícím se převodu jakékoliv spojité  
veličiny do nespojité, tzv. diskrétní podoby.

Přerušení čtení textu a přesměrování pohledu oka na rušivý stimul se projeví v elektrookulogramu jako náhlé přerušování sakadického pohybu. V tomto případě

došlo k rušivému stimulu uprostřed druhého řádku. Ze sakadického pohybu pro horizontální a vertikální pohyb se dá odvodit, že rušivý vizuální stimul přinutil podívat se měřenou osobu doleva a dolů.

Měření bylo celkem provedeno na 3 měřených osobách. Záznamy elektrookulogramů první měřené osoby i se zhodnocením a popisem jsou uvedeny v kapitole 6. Na těchto záznamech byla vysvětlena metoda zjišťování fází sakád a fází fixace. Záznamy elektrookulogramu druhé a třetí měřené osoby jsou uvedeny v příloze 1 až příloze 6.

**Osobní data měřených osob:**

R.K. 13.12.1982

S.H. 22.09.1982

M.K. 01.08.1977

## 6.5 ZHODNOCENÍ ZÁZNAMŮ DRUHÉ MĚŘENÉ OSOBY:

**Zhodnocení testů:**

Z obou záznamů elektrookulogramů testů (Test-1, Test-2) je zřejmé, že nastavení a kalibrace obou kanálů i sond je správné.

**Zhodnocení čtení textů:**

Ze záznamu elektrookulogramu je zřejmé, že měřená osoba všechny tři texty přečetla správně, během čtení nedošlo k přerušení čtení ani k zastavení uprostřed čtení textu. Ze záznamu elektrookulogramů lze vyhodnotit, kolik řádků jednotlivé testovací texty měli a kolik sakád (počet písmen + mezery) bylo potřeba na jejich přečtení. Pro ověření jednotlivých elektrookulogramů lze použít metoda přibližného odhadu (viz.kap6).

### **Zhodnocení čtení textu s rušivým vizuálním stimulem.**

Ze záznamu elektrookulogramu je zřejmé, že během čtení třetího řádku textu vizuálního stimulu došlo k přerušení čtení. Měřená osoba byla rušivým stimulem donucena podívat se doleva.

## **6.6 ZHODNOCENÍ ZÁZNAMŮ TŘETÍ MĚŘENÉ OSOBY:**

### **Zhodnocení testů:**

Z obou záznamů elektrookulogramů testů (Test-1, Test-2) je zřejmé, že nastavení a kalibrace obou kanálů i sond je správné.

### **Zhodnocení čtení textů:**

Ze záznamu elektrookulogramu je zřejmé že měřená osoba všechny tři texty přečetla správně, během čtení nedošlo k přerušení čtení ani k zastavení uprostřed čtení textu. Ze záznamu elektrookulogramů lze vyhodnotit, kolik řádků jednotlivé testovací texty měli a kolik sakád (počet písmen + mezery) bylo potřeba na jejich přečtení. Pro ověření jednotlivých elektrookulogramů lze použít metoda přibližného odhadu (viz.kap6).

### **Zhodnocení čtení textu s rušivým vizuálním stimulem.**

Ze záznamu elektrookulogramu je zřejmé, že během čtení druhého řádku textu vizuálního stimulu došlo k přerušení čtení. Měřená osoba byla rušivým stimulem donucena podívat se nahoru a doprava.

## 7. IMPLEMENTACE EOG DO PROGRAMOVÉHO PROSTŘEDÍ MATLAB

Metoda měření očních pohybů je založena na detekci sakadických pohybů. Každý ze sakadických pohybů je však natolik specifický a rozdílný, že v programovém prostředí Matlab nelze vytvořit program schopný správně rozpoznat jednotlivé sakády a vyhodnotit pohyb oka. Metoda elektrookulografie je běžně používaná metoda, avšak k vyhodnocení jejich výsledku dochází na základě elektrookulogramů, nebo na základě některých rozdílných hodnot. Využití v praxi spočívá v měření maximálních hodnot rozdílového potenciálu a nebo v rozdílovém potenciálu za jiných světelných podmínek (rozdílná intenzita světla). Nedostatek metody elektrookulografie spočívá v nemožnosti automaticky rozlišit a přesně definovat jednotlivé výchyly potenciálu při měření.

Alternativou pro automatické vyhodnocení pohybu oka by mohla například být metoda videookulografie. Tato metoda spočívá ve odrazu světla na vnitřních a vnějších částech rohovky a čočky pomocí kamery. Tento postup je mnohem přesnější pro vyhodnocení a automatickou detekci pohybu oka.

## 8. VYUŽITÍ V PRAXI

Metoda EOG je v současné době stále uznávanou metodou pro měření očních pohybů. Jednou z jejích nejpřednějších vlastností je neinvazivní průběh, možnost rychlého a poměrně jednoduchého použití a možnost měřit oční pohyby i ve spánku se zavřenými víčky. V lékařství je metoda elektrookulografie využívána při vyšetření onemocnění cévnatky a zevní vrstvy sítnice. Vyšetřovaný pacient po určité době sleduje fixační světlo ve tmě a stejnou dobu za světla. Z rozdílu potenciálu obou změřených elektrookulogramů lze zjistit onemocnění oka a poruchy sítnice.

Měření EOG v součinnosti se systémem Biopac by mohlo být dále využito pro detekci poruch očí a nebo pro ověřování, některých poruch soustředění. Onemocnění dysleksie a hyperaktivity jsou poruchy soustředění, kdy má pacient omezené schopnosti soustředit se na vizuální podnět. Pokud by takovýmto podnětem byly předem dané vizuální stimuly, dala by se tyto onemocnění pomocí elektrookulografické metody a systému Biopac ověřit.

Systém Biopac je především určen pro výuku, testové měření a proto není v širší praxi rozšířen. Využití tohoto systému proto spatřuji v možnostech ověřování stávajících metod, nebo pro návrh nových postupů měření a jejich ověřování.

## 9. ZÁVĚR:

Cílem této práce byl návrh měření očních pohybů metodou elektrookulografie v součinnosti se systémem Biopac. Výsledkem měla být aplikace v programovém prostředí Matlab, která měla automaticky detekovat a vyhodnocovat záznam očních pohybů. Z důvodu nepřesnosti měřicí metody je vyhodnocení elektrookulogramu v programovém prostředí Matlab neproveditelné. Výsledkem této práce jsou elektrookulogramy, změřených systémem Biopac, s návodem jejich vyhodnocení.

Metoda měření EOG v součinnosti se systémem Biopac byla použita na 3 měřených osobách, čímž byla ověřena její funkčnost a spolehlivost. Výsledné elektrookulogramy a metoda jejich vyhodnocení je spolehlivá, a dostačující pro potřebné rozlišení pohybu oka.

Prostor pro využití systému Biopac, pro automatickou detekci očních pohybů, spatřuji v možnosti využití jiné měřicí metody, než je elektrookulografie, např. metody videookulografie. Metoda videookulografie spočívá ve snímání pohybu oka a tudíž se přímo vybízí je k využití této metody pro automatickou detekci pohybu oka. Použití metody elektrookulografie v součinnosti se systémem Biopac by mohlo být využito pro ověřování některých onemocnění oka. Další z možností uplatnění by mohla metoda najít při potvrzování některých poruch čtení, soustředění, nebo při poruchách spánku.

## 10. LITERATURA

- [1] HONZÍKOVÁ, N., HONZÍK, P. Biologie člověka. Skriptum. Brno: Nakladatelství VUTIUM, 2000
- [2] CHMELAŘ, M. Lékařská přístrojová technika. Skriptum. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 1995
- [3] Biopac [online]. MP System BIOPAC Hardware Guide, User's Manual, BIOPAC System, Inc., 2004
- [4] SYKA, J. , VOLDŘICH, L., VRABEC, F. Fyziologie a patofyziologie zraku a sluchu. Avicemum , Praha, 1981.
- [5] Lukavský, J.(2003) Dynamika očních pohybů při administraci Rorschachova testu – Bulletin PsÚ AV ČR..
- [6] WANG, J. Electroanalytical Techniques in Clinical Chemistry and Laboratory Medicině. 1988
- [7] Webové stránky - Biopac.com
- [8] Elektrokulografie - studijní materiál,  
staženo z :  
[www.zsf.jcu.cz/struktura/katedry/kpo/manual-frvs/08\\_elektrokulografie.pdf](http://www.zsf.jcu.cz/struktura/katedry/kpo/manual-frvs/08_elektrokulografie.pdf)
- [9] SNOPEK, J. Diplomová práce – Metody analýzy záznamu očíh pohybů při čtení a v sekvenčních úlohách,  
Staženo z: <http://neuron.felk.cvut.cz/~kordikp/motol/snopek.pdf>
- [10] Internet

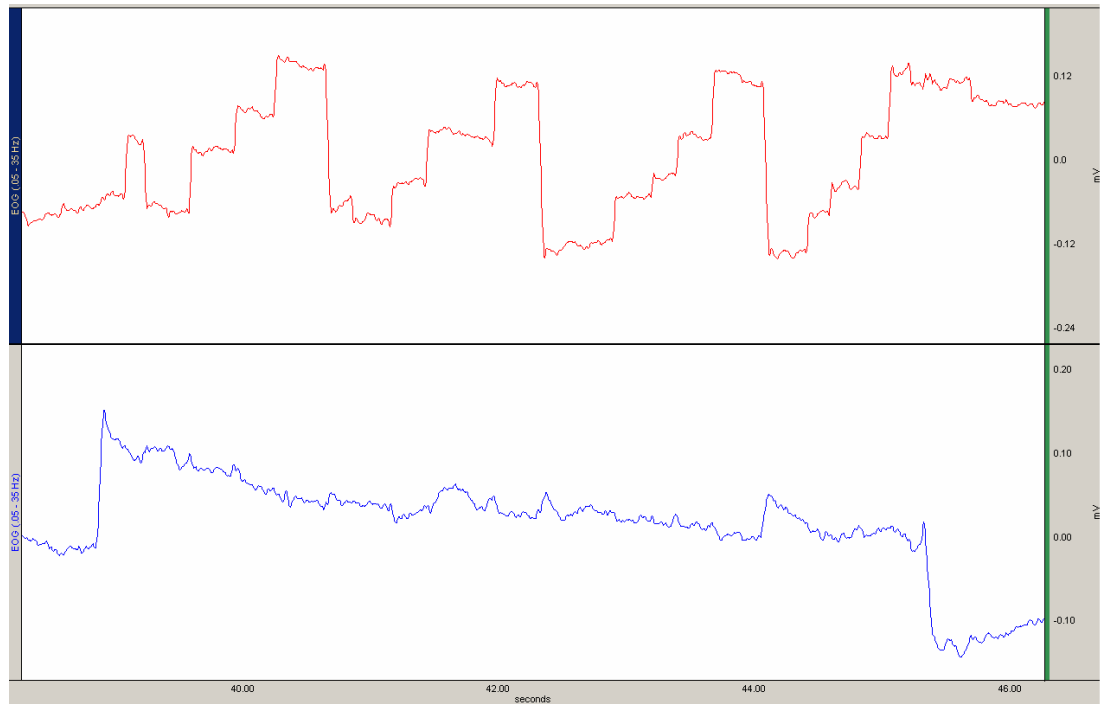
## **SEZNAM PŘÍLOH**

- Příloha 1 Záznam elektrookulogramů druhé měřené osoby:  
Test-1, Test-2
- Příloha 2 Záznam elektrookulogramů druhé měřené osoby:  
Text-1, Text-2
- Příloha 3 Záznam elektrookulogramů druhé měřené osoby:  
Text-3, Text-RI
- Příloha 4 Záznam elektrookulogramů třetí měřené osoby:  
Test-1, Test-2
- Příloha 5 Záznam elektrookulogramů třetí měřené osoby:  
Text-1, Text-2
- Příloha 6 Záznam elektrookulogramů třetí měřené osoby:  
Text-3, Text-RI

# Příloha 1

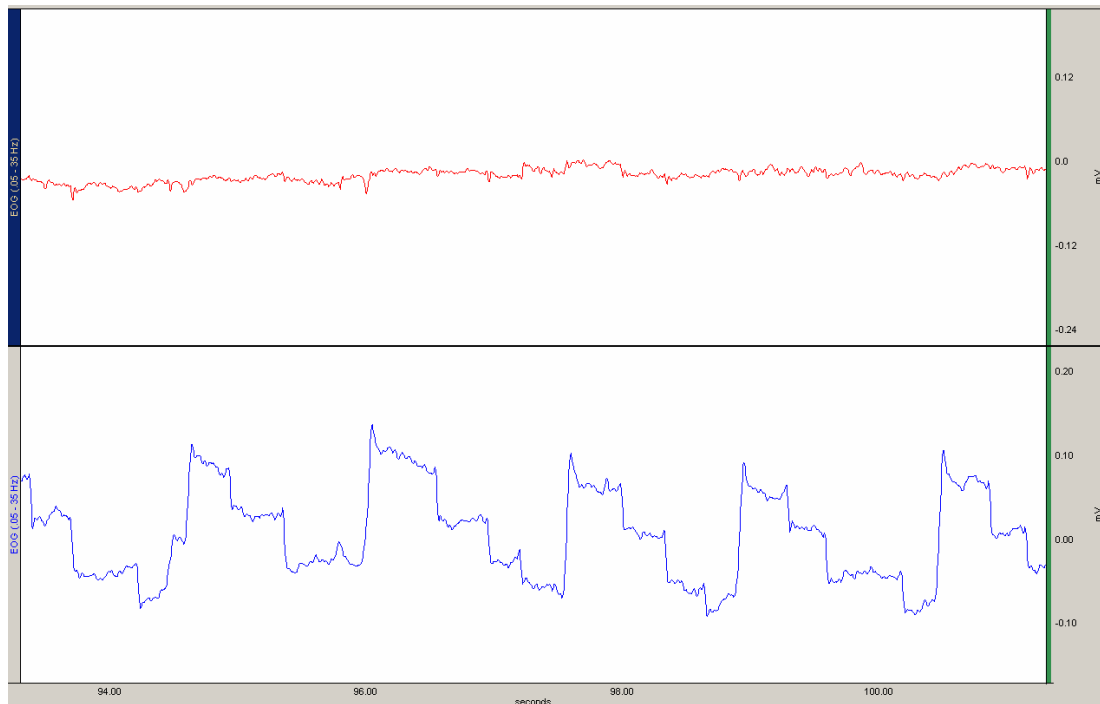
Záznam elektrookulogramů druhé měřené osoby:

Test-1:



Obr. 10.1 Záznam elektrookulogramu Test-1

Test -2:

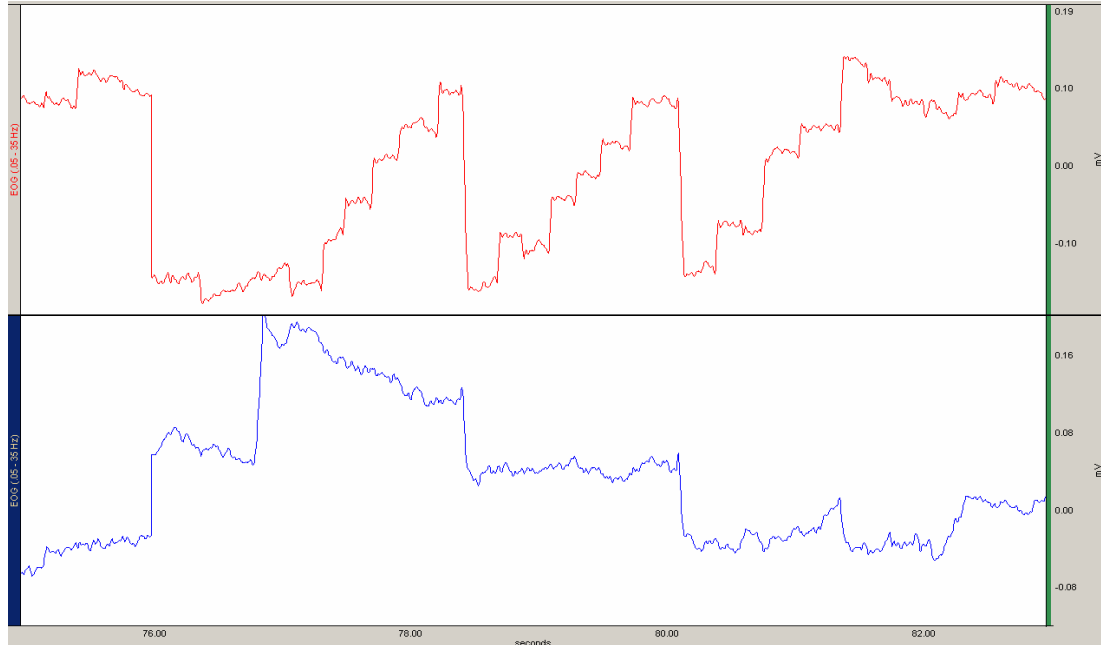


Obr. 10.2 Záznam elektrookulogramu Test-2

## Příloha 2:

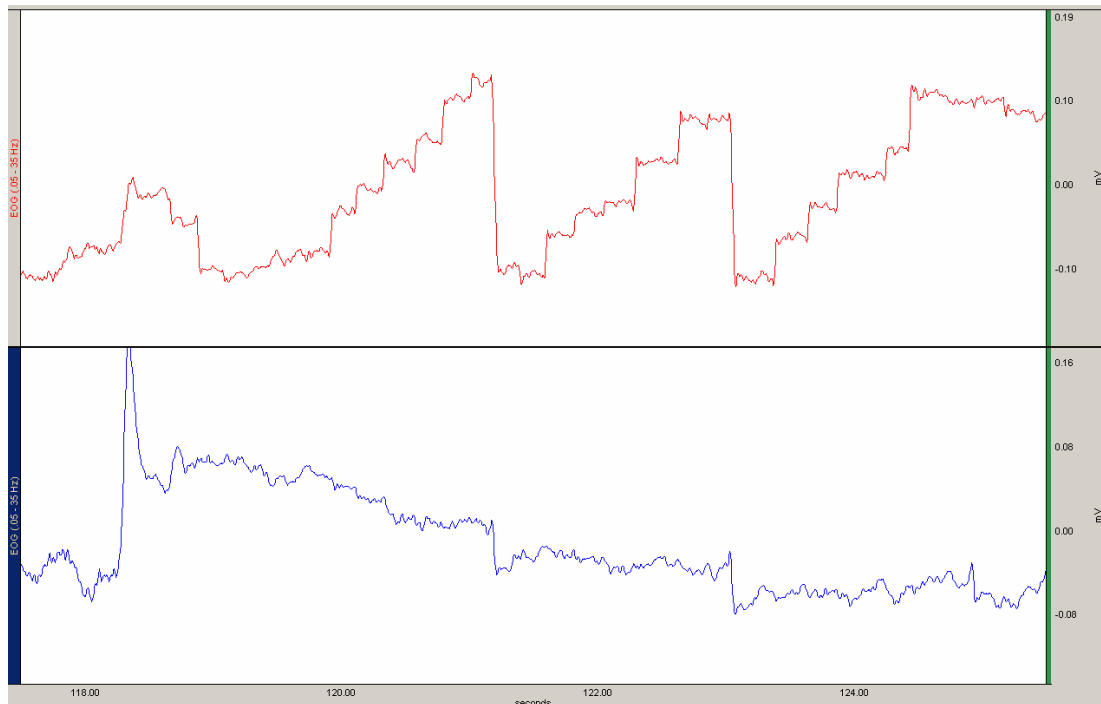
Záznam elektrookulogramů druhé měřené osoby:

Text-1:



Obr. 10.3 Záznam elektrookulogramu Text-1

Text-2:

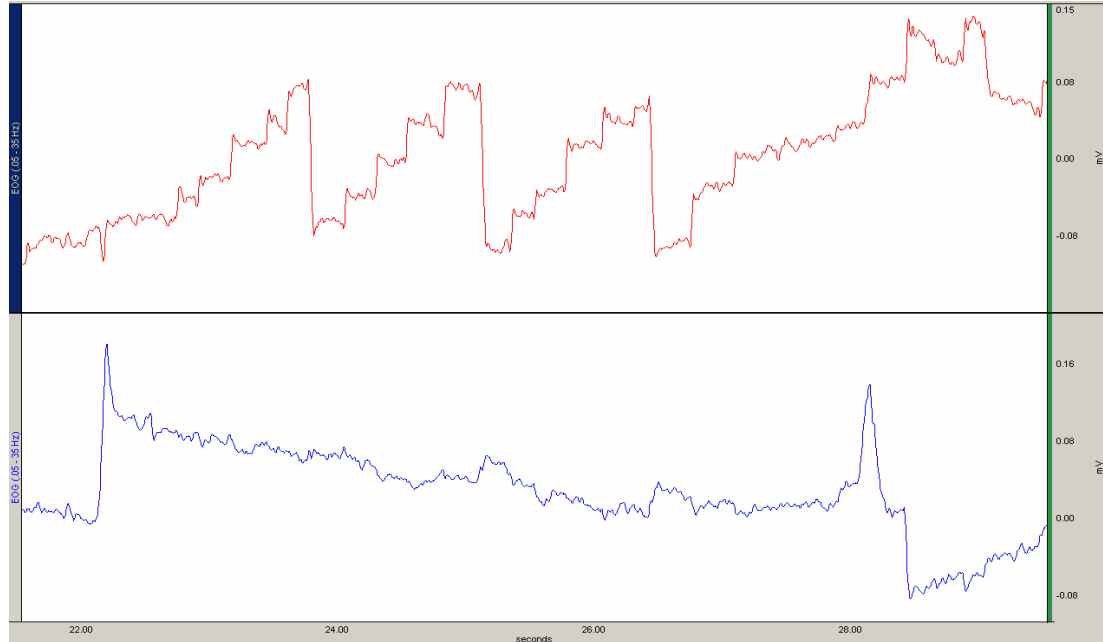


Obr. 10.4 Záznam elektrookulogramu Text-2

### Příloha 3:

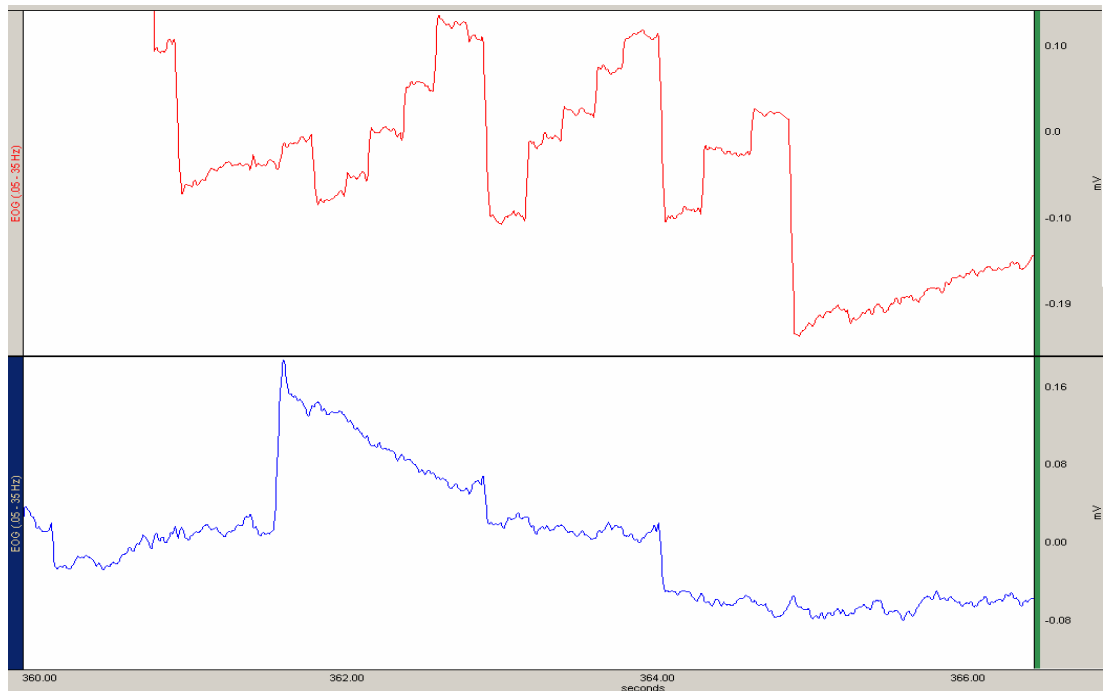
Záznam elektrookulogramů druhé měřené osoby:

Text-3:



Obr. 10.5 Záznam elektrookulogramu Text-3

Text-RI:

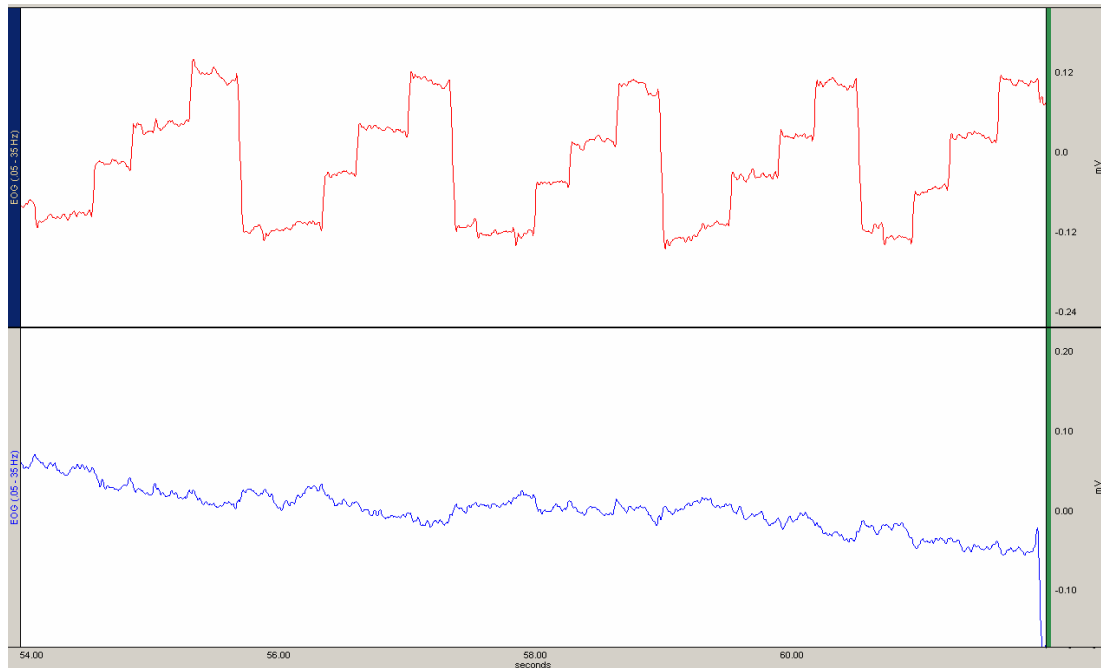


Obr. 10.6 Záznam elektrookulogramu Text-RI

## Příloha 4:

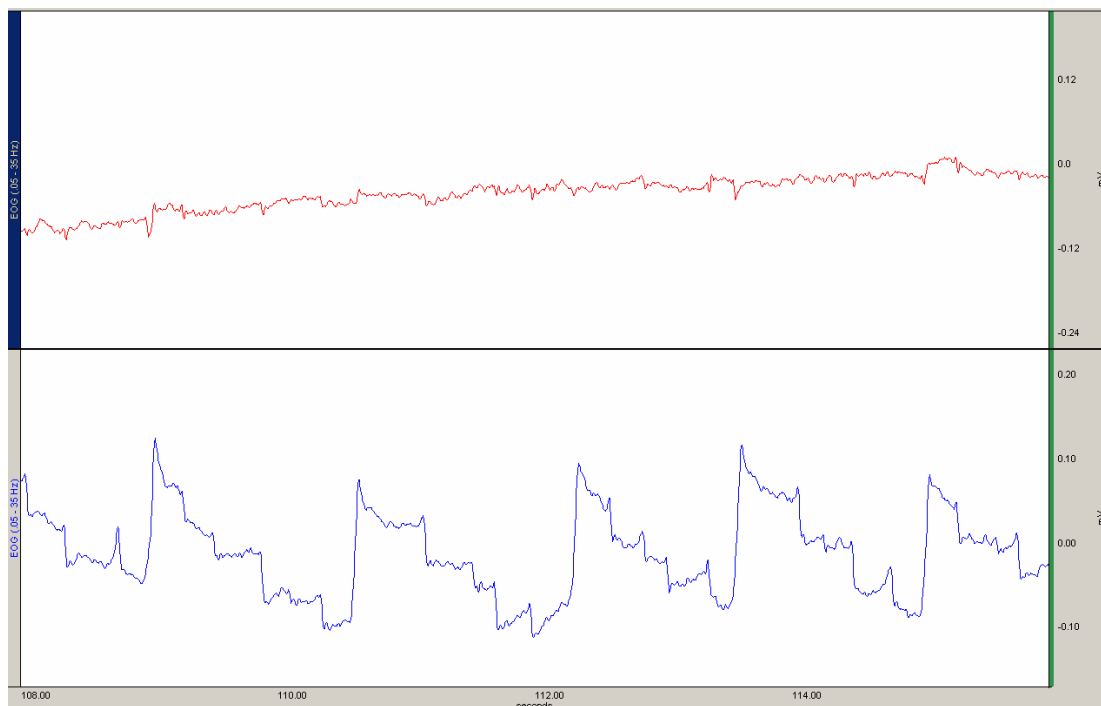
Záznam elektrookulogramů třetí měřené osoby:

Test-1:



Obr. 10.7 Záznam elektrookulogramu Test-1

Test-2:

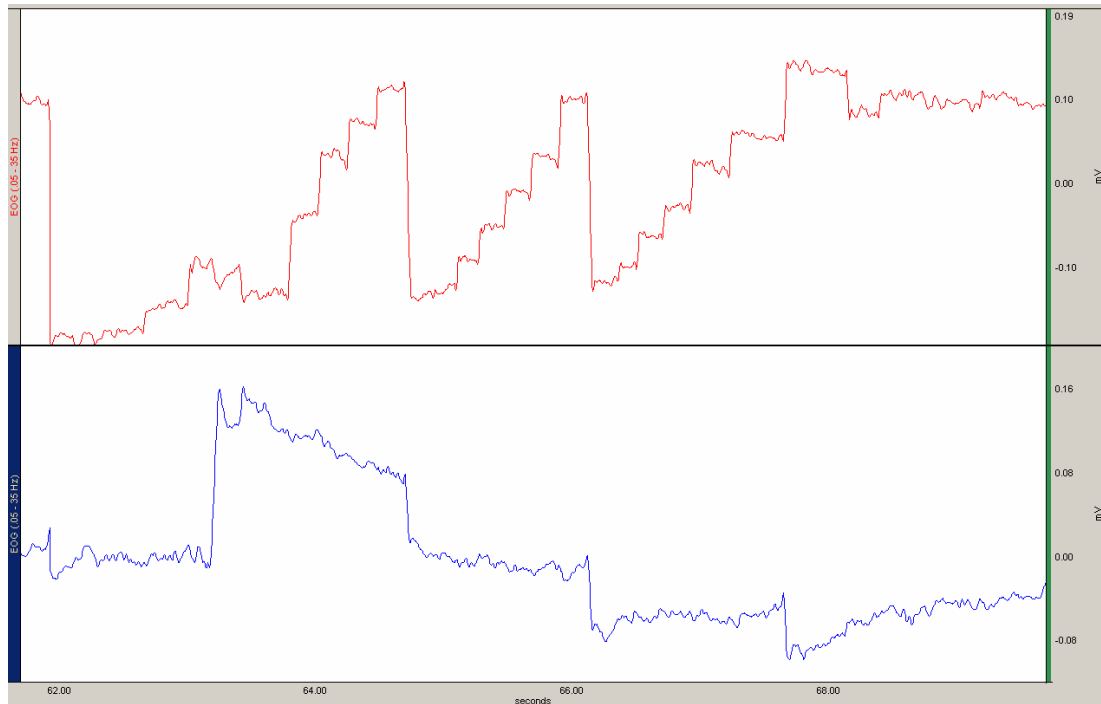


Obr. 10.8 Záznam elektrookulogramu Test-2

## Příloha 5:

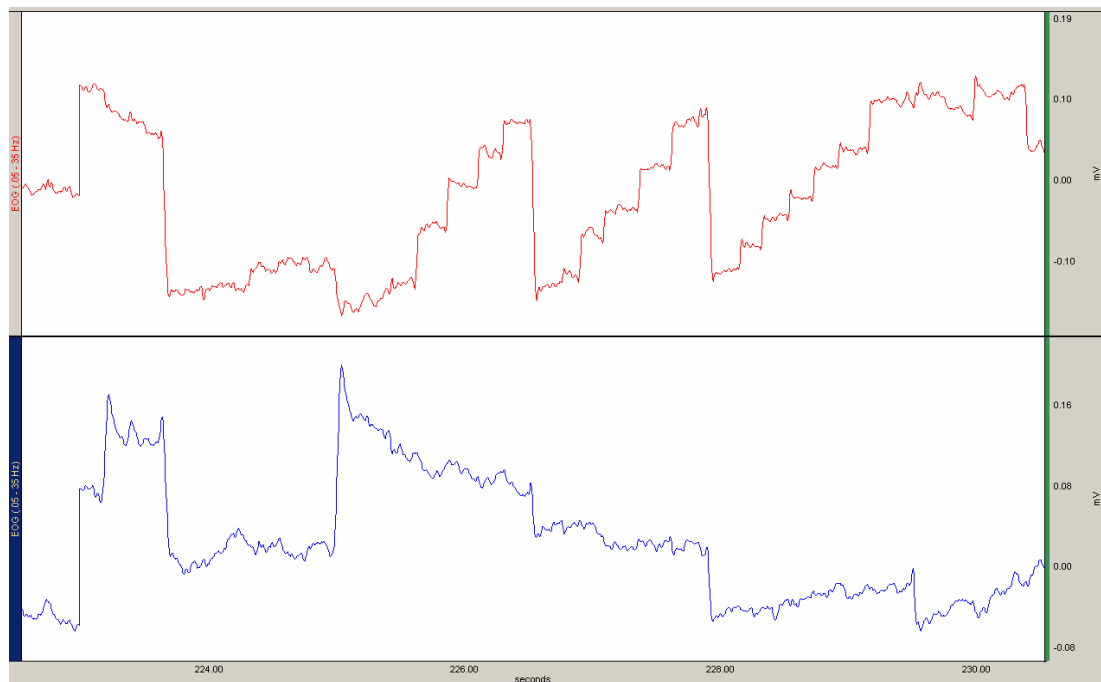
Záznam elektrookulogramů třetí měřené osoby:

Text-1:



Obr. 10.9 Záznam elektrookulogramu Text-1

Text-2:

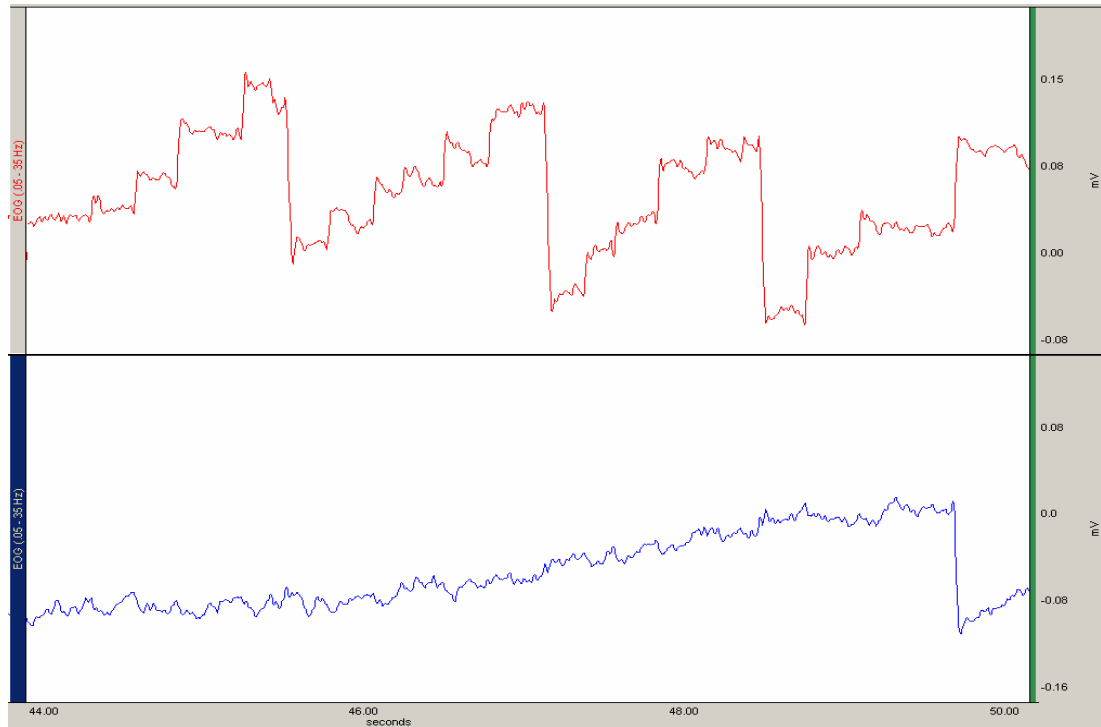


Obr. 10.10 Záznam elektrookulogramu Text-1

## Příloha 6:

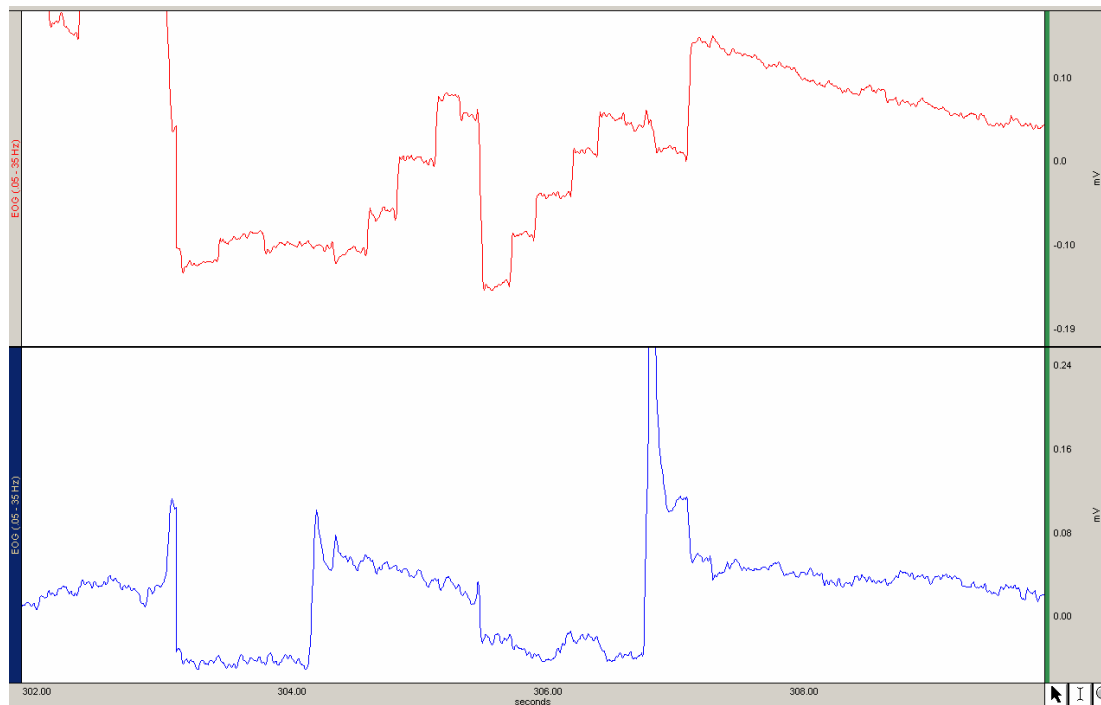
Záznam elektrookulogramů třetí měřené osoby:

Text-3:



Obr. 10.11 Záznam elektrookulogramu Text-3

Text-RI:



Obr. 10.12 Záznam elektrookulogramu Text-RI