



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



**FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH
TECHNOLOGIÍ**

ÚSTAV BIOMEDICÍNSKÉHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION
DEPARTMENT OF BIOMEDICAL ENGINEERING

DETEKCE A ANALÝZA POHYBU OČÍ

DETECTION AND ANALYSIS OF EYE MOVEMENT

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

JAKUB KŘÍSTEK

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

prof. Ing. IVO PROVAZNÍK, Ph.D.

BRNO 2013



VYSOKÉ UČENÍ
TECHNICKÉ V BRNĚ

Fakulta elektrotechniky
a komunikačních technologií

Ústav biomedicínského inženýrství

Bakalářská práce

bakalářský studijní obor

Biomedicínská technika a bioinformatika

Student: Jakub Křístek

ID: 136477

Ročník: 3

Akademický rok: 2012/2013

NÁZEV TÉMATU:

Detekce a analýza pohybu očí

POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

1) Seznamte se s problematikou měření elektrické aktivity svalů. Dále se seznamte s počítačovým měřicím systémem BIOPAC a jeho možnostmi záznamu signálu EMG a následné analýzy. 2) Navrhněte metodu měření pohybu očí pomocí systému Biopac. 3) Proveďte testovací měření a data zpracujte pomocí programového vybavení Biopac. 4) Navrhněte metodu detekce pohybu očí s kvantitativním vyhodnocením. 5) Proveďte měření na skupině probandů a přeneste data do programového prostředí Matlab. V grafickém prostředí prezentujte naměřené průběhy a výsledky detekce pohybu očí a směru pohybu. 6) Proveďte statistické zhodnocení detekce a výsledky diskutujte.

DOPORUČENÁ LITERATURA:

[1] HONZÍKOVÁ, Naděžda a HONZÍK Petr. Biologie člověka. Brno: VUTIUM, 2000.

[2] CHMELAŘ, Milan. Lékařská přístrojová technika. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 1995.

Termín zadání: 11.2.2013

Termín odevzdání: 31.5.2013

Vedoucí práce: prof. Ing. Ivo Provazník, Ph.D.

Konzultanti bakalářské práce:

prof. Ing. Ivo Provazník, Ph.D.

Předseda oborové rady

UPOZORNĚNÍ:

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

Abstrakt:

Tato práce se zabývá pohyby očí, problematikou jejich snímání a zpracováním vzniklých biosignálů. V teoretické části je popsána anatomie a elektrofyziologie oka, okohybné svaly, jejich pohyby a jsou stručně popsány i jiné metody snímání těchto pohybů, než je použitá elektrookulografie. V druhé části jsou navrženy dva experimenty a provedeno měření na skupině deseti osob. Data z měření jsou uložena a zpracována v programovém prostředí Matlab, statisticky vyhodnocena a výsledky interpretovány.

Klíčová slova: Snímání pohybů očí, Okohybné svaly, Elektrookulografie

Abstract:

This thesis deals with the movements of eyes and it describes the matters related to its measurement and data processing. Theoretic part is focused on eye's anatomy and electrophysiology, types of eye's muscles and their movements. Even more methods, not just used electrooculography, are described thoroughly. In the second part of this thesis are designed two experiments and the measurement is realized on a group of ten tested subjects. Acquired signals are saved and processed in Matlab software, statistically analyzed and the results are interpreted.

Keywords: Tracking eye's movements, Eye's muscles, Electrooculography

KŘÍSTEK, J. *Detekce a analýza pohybu očí*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2013. 48 s., 15 s. příloh. Vedoucí bakalářské práce prof. Ing. Ivo Provazník, Ph.D..

Prohlášení:

Prohlašuji, že svou bakalářskou práci na téma Detekce a analýza pohybu očí jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou všechny citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce.

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

V Brně dne

podpis autora

Poděkování:

Děkuji vedoucímu mé bakalářské práce, prof. Ing. Provazníkovi, Ph.D. za cenné rady a připomínky, za vstřícnost a čas, který mi věnoval. Dále bych chtěl poděkovat Ing. Janouškovi za přístup do laboratoře a vysvětlení funkcí systému Biopac, se kterým jsem měření prováděl.

V Brně dne

podpis autora

Obsah

Seznam obrázků.....	viii
Seznam tabulek.....	ix
Úvod	1
1 Anatomie a fyziologie	2
1.1 Oční bulva.....	2
1.1.1 Sítnice	3
1.1.2 Zpracování zrakových vjemů	4
1.1.3 Akomodace oka	5
1.2 Stavba svalu	7
1.3 Okohybné svaly	7
1.3.1 Přímé oční svaly	9
1.3.2 Šikmé oční svaly.....	9
1.4 Pohyby očí	10
1.4.1 Pohyby očí během fixace.....	10
1.4.2 Velké pohyby očí.....	10
2 Metody snímání pohybu očí.....	14
2.1 Bezkontaktní metody snímání	14
2.1.1 Elektrookulografie	14
2.1.2 Infračervená okulografie	15
2.1.3 Videookulografie	15
2.2 Kontaktní metody snímání.....	16
2.2.1 Magnetookulografie	16
2.2.2 Elektoretinografie.....	16
2.3 Využití pohybů očí v praxi	16
3 Měření pohybu oka.....	17
3.1 Použitá metoda.....	17
3.2 Příprava měřené osoby	17
3.3 Hardwarové příslušenství	18
3.3.1 PC a Biopac	18

3.3.2	Elektrody s vodivým gelem.....	18
3.4	Softwarové příslušenství.....	20
3.4.1	Biopac Students LABPro	20
3.5	Nastavení softwaru	21
3.6	Návrh prvního experimentu.....	23
3.7	Návrh druhého experimentu	23
3.7.1	Metoda výpočtu úhlu	24
4	Výsledky.....	25
4.1	První experiment.....	25
4.2	Druhý experiment	26
5	Analýza signálů	27
5.1	První experiment.....	27
5.1.1	Popis metody	27
5.1.2	Statistická analýza	29
5.2	Druhý experiment	31
5.2.1	Popis metody	31
5.2.2	Statistická analýza	34
5.2.3	Výpočet úhlu	36
	Závěr.....	38
	Použitá literatura a prameny	39
6	Přílohy.....	40
6.1	První experiment.....	41
6.2	Druhý experiment	50

Seznam obrázků

Obrázek 1: Anatomie oční koule	3
Obrázek 2: Mozek - oblast 17 a 18 na mapě Brodmannova regionu	5
Obrázek 3: Pravé oko a okohybné svaly (boční pohled)	7
Obrázek 4: Sakadický pohyb při čtení slova OČKO.....	11
Obrázek 5: Závislost amplitudy a délky sakády podle vzorce (1.1).....	12
Obrázek 6: Dipól - potenciálové rozdíly v oku	14
Obrázek 7: Jednotka Biopac MP 35	18
Obrázek 8: Umístění elektrod na obličeji-bílé a červené lead (vedoucí) elektrody, černé zemní	20
Obrázek 9: Časová nastavení.....	22
Obrázek 10: Nastavení kanálů.....	22
Obrázek 11: Body pro sledování úhlu	23
Obrázek 12: Hledaný úhel α	24
Obrázek 13: Signál trajektorie očí subjektu Ivany L	25
Obrázek 14: Originální signál subjektu Ivany_L s vyznačenými výchylkami.....	26
Obrázek 15: Barevné rozdělení hran obrazce	27
Obrázek 16: Upravený signál s vyznačenými průměry hran.....	29
Obrázek 17: Původní a normalizovaný signál subjektu Ivany L.....	32
Obrázek 18: Originální a normalizovaný signál s vyznačenými výchylkami.....	34
Obrázek 19: Originální průběh Jakub Kř.	41
Obrázek 20: Průběh upraveného signálu Jakub Kř.	41
Obrázek 21: Originální průběh Jakub Kv.	42
Obrázek 22: Upravený průběh Jakub Kv.	42
Obrázek 23: Originální průběh Jana K.	43
Obrázek 24: Upravený průběh Jana K.....	43
Obrázek 25: Originální průběh Markéta P.	44
Obrázek 26: Upravený průběh Markéta P.	44
Obrázek 27: Originální průběh Nikola K.	45
Obrázek 28: Upravený průběh Nikola K.....	45
Obrázek 29: Originální průběh Ola P.	46
Obrázek 30: Upravený průběh Ola P.....	46
Obrázek 31: Originální průběh Pavel P.	47
Obrázek 32: Upravený průběh Pavel P.	47
Obrázek 33: Originální průběh Petr M.	48
Obrázek 34: Upravený průběh Petr M.....	48
Obrázek 35: Originální průběh Tomáš N.	49
Obrázek 36: Upravený průběh Tomáš N.....	49

Obrázek 37: Průběhy signálů Jakub Kř.	50
Obrázek 38: Průběhy signálů Jakub Kv.	50
Obrázek 39: Průběhy signálů Jana K.	51
Obrázek 40: Průběhy signálů Markéta P.	51
Obrázek 41: Průběhy signálů Nikola K.	52
Obrázek 42: Průběhy signálů Ola P.	52
Obrázek 43: Průběhy signálů Pavel P.	53
Obrázek 44: Průběhy signálů Petr M.	53
Obrázek 45: Průběhy signálů Tomáš N.	54

Seznam tabulek

Tabulka 1: Přímé svaly a jejich funkce (m. – musculus – sval).....	9
Tabulka 2: Šikmé svaly a jejich funkce.....	9
Tabulka 3: Srovnání směrodatných odchylek hran a celkových směrodatných odchylek signálu na souboru probandů (HH-Horní hrana, PH-Pravá hrana, SH-Spodní hrana, LH-Levá hrana).....	30
Tabulka 4: Srovnání signálů mezi skupinou probandů a ideálním měřením	35
Tabulka 5: Směrodatné odchylky jednotlivých výchylek vzhledem k ideálnímu měření (SO je směrodatná odchylka).....	35
Tabulka 6: Pozorovací úhly pro jednotlivé výchylky.....	36
Tabulka 7: Pozorovací úhly jednotlivých výchylek pro soubor měřených osob.....	37

Úvod

Cílem této práce je seznámit se s anomií a elektrofyziologií očí a očních svalů, které mají vliv na pohyb očí, uvést a popsat metody snímání pohybů očí. Tyto teoretické znalosti jsou rozebrány v první a druhé kapitole.

Praktickým úkolem práce je navrhnout experiment, jímž lze zjistit, jaká je odchylka trajektorie získaná pohybem očí při opisování určitého obrazce pohledem od reálné dráhy. Dalším cílem je zjistit pozorovací úhly, které odpovídají změně pohledu mezi dvěma body, jejichž vzdálenost se mění. Návrhy těchto experimentů jsou v kapitole tři a k měření je použita metoda elektrookulografie.

Kapitola čtvrtá slouží k popsání surových dat, kde jsou uvedeny jejich základní vlastnosti. Ke zpracování dat a analýze výsledků pak slouží kapitola pátá. Data jsou naměřena na skupině deseti probandů a s využitím programového prostředí MATLAB jsou zpracována a výsledky interpretovány.

1 Anatomie a fyziologie

1.1 Oční bulva

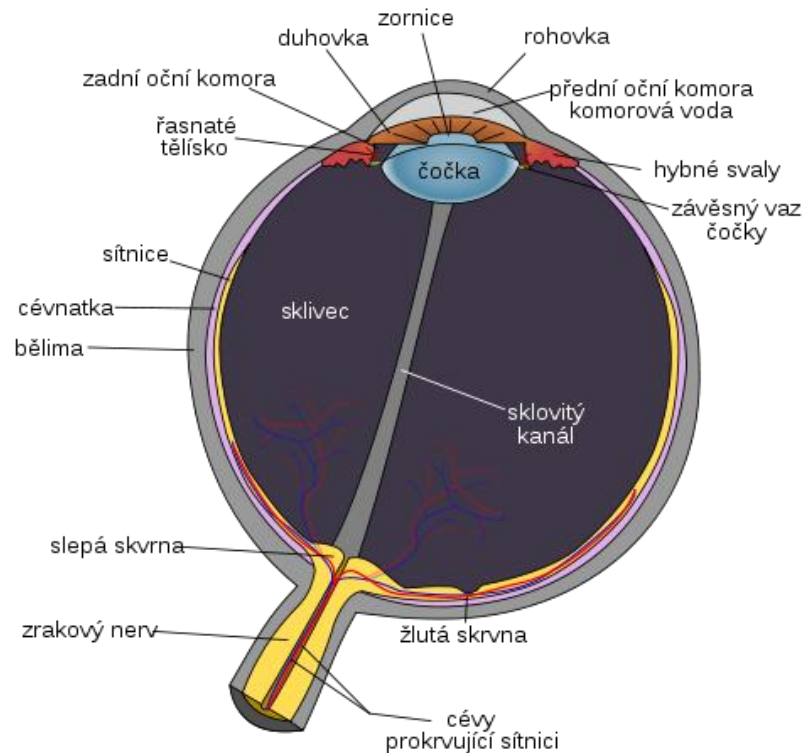
Lidské oko je nejdůležitější a nejsložitější smyslový párový orgán, který slouží k zachycení a interpretaci světelných podnětů, kterými jsou elektromagnetické vlny o vlnové délce 400 až 700 nm.

Průměr oka je přibližně 24 mm. Zrakové ústrojí se skládá z oční koule a přídatných očních orgánů. Oko má tvar koule a je chráněno kostěným obalem. Koule je umístěna v očníci, což je párový prostor ve tvaru čtyřbokého jehlanu, je chráněna tukovým polštářem. Pohyb oka umožňuje šest okohybných svalů. Stěnu oka tvoří tři tkáňové vrstvy.

Zevní vrstva je tvořena vazivovým obalem. Tato vrstva obsahuje bělimu, která je neprůhledná a má bílou barvu. Bělíma (sclera) zaujímá přibližně pět šestin zadní části vnější vrstvy. Na přední straně se nachází limbus, což je kruhovitá brázda, do které zapadá rohovka. Zepředu se na sklěru upínají okohybné svaly, zatímco vzadu ji protínají vlákna zrakového nervu. Rohovka (cornea) pak tvoří přední část vnější vrstvy a zaujímá zbylou jednu šestinu oční koule. Předním směrem je více zakřivená, je průhledná a bohatě inervována.

Střední vrstva je velmi dobře cévně zásobena a skládá se z cévnatky, která vystylá bělimu a poté přechází v řasnaté tělísko a duhovku. V řasnatém tělísku se tvoří komorová voda a vyživuje oční tkáň bez přímého cévního zásobení (rohovka a čočka). V řasnatém tělísku je uloženo hladké svalstvo, k jehož vláknům se připojuje čočka. Tato vlákna umožňují změnu tvaru čočky a tím měnit její zakřivení. Duhovka má ve svém středu otvor, který se nazývá zornice. Zornice plní funkci jakési clony, která se může roztáhnout nebo stáhnout a regulovat tak množství světla vstupujícího do oka. Rozšíření zornice má na starost paprscitě uspořádaná hladká svalovina duhovky, zatímco kruhově uspořádaná vlákna zornici zužují. Za zornicí se nachází čočka, která rozděluje oko na přední a zadní segment. Prostor za čočkou je vyplněn sklivcem, což je čiré rosolovité těleso, které vyplňuje dvě třetiny prostoru oční koule. Stavba oční koule viz Obrázek 1. [1][2][3]

Obrázek 1: Anatomie oční koule



Vnitřní vrstvu tvoří světločivá vrstva, která se nazývá sítnice. V zadní části se nachází tyčinky a čípky, na přední části jsou pouze pigmentové buňky. Na ni dopadá světlo fokusované čočkou a rohovkou.

Přidatné oční orgány jsou tvořeny okohybnými svaly, kterým se věnuje kapitola 1.3, víčky, spojivkou a slzním ústrojím. Víčka jsou kryta kůží a jsou podložena vazivovými ploténkami. Na okrajích víček jsou řasy a žlázy, jejichž produktem je maz, který má za úkol zabraňovat přetékání slz přes okraj víček. Spojivka je tenká slizniční blána, která kryje vnitřní plochu víček a přechází na bělimu. Ve spojivkovém vaku dochází k městnání slz. Slzní aparát se skládá ze slzné žlázy, která je uložena v horním vnějším kvadrantu oční. Produkt žlázy, slzy, vtékají přes spojivkový vak do slzného jezírka a poté do slzného vaku, který se nachází u vnitřního koutku oka. [1][3][5]

1.1.1 Sítnice

Převrácené obrazy předmětů se tvoří na sítnici (retině), což je světločivá vrstva, která obsahuje buňky citlivé na světlo. Retina je ve své podstatě analogií k fotografické emulzi ve filmové kameře. V těle člověka je však nenahraditelná a vyznačuje se bezchybnou schopností

přizpůsobit se automaticky intenzitě světla, které na ni dopadá. Sítnice se skládá z několika vrstev, kterými jsou nervová vlákna, gangliové buňky, bipolární nervové buňky a světločivé receptory neboli fotoreceptory. Poslední vrstvou je pigmentový list, který zajišťuje oddělení sítnice od cévnatky. Protože paprsek světla musí projít touto soustavou vrstev, je 90% dopadajícího světla pohlceno nebo odraženo. Fotoreceptory sítnice jsou tyčinky a čípky.

Tyčinky reagují i na slabé světlo (např. za šera), ale neregistrují barvy a obraz není dostatečně ostrý. Nejcitlivější jsou na zelenomodré světlo o vlnové délce 507 nm (nanometrů). V oku se jich nachází přibližně 120 milionů. Mají válcovitý tvar, jejich délka je asi 60 μm (mikrometrů) a dosahují průměru asi 0,5 μm . Ve vnitřním segmentu se nacházejí také kontraktilní elementy, které umí měnit délku receptoru v závislosti na osvětlení.

Čípky naproti tomu poskytují ostrý a barevný obraz při denním světle. Citlivost čípků se liší vzhledem k viditelnému spektru. Největší citlivost čípků je ke světlu o vlnové délce 555 nm. Na každou základní barvu systému RGB (z angličtiny red-green-blue, tedy červená-zelená- modrá) je jeden druh čípku. V oku se jich nachází přibližně 7 milionů. Jsou kratší a širší než tyčinky a jejich průměr se pohybuje mezi 2,5 až 4 μm .

Nejcitlivější místo sítnice se nachází ve žluté skvrně, což je místo s největší koncentrací čípků v sítnici. Žlutá skvrna je místo nejostřejšího vidění. Nachází se v zadním pólu oka, které je mělce prohloubené. Protože jsou ostatní vrstvy sítnice velmi zredukované, je v tomto místě sítnice tvořena prakticky pouze vrstvou čípků a pigmentovým listem. Čím dál od žluté skvrny, tím méně lze nalézt čípků, naopak přibývá tyčinek, kdy dosáhnou maximální hustoty v kruhu asi 20° od žluté skvrny.

Nazálně od žluté skvrny se sbíhají nervová vlákna vedoucí podráždění z fotoreceptorů a tvoří zde papulu zrkového nervu. V tomto místě se nenachází žádné fotoreceptory a je to nejméně citlivé místo sítnice. Jedná se o slepou skvrnu, která se nachází v místě vstupu očního nervu.

Při denním vidění se největší citlivost oka pohybuje okolo 555 nm. Tato vlnová délka odpovídá zelené barvě. Při nočním vidění se vlnová délka snižuje, oko je nejcitlivější na světlo vlnové délky přibližně 450 nm, což odpovídá barvě modré. Poruchami barvocitu trpí přibližně 4 % lidí (9 % mužů a 0,4 % žen).[1][5][7]

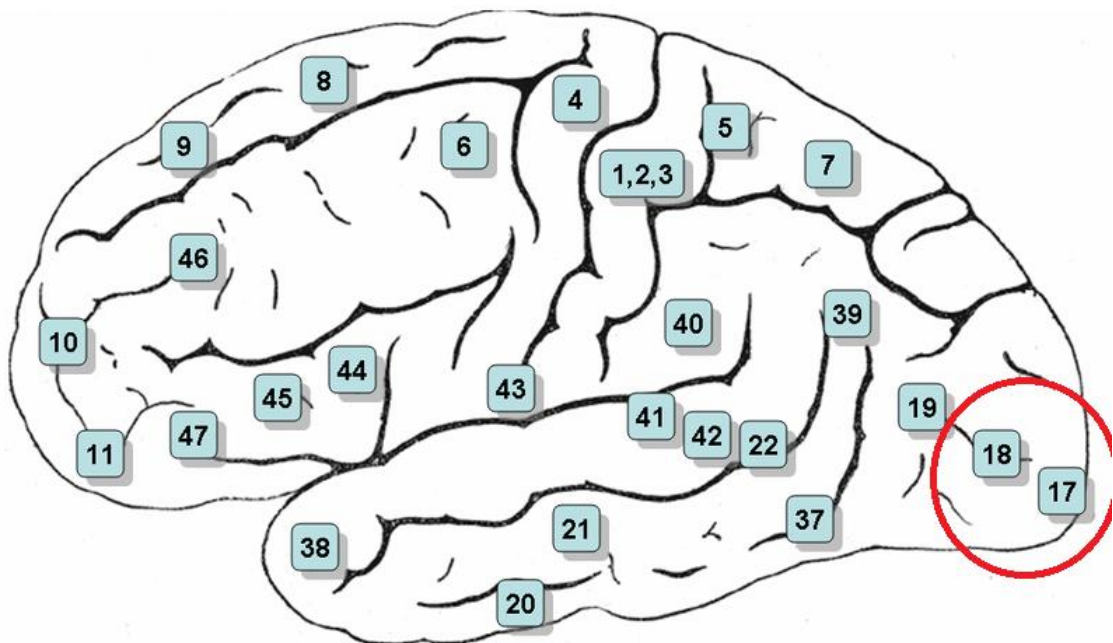
1.1.2 Zpracování zrakových vjemů

Zraková informace se pomocí centrálních zrakových drah dostává do centrální nervové soustavy (CNS), kde se zpracovává. Rozlišují se tři projekce, přičemž pro tuto práci je nejdůležitější projekce do retikulární formace mostu a středního mozku, protože slouží k řízení očních pohybů. Další dvě projekce řídí změnu průsvitu zornice a cyklické změny vnitřních funkcí souvisejících se střídáním dne a noci. Neurony corporis geniculati lateralis

(NGL) jsou strukturou hlavní podkorové oblasti, která zpracovává informace zachycené zrakem. Další neurony zrakových drah se nachází v mozkové kůře v okcipitálním (týlním) laloku v místě nazývaném V1 neboli primární zraková kůra. Podle Brodmannova regionu se nachází v oblasti 17.

Při analýze zrakového podnětu se posuzuje tvar, barva, umístění v prostoru a pohyb. V místě V1 a V2 - oblast 17 a 18 (viz Obrázek 2), probíhají všechny aspekty zrakové analýzy. Ve vyšších oblastech hierarchie se analýza tvaru a barvy rozděluje od analýzy pohybu a hloubky. Zrakovou analýzu lze z funkčního hlediska dělit na tři paralelní soustavy. První je užíván k analýze pohybu v prostoru, druhý se specializuje na detekci tvaru a částečně i barvy, třetí slouží k vnímání barvy. [2]

Obrázek 2: Mozek - oblast 17 a 18 na mapě Brodmannova regionu



1.1.3 Akomodace oka

Optický systém oka láme přicházející paprsky a obraz objektu, který je obrácený a zmenšený, dopadá do ohniska na sítnici. Toto místo se nazývá žlutá skvrna. Lomivost oka je regulována vyklenutím a zploštěním čočky. Tato vlastnost je dána stahem či uvolněním svalu řasnatého tělesa. Při pohledu na blízko se sval stáhne a uvolní tak závěsný aparát čočky, která se vyklene díky vlastní elasticitě. Naopak při pohledu do dálky se čočka vlivem ochabnutí svalu oploští. Tato schopnost čočky změnit optickou mohutnost v závislosti na vzdálenosti objektu se nazývá akomodace.

Pro každé oko lze najít dva základní fixační body. Prvním z nich je bod daleký, který je ostře viděn bez akomodace a u emetropického (normálně vidícího) oka je položen v nekonečnu. Druhý bod je bod blízký, který je viděn ostře s maximální akomodací. Rozdíl převrácených hodnot vzdáleností těchto bodů oka, který se vyjadřuje v dioptriích, udává akomodační šíři oka. Akomodace je jednou z fyziologických vlastností oka a její schopnost se s přibývajícím věkem člověka snižuje. Optická mohutnost lidské čočky je 14 dioptrií ve věku 10 let, se stářím se zmenšuje a v 70 letech je její mohutnost pouhých 0,5 D. [1][3]

1.2 Stavba svalu

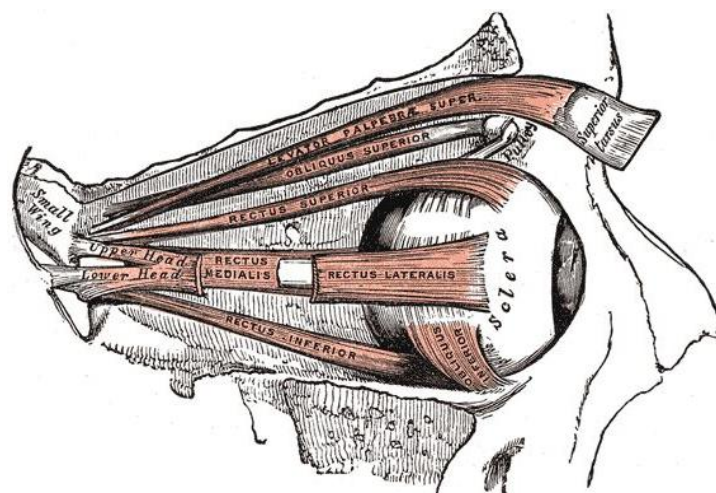
Sval je motorická jednotka, jejímž úkolem je měnit energii v podobě chemických vazeb na mechanickou práci, která je vykonávána kontrakcí svalu. Kosterní svaly se skládají ze svalových vláken, což jsou mnohojaderné buňky o průměru cca 50 μm a délce několika centimetrů. Svalové vlákno se skládá z myofibril, což jsou tenká vlákna o průměru 0,5 až 1 μm . Myofibrila se skládá z úseků, které se nazývají sarkomery. Na příčném řezu se opakují dvě pásma, izotropní a anizotropní, jejichž střídání způsobuje příčné pruhování svaloviny.

Myofibrily jsou tvořeny filamenty, což jsou tenká vlákna o velikosti řádově v jednotkách nanometrů. Filamenta se skládají ze dvou strukturních bílkovin, a to z aktinu a myozinu. Spolu s adenzin trifosfátem (ATP) se podílejí na svalovém stahu. Podněty ke svalové kontrakci se šíří nervovým vláknem, které vstupuje do svalu v místě nazývaném nervosvalová ploténka. Jedná se o druh chemické synapse, kde mediátorem (zprostředkovatelem) přenosu je acetylcholin, který se uvolňuje z nervového vlákna. [1]

1.3 Okohybné svaly

Aby obraz dopadal na sítnici do žluté skvrny, je třeba zajistit pohyb oční koule. O ten se stará 6 příčně pruhovaných svalů, které dokonale spolupracují a zajišťují tak souhru pohybů obou očí. Jednotlivé svaly se ze společného bodu, jímž je kruhovitá šlacha umístěná v hrotu orbity (annulus tendineus communis), kde probíhá oční nerv a tepna, rozbíhají kolem bulbu na strany oční koule a jsou fixována na skléru krátkými plochými šlachami. Okohybné svaly, viz Obrázek 3.

Obrázek 3: Pravé oko a okohybné svaly (boční pohled)



Okohybné svaly patří mezi příčně pruhované svalstvo, neboli kosterní, protože jejich konce se zpravidla upínají na kostru. Oproti ostatním příčně pruhovaným svalům mají okohybné svaly jemnou strukturu. Jednotlivá svalová vlákna jsou tenčí, nejjemnější se nachází na povrchu svalu, zatímco nejsilnější uprostřed svalu. Obsahují vysoký podíl elastických vláken. Svalová vlákna lze fyziologicky rozdělit na tonická, která reagují pomalu a fázická, která reagují rychle.

Fázická jsou inervována tlustými myelinizovanými vlákny a charakter přenosu vzruchu je stejný jako u ostatních svalů, tedy nervosvalovou ploténkou. Protože síla kontrakce je vždy maximální a nestupňuje se, tato svalová vlákna vykonávají rychlé, tzv. sakadické pohyby (viz kapitola 1.4.2.1).

Tonická vlákna jsou inervována naopak tenkými myelinizovanými vlákny, která se u jiných příčně pruhovaných svalů nevyskytují. Síla kontrakce se stupňuje a závisí na míře dráždění, a proto se tento typ vláken uplatňuje při fixačních a sledovacích pohybech.

Okohybných svalů je šest, přičemž čtyři jsou svaly přímé (musculi recti) a dva svaly šikmé (musculi obliqui). [5][8]

1.3.1 Přímé oční svaly

Přímé oční svaly se skládají z horního přímého svalu (musculus rectus superior), dolního přímého svalu (musculus rectus inferior), zevního přímého svalu (musculus rectus lateralis) a vnitřního přímého svalu (musculus rectus medialis). Začínají ve šlašitém prstenci (annulus musculus communis), pokračují přes ekvátor, kde se s různou vzdáleností od okraje upínají na skléru. Úpony jednotlivých svalových nervů jsou čtyři a jsou lokalizovány po jednom v každém kvadrantu oční koule. Vzdálenosti úponů tvoří tzv. Tillauxovu spirálu.

Vzdálenosti úponů přímých svalů jsou poměrně krátké, jejich délka se pohybuje mezi pěti až osmi milimetry a upínají se na oční kouli plochou šlachou. Délka svalů dosahuje délky přibližně 40 mm, avšak stejně jako úpony se pro každého člověka liší. Při kontrakci svaly pohybují oční kouli na svou stranu. Přímé svaly a jejich funkce jsou uvedeny v následující tabulce (Tabulka 1). [5][8]

Název svalu	Funkce svalu
horní přímý sval (m. rectus superior)	pohyb oční bulvou vzhůru a lehce mediálně
dolní přímý sval (m. rectus inferior)	pohyb oční bulvou dolů a lehce mediálně
vnitřní přímý sval (m. rectus medialis)	pohyb bulvou mediálně
zevní přímý sval (m. rectus lateralis)	pohyb laterálně

Tabulka 1: Přímé svaly a jejich funkce (m. – musculus – sval)

1.3.2 Šikmé oční svaly

Šikmé svaly mají společný začátek s přímými, avšak liší se průběhy a úpony. Svalová část šikmých svalů má menší plochu a je spíše dokulata. Horní šikmý sval, což je nejdelší z okohybných svalů, začíná na rozdíl od dolního šikmého svalu ve stejném místě, jako svaly přímé. Jeho úpon se nachází těsně za ekvátorem. Dolní šikmý sval začíná za oční okrajem v nazálním dolním kvadrantu a upíná se za ekvátorem v dolním zevním kvadrantu. Dolní šikmý sval je naopak nejkratší z okohybných svalů. Šikmé svaly a jejich funkce uvádí Tabulka 2. [5][8]

Název svalu	Funkce svalu
horní šikmý sval (m. obliquus superior)	pohyb oční bulvy dolů a mediálně
dolní šikmý sval (m. obliquus inferior)	pohyb oční bulvy nahoru a laterálně

Tabulka 2: Šikmé svaly a jejich funkce

1.4 Pohyby očí

Oči se pohybují velmi rychle díky okamžité reakci okoohybných svalů. Oko však vykonává pohyby i při usilovné fixaci a proto není nikdy v klidu. Jedná se hlavně o drift, mikrosakády a tremor. Negativně se rovněž projevují velké pohyby očí v podobě sledovacích pohybů a sakád a také disjunktní pohyby.

1.4.1 Pohyby očí během fixace

1.4.1.1 Drift

Drift jsou pomalé pohyby očí, někdy též nazývané klouzavé, kdy se v časovém úseku 200 ms (milisekund) vychýlí osa o $6'$ (minut, což je jedna šedesátina stupně) a obraz na sítnici se posune v rozsahu 10-15 čípků. Obraz se sice nedostane z centra žluté skvrny (fovea centralis), avšak mikrosakády opačného směru vrací obraz zpět do centra fovey a ukončují tak drift oka. Každé oko „driftuje“ asymetricky, klouzavé pohyby očí jsou na sobě nezávislé. Jedná se tak o jediný oční pohyb, kdy aktivita v daných svalech obou očí není stejná. Funkční význam driftu je v dnešní době předmětem výzkumu.

1.4.1.2 Mikrosakády

Mikrosakády jsou nepravidelné a rychlé pohyby oka s amplitudou $2-50'$ se střední amplitudou $5,6'$ a časovým rozmezím 10-20 ms v závislosti na amplitudě pohybu. Mikrosakády jsou symetrické, avšak frekvence jejich výskytu, stejně jako směr a amplituda nejsou ovlivnitelné vůlí. Úkolem mikrosakád je navrácení zrakové osy do základního postavení, jejíž vychýlení způsobil drift.

1.4.1.3 Tremor

Tremor neboli oční třes má ze všech těchto pohybů nejmenší amplitudu, a to $20-30''$ (vteřin, což je $1/60$ minuty). Navzdory tomu mají tyto pohyby velkou frekvenci, přibližně 70-90 Hz, ale mohou dosahovat i přes 100 Hz. Třes je velmi obtížné registrovat, protože vznikají artefakty v důsledku vibrací a pohybů hlavou. Funkční význam tremoru není znám. [6][10]

1.4.2 Velké pohyby očí

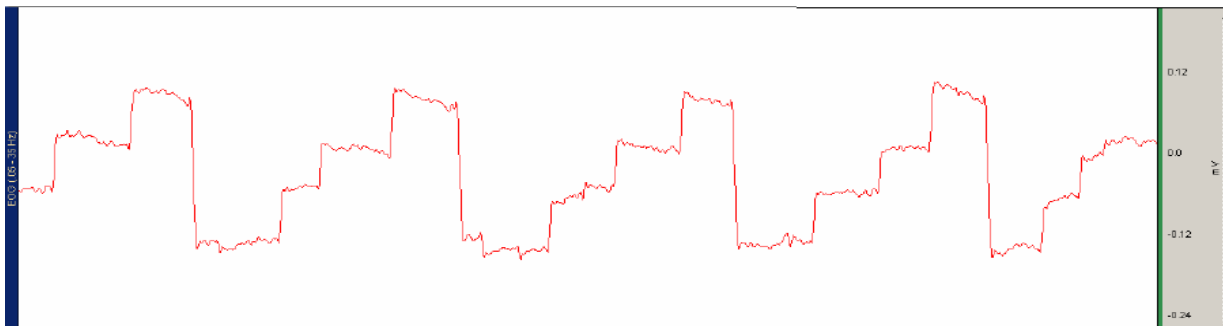
Zatímco pohyby očí během fixace nejsou tak výrazné, jejich amplituda se pohybuje v řádu úhlových minut, velké pohyby očí mají amplitudu v řádu stupňů, v případě sakád až desítky stupňů. Patří mezi ně sakády, sledovací pohyby očí a také disjunktní pohyby.

1.4.2.1 Sakády

Sakády jsou volní oční pohyby, které se projevují, když oko prohlíží zorné pole. Sakády mají přesně určený charakter. Následují za sebou s časovým odstupem minimálně 150 ms. Za tuto dobu dojde k vyhodnocení polohy podnětu a vytvoření trajektorie příslušné dráhy. Rychlost pohybu odpovídá vzdálenosti, kterou oko musí urazit a proto je v případě větší amplitudy pohyb rychlejší. Pokud tedy fixujeme oko na nepohyblivý předmět a zároveň pohybujeme hlavou, pak oči vykonávají sledovací pohyb v opačném směru než hlava.

Směr a velikost sakády jsou vůli ovlivnitelné, ale oko například při čtení provede dva až tři sakadické pohyby, které jsou na vůli nezávislé. Sakadické pohyby při čtení zachycuje Obrázek 4. Testovaný subjekt četl několikrát po sobě slovo OČKO. Jedná se o záznam z horizontálního kanálu, tedy výchylka signálu nahoru značí pohyb doprava, což odpovídá čtení textu zleva. Na konci oko překmitne doleva zpět na první písmeno „O“, což je prudká výchylka dolů.

Obrázek 4: Sakadický pohyb při čtení slova OČKO



Je třeba uvést parametry sakád, které jsou pro tyto pohyby typické. Patří zde amplituda, rychlostní maximum, latence a délka.

Amplituda se udává v úhlových jednotkách, nejčastěji stupních a minutách a je to velikost sakády, která může u člověka dosahovat až desítek stupňů. Rychlostní maximum je bod, který odpovídá nejvyšší rychlosti pohybu oka v průběhu sakády. Latence je časový úsek mezi objevením se předmětu ve zrakovém poli a počátkem vlastního sakadického pohybu, jenž vede k fixaci na tento předmět. Délka je časový okamžik, během kterého proběhne sakadický pohyb. Oko dosahuje rychlostí stovky stupňů za sekundu (až 900), většina sakád tak trvá řádově několik desítek milisekund.

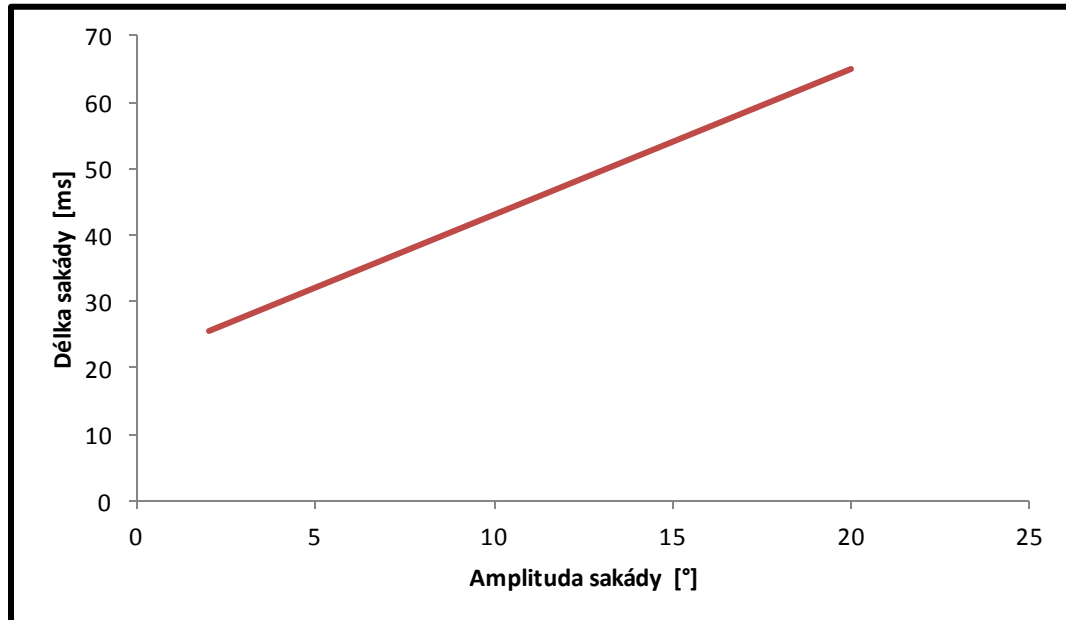
Vztah mezi délkou a amplitudou sakády lze popsat lineární závislostí podle vzorce (1.1). Tato závislost je zachycena v grafu (Obrázek 5).

Vzorec pro výpočet délky sakády: $d = 2,2 * A + 21$ (1.1)

d je délka sakády

A je amplituda sakády

Obrázek 5: Závislost amplitudy a délky sakády podle vzorce (1.1)



1.4.2.2 Sledovací pohyby očí

Sledovací pohyby očí jsou mimovolní a objevují se v případě, že v zorném poli se pohybuje předmět určitou rychlostí. Pokud je rychlost nižší než 25-30 stupňů za sekundu, pak oko sleduje přesně předmět, hlavně pokud je pohyb pravidelného charakteru, jako je třeba sinusový pohyb. Zpoždění začátku pohybu je asi 125 ms, což je kratší latence než u sakád, opoždění za předmětem je korigováno jednou až dvěma korekčními sakádami. Systém řízení sledovacích pohybů nemá přesně naprogramovaný charakter, jako je tomu u sakád a oba mechanismy, jak sakád, tak sledovacích pohybů, jsou na sobě nezávislé.

1.4.2.3 Disjunktní pohyby

Disjunktní pohyby očí, což znamená konvergenci a divergenci (šilhání), se objevují, pokud se změní fixační bod v předozadní ose oka. Obrazy zrakového podnětu se objevují na rozdílných místech na sítnici obou očí a tato skutečnost vyvolá vergentní pohyby. Disjunktní pohyby také nemají naprogramovaný charakter a mění se ještě v průběhu vlastního pohybu. Podle některých teorií jsou vergentní pohyby způsobeny systémem pomalých vláken svalu, kdežto sakády jsou dílem stahů rychlých vláken.

Existují i další vergentní pohyby, které jsou však vyvolané akomodací. Pokud se zakryje jedno oko a druhým se akomoduje na cíl v dané vzdálenosti, tak lze na zakrytém oku pozorovat nejen akomodaci, ale též konvergentní pohyb. [6][9][10]

2 Metody snímání pohybu očí

Sledování očních pohybů lze charakterizovat buď měřením místa pohledu, nebo měření pohybu oka vzhledem k hlavě. Přístroje určené k tomuto měření tak měří pozici oka a jeho pohyby. Nejpoužívanější metody využívají videozáznam, ze kterého lze získat polohu oka, a snímání biologických signálů, např. elektrookulografie.

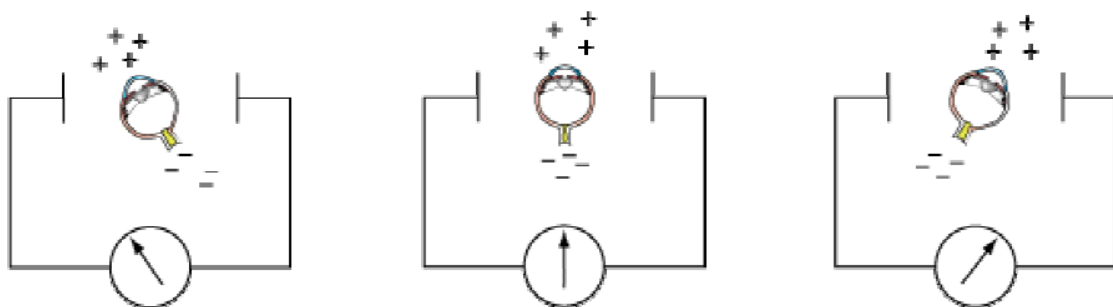
Metody ke sledování očních pohybů lze rozdělit na kontaktní a bezkontaktní. Při kontaktních (z hlediska kontaktu s okem) se k povrchu oka připevní umělé těleso, nejčastěji speciálně upravená kontaktní čočka. Elektrických a optických vlastností očí využívají bezkontaktní metody.

2.1 Bezkontaktní metody snímání

2.1.1 Elektrookulografie

Elektrookulografie (EOG) využívá napěťového rozdílu mezi rohovkou a sítnicí, vzniká tedy potenciál, který se nazývá korneoretinální potenciál a jeho velikost je zhruba 1 mV (milivolt). Podle toho, jak se pohybují oči, se také mění vektor elektrického pole vzhledem k snímacím elektrodám (viz. Obrázek 6). Pomocí těchto elektrod se zaznamenává horizontální a vertikální složka pohybu nezávisle na sobě. Jak lze vyčíst z obrázku, při pohledu vlevo se stane rohovka pozitivní v blízkosti elektrody umístěné vlevo a ta se stane také pozitivní. Pokud se pohled upírá přímo, dipól je umístěn přesně mezi elektrodami a signál EOG je tak nulový. Při pohledu vpravo je rohovka pozitivní v blízkosti pravé elektrody a ta se také stává pozitivní. [11]

Obrázek 6: Dipól - potenciálové rozdíly v oku



EOG signál má větší výchylky na světle než ve tmě z důvodu potenciálu, který vzniká v barvivo sítnicového epitelu, jestli jsou tedy více zapojeny tyčinky nebo čípky. Výchylky jsou závislé na úhlu změny postavení oka a také na intenzitě okolního osvětlení a schopnosti oka adaptace na světlo. Proto je třeba při měření zajistit konstantní osvětlení. Naměřený signál

může být zkreslen pohybem okolních svalů a elektrickým rušením. Rozlišení elektrookulogramu se uvádí v jednotkách stupňů.

Elektrookulografie se používá k diagnostice degenerace sítnice nebo například k diagnostice toxických látek ovlivňujících vidění (metanol, etanol, toluen). EOG lze také využít při identifikaci REM (rapid eyes movement, což je fáze rychlých pohybů očí) fáze spánku, v neurologii a také v oftalmologii na měření funkce pigmentu epitelu sítnice. Při spojení EOG s EMG (elektromyografie) či EEG (elektroencefalografie) se používá k tvorbě elektrotechnických pomůcek, které umožňují manipulovat s externími zařízeními, např. pro člověka postiženého locked-in syndromem. Takto postižený člověk může pohybem očí např. ovládat invalidní vozík či je schopen psát na monitoru. [11][12]

2.1.2 Infračervená okulografie

Tato metoda spočívá v ozáření oka infračerveným světlem z nepohyblivého zdroje a měřením odraženého záření závisícího na poloze oka. Vlnová délka infračerveného světla je větší, než viditelného světla a proto není zářením vidět, působí pouze tepelné účinky. Záření tudíž z hlediska zraku nemá rušivé účinky a také okolní světelné zdroje nemají na měření vliv. Infračervená okulografie je vhodná spíše pro horizontální složku pohybu. Přesnost se pohybuje okolo jedné desetiny stupně zřakového úhlu. Při vzorkovací frekvenci do 1 kHz je tato metoda dostačující pro řadu komerčních aplikací.

2.1.3 Videookulografie

Princip snímání je založen na optických metodách. Od oka odražené světlo, často se používá infračervené, se zaznamenává videokamerou nebo jiným, k tomu uzpůsobeným senzorem. Analýzou získaných informací je následně stanoven pohyb očí. Takovéto systémy k analýze nejčastěji využívají odrazu od rohovky, sledují pohyb středu zornice v čase. Dnes sledovací algoritmy využívají digitální zpracování obrazu.

Dříve se využívaly tzv. Purkyňovy obrázky, které vznikaly podle světlolných ploch v oku. Tyto plochy jsou čtyři, dvě na čočce (přední a zadní plocha) a na rohovce (přední a zadní plocha). Takovéto obrazce vznikaly při osvětlení očí zdrojem světla a byly reflexním obrazem zdroje světla. Pro zvýšení citlivosti se užívaly i tzv. duální - Purkyňovy systémy. [9][10]

2.2 Kontaktní metody snímání

2.2.1 Magnetookulografie

Ke sledování pohybu se používá měřicí cívka, která je složena z mnoha závitů tenkého vodiče. Tato cívka přiléhá k oku díky speciálně upravené kontaktní čočce. Měří se napětí, které se indukuje v cívce magnetickým polem. Metoda je nejpřesnější ze všech uvedených metod, dosahuje přesnosti na setiny stupně. Magnetookulografií lze dosáhnout maximálního prostorového i časového rozlišení. Nevýhodou je invazivní charakter, kvůli kterému se tato metoda omezuje pouze na laboratorní výzkum. Dalším záporem je vysoká cena čoček, které se navíc i rychle opotřebují.

2.2.2 Elektroretinografie

Další možností, jak snímat pohyby očí, je elektroretinografie (ERG), což je kontaktní metoda, kdy se místo elektrody používají kontaktní čočky, ve kterých jsou zataveny stříbrné či platinové drátky. Pomocí ERG lze posoudit funkce sítnice, navíc lze diagnostikovat poruchu ještě předtím, než vzniknou funkční změny. Nevýhodou je poškrábání rohovky, degradace zorného pole a také nutnost lokálního umrtvení rohovky. [1][10]

2.3 Využití pohybů očí v praxi

Systémy pro sledování očních pohybů mají poměrně široký záběr a začínají se uplatňovat i v netechnických oborech. Využití lze v poznávacích vědách, psychologii, také při marketingových a lékařských výzkumech. Interakce mezi elektronickými zařízeními, jako jsou počítače, chytré telefony či různé systémy pro postižené, je v poslední době na vzestupu a stává se komerční. Většina těchto systémů využívá snímání pomocí optických cest, nejčastěji infračervené světlo, protože nedochází k ovlivnění okolním světlem. V případě systémů pro postižené osoby jde o usnadnění života postižených, kteří tak mohou například ovládat svůj vozík, psát a vykonávat i jiné aktivity, které by bez těchto zařízení vykonávat nemohl.

3 Měření pohybu oka

3.1 Použitá metoda

Pro měření byla zvolena metoda elektrookulografie. Metoda se sice nevyznačuje vysokou přesností, avšak je levná a dostupná. Systém BIOPAC a jeho software (viz kapitola 3.3 a 3.4) jsou pro měření pomocí této metody vhodné, neboť obsahují všechny potřebné parametry a filtry, takže odpadá jakékoliv složité nastavování.

Měření je prováděno na skupině deseti probandů, přičemž všechna měření by měla být prováděna za stejných podmínek. V praxi nelze docílit stejných podmínek (vliv osvětlení, zrakové a sluchové vjemy), ale při použití stejné metody lze alespoň rozdíly mezi měřeními minimalizovat.

Obličej každé měřené osoby se nacházel ve vzdálenosti 40 cm od monitoru, oči byly upřeny doprostřed obrazovky a hlava byla fixována. Při každém měření se uplatnili stejné obrázky, pomůcky i nastavené parametry. Změna osvětlení v místnosti (počasí) byla regulována zatažením žaluzií a umělým osvětlením zajištěny stejné světelné podmínky. Horší a neodstranitelné jsou zrakové i sluchové vjemy, například v podobě hluku procházejících lidí na chodbě či pohyb jiného člověka v místnosti.

3.2 Příprava měřené osoby

Měřená osoba by měla sedět v dobře a konstantně osvětlené místnosti, aby nedocházelo k výkyvům osvětlení. Osoba by měla být v klidu a neměla by mluvit, hýbat se či se smát, protože jakékoliv pohyby svalů, nejen na obličej, by měly na měření nežádoucí vliv.

Na subjekt se nalepí elektrody podle návodu Biopac Hardware Guide, kapitola EOG, a připevní se vodiče podle obrázku, nejprve zemnicí a pak vodičí, jak ukazuje Obrázek 8. Subjektu jsou uděleny pokyny podle typu měření a vysvětlen cíl měření. Subjekt je také poučen o nežádoucích vlivech celého měření.

Některé elektrody musely být zmenšeny, neboť u osob s drobnějším obličejem by je nebylo možno nalepit správně, navíc by hrozila interference signálů, tzn., signály z kanálů sousedících elektrod by byly ovlivněné navzájem.

Dalším možným rušivým vlivem mohou být brýle. Pokud jsou obroučky vyrobeny z kovu, může být signál nepříznivě ovlivněn. U jedné z měřených osob s brýlemi se při pokusu odlišovaly průběhy signálů s a bez brýlí, mohlo tedy dojít ke zkreslení.

3.3 Hardwarové příslušenství

Při měření je použit přístroj Biopac, který je spojen s počítačem přes USB rozhraní a elektrody s nedráždivým vodivým gelem.

3.3.1 PC a Biopac

Biopac je univerzální měřicí přístroj (Obrázek 7), se kterým je možno měřit základní fyziologická data. Komunikace a transformace dat je zajišťována mikroprocesorem, který přijímá digitální data z počítače a podle nich nastavuje a kalibruje jednotlivé kanály. Data z jednotlivých kanálů, která jsou měřena, jsou analogová a jsou zpracována podle nastavených parametrů. V tomto případě postačí kanály 2, jeden pro horizontální a druhý pro vertikální pohyb. Přenos dat mezi PC a přístrojem je zajištěn USB rozhraním.

Obrázek 7: Jednotka Biopac MP 35



3.3.2 Elektrody s vodivým gelem

Elektroda zprostředkovává spojení mezi vstupem přístroje a tělem pacienta.

Elektrody můžeme rozdělit:

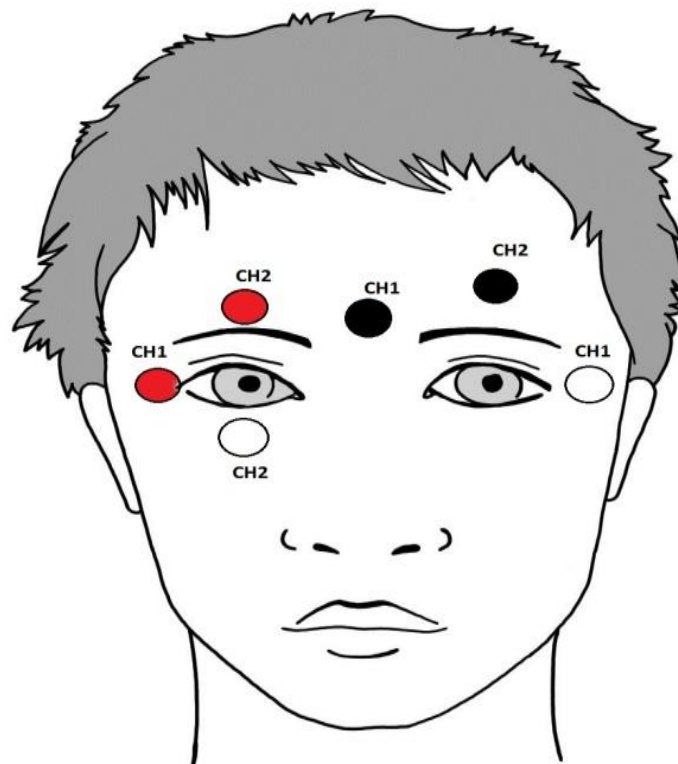
- Podle funkce
 - Snímací (vedou signál z pacienta)
 - Stimulační (vedou signál do pacienta)
 - Pomocné (uzemňovací, stínící)

- Podle tvaru:
 - Plošné (diskovité, válcovité, páskové)
 - Jehlové
- Podle materiálu:
 - Kovové (např. stříbro, platina, zlato)
 - Nekovové (skleněné kapiláry plněné elektrolytem)
- Podle umístění:
 - Povrchové (plošné, v kontaktu s kůží)
 - Podpovrchové (průnik pod kůži, do svalů i orgánů)
 - Mikroelektrody (slouží k napíchnutí buňky)

V tomto případě byly použity snímací povrchové, samolepicí, plošné elektrody. Tyto elektrody jsou plovoucí, obsahují vodivý gel, který zajišťuje spojení mezi elektrodou a povrchem pokožky. Vedení mezi vstupem přístroje a elektrodou je zprostředkováno volnými elektrony, jedná se tedy o vodič první třídy. Organismus je vodičem druhé třídy, vedení zajišťují ionty. Nejčastější elektrody jsou AgCl (chlorid stříbrný) elektrody. Elektrolytem bývá roztok KCl (chlorid draselný) zahuštěný do gelu. Vodivý gel mezi elektrodou a kůží vyrovnává nerovnosti povrchu a zvětšuje plochu styku. [2][12]

Na prvním kanálu (Channel 1) jsou připojeny elektrody pro snímání horizontálního pohybu, na druhém kanálu (Channel 2) elektrody pro pohyb vertikální. Na každý kanál jsou použity tři vodiče- bílý a červený, mezi kterými je napětí, a černý, který slouží jako uzemnění. Obrázek 8 znázorňuje umístění elektrod na obličeji. [6]

Obrázek 8: Umístění elektrod na obličeji-bílé a červené lead (vedoucí) elektrody, černé zemnicí



3.4 Softwarové příslušenství

K měření lze použít 2 softwary. První je Biopac Students LAB Lessons, která umožňuje kalibraci a předem nadefinovaná měření. Naproti tomu BIOPAC Students LAB Pro umožňuje volitelnou dobu měření a proto je výhodnější.

Biopac Students Lab umožňuje pracovat s biologickými signály bez složitého nastavování přístroje a koncentrovat se na výsledky, které se z měření získají. Tento software spolu s výše uvedeným hardwarem a dokumentací s lekcemi umožňující základní fyziologická měření, je určen nejen pro výuku, ale i pro testování a výzkum. Při správném používání je přístroj bezpečný a pro měřený subjekt nepředstavuje žádné riziko.

3.4.1 Biopac Students LABPro

V tomto programu byla nastavena doba pro měření 30 minut, což je doba dostatečně dlouhá na naměření příslušných průběhů. Program umožňuje kurzorem vybrat část signálu, takže není problém exportovat jen potřebné úseky. Data se ukládají jako textový formát, ve kterém jsou tři sloupce hodnot. První je čas a další dva jsou výchylky signálu na prvním

a druhém kanálu. Tento soubor je poté možno otevřít v programu MATLAB a tam jej dále zpracovávat. [6]

3.5 Nastavení softwaru

V menu programu v záložce MP35 se nachází různá nastavení. Nejdůležitější je položka „Set up channels“, což je nastavení kanálů a „Set up acquisition“, což je nastavení doby snímání.

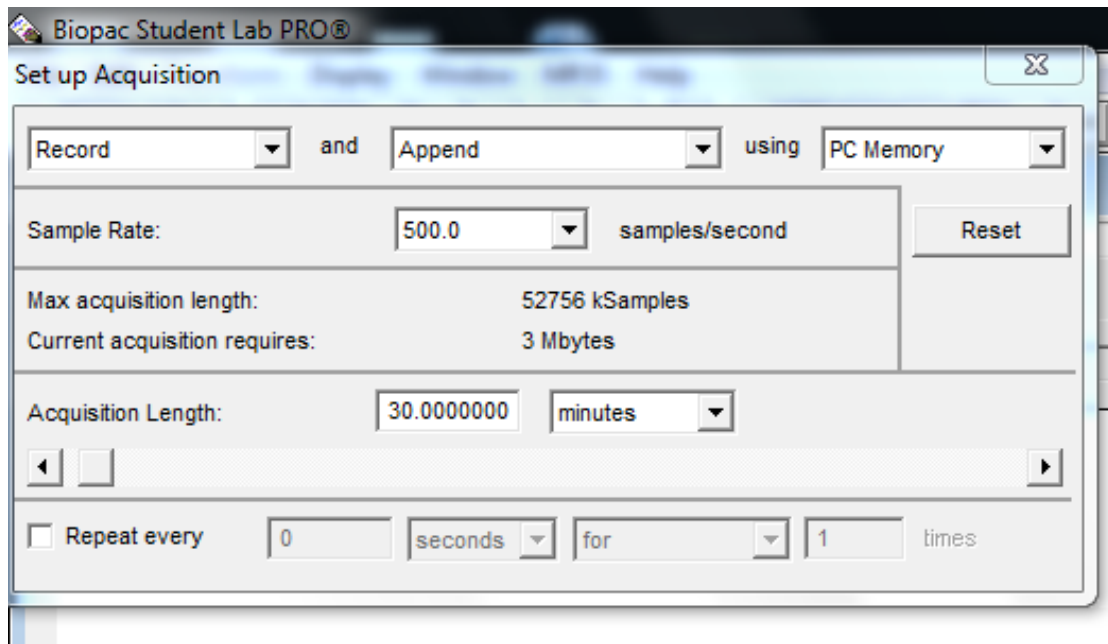
V nastavení kanálů je nutno vybrat kanál jedna a dvě, protože se snímají dvě složky pohybu. Pro oba kanály se zadávají stejné parametry, viz Obrázek 9 a Obrázek 10. Typ snímání se nastavuje na EOG, s předdefinovanými filtry. Software nabízí dva režimy snímání, AC a DC.

V režimu AC (z angličtiny alternative current - střídavý proud) lze zaznamenat pouze odchylky při pohybu, kdy při pohybu svalu dojde k elektrické aktivitě a v průběhu signálu se objeví výchylka, která však vymizí, jakmile svaly přestanou vykazovat aktivitu a signál se opět vrací do výchozí polohy. Tento režim tedy není pro sledování trajektorie vhodný, neboť není možno vykreslit trajektorii pohledu v zobrazení xy.

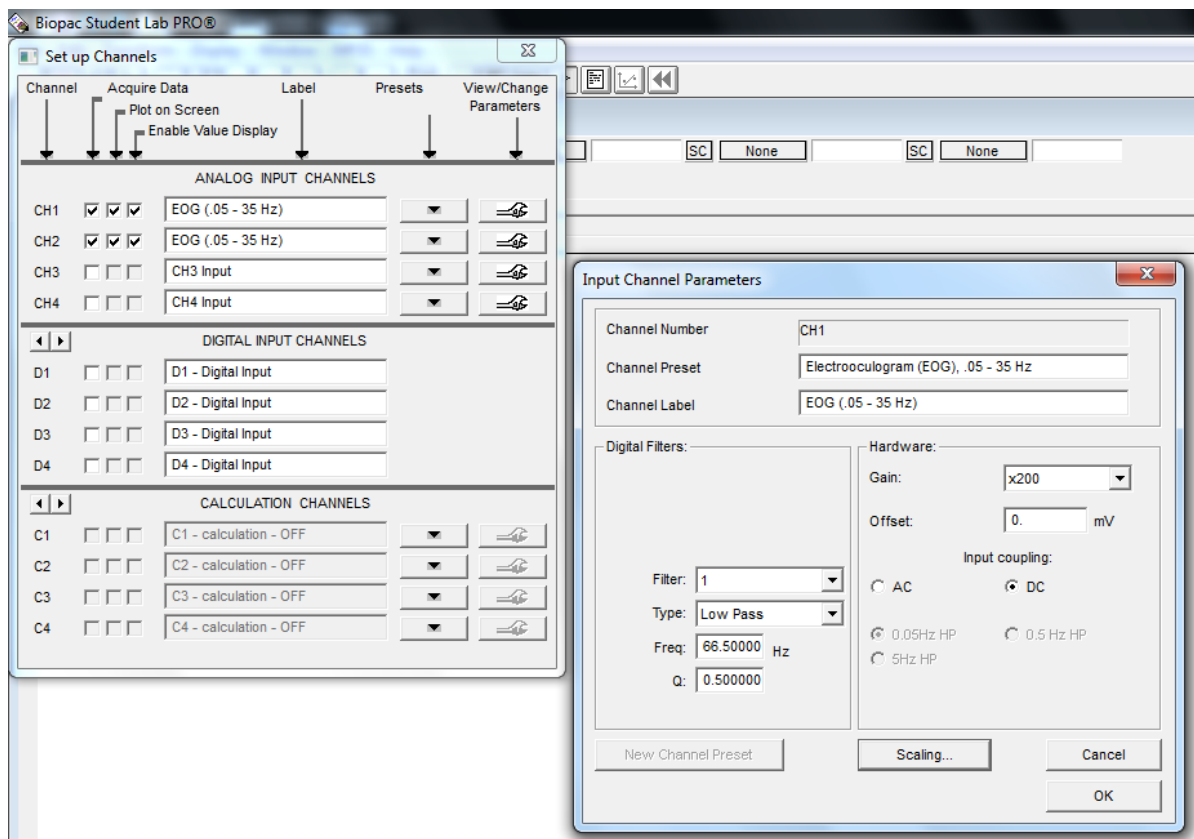
V režimu DC (z angličtiny direct current – stejnosměrný proud) se zaznamenává poloha oka, resp. svalu oka, bez ohledu na pohyb těchto svalů. Znamená to, že pokud jsou svaly v klidu, hodnota na napěťové ose se nemění, dokud nedojde k opětovné aktivitě svalů. Tímto způsobem je možné vykreslit trajektorii oka v zobrazení xy.

Dále se nastavuje počet vzorků za čas, zesílení či měřítko. Jelikož subjekty při necílených pohybech a mrkáním vytvářejí velké výchylky a žádoucí signál nedosahuje tak vysokých hodnot, není měřítko nastaveno napevno, ale byla použita funkce autoscale (automatické měřítko).

Obrázek 9: Časová nastavení



Obrázek 10: Nastavení kanálů



3.6 Návrh prvního experimentu

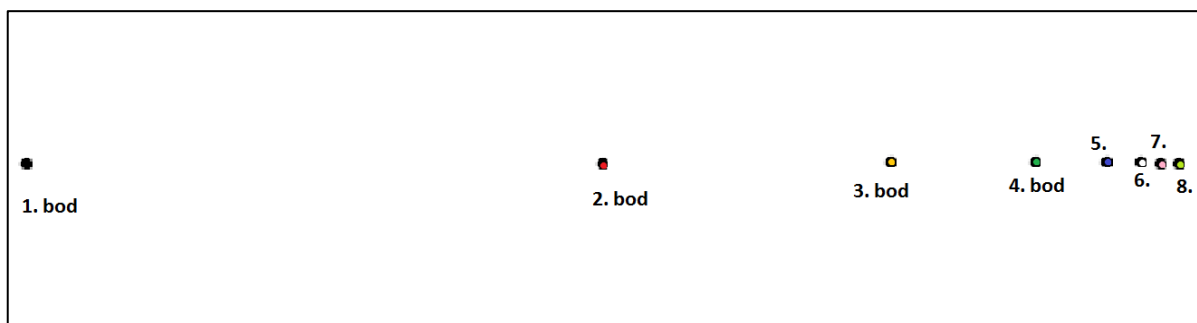
První experiment je navržen tak, aby subjekt opsal očima určitý obrazec a ten byl poté vykreslen. Protože tato metoda nedosahuje patřičné přesnosti, byl jako tvar zvolen obdélník. Tento tvar plně vyhovuje cíli měření, neboť oči vykonají pohyby ve všech čtyřech směrech a změny v signálu se projeví na obou kanálech.

Všechny testované subjekty musí sledovat stejný předmět a vzhledem ke světelným podmínkám v laboratoři byl nakonec jako předmět pro sledování zvolen monitor samotný. Velikost monitoru se nemění a odpadá tak problém s velikostí obrázku otevíraného na monitoru jiné úhlopříčky. Navíc se jeho kontrastní stříbrná linka po okrajích jeví jako ideální pro dráhu, kterou oči sledují.

3.7 Návrh druhého experimentu

V této části je cílem zjistit, při jak velké reálné vzdálenosti mezi body lze ještě zaznamenat v signálu, který vznikne překmitnutím oka mezi těmito body, viditelnou změnu a kdy už lze s jistotou potvrdit, že výchylka v signálu je tak malá, že už se jedná o šum. Dalším úkolem je vypočítat pozorovací úhel, který odpovídá změně pohledu mezi body. Oba kanály jsou zarušené konstantním šumem a malé výchylky se šumem splývají.

Obrázek 11: Body pro sledování úhlu



Obrázek 11 znázorňuje body, které osoba při tomto měření postupně sleduje. Osoba se dívá na první bod a po krátké době (cca půl až jedna sekunda), kdy setrvala pohledem na tomto bodě, pohledem překmitne na druhý bod, kde se postup opakuje, až dojde na osmý bod, čímž měření končí. Vzdálenost mezi body se zkracuje o polovinu a krátká pauza v pohybu, kdy pohled subjektu ulpí pohledem na bodě, slouží k tomu, aby výchylky nesplyvaly v jednu.

Složka vertikálního pohybu není pro měření vhodná, protože z důvodu potřeby režimu snímání DC nedosahuje kanál potřebného zesílení a je mnohem více zašuměn. Navíc oko při vertikálním pohybu vykoná menší dráhu, výchylinky se ztrácí v šumu mnohem rychleji.

3.7.1 Metoda výpočtu úhlu

Protože měřená osoba se na monitor dívá kolmo a je známa jak vzdálenost mezi ní a monitorem, tak vzdálenost mezi body na obrazci, lze úhel vypočítat pomocí goniometrických funkcí, jak ukazuje Obrázek 12.

Obrázek 12: Hledaný úhel α

Vysvětlivky:

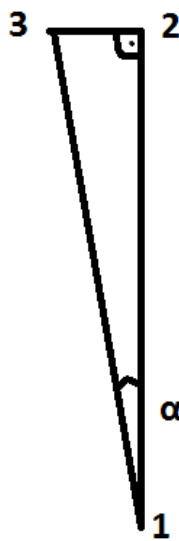
α - hledaný úhel

1 – umístění oka

2 – následující bod

3 – výchozí bod

(první bod zleva)



Lze využít goniometrické funkce tangens (\tan), která je definována jako podíl délek protilehlé a přilehlé odvěsny v pravoúhlém trojúhelníku.

$$\tan \alpha = \frac{\text{protilehlá odvěsna}}{\text{přilehlá odvěsna}}$$

V tomto případě je protilehlá odvěsna vzdálenost mezi body na obrazci a přilehlá odvěsna je vzdálenost mezi okem a monitorem.

Vzorec pro výpočet úhlu:

$$\alpha = \tan^{-1} \frac{|23|}{|21|} \quad (3.1)$$

α je hledaný úhel

|23| je vzdálenost mezi body na obrazci

|21| je vzdálenost mezi okem a monitorem

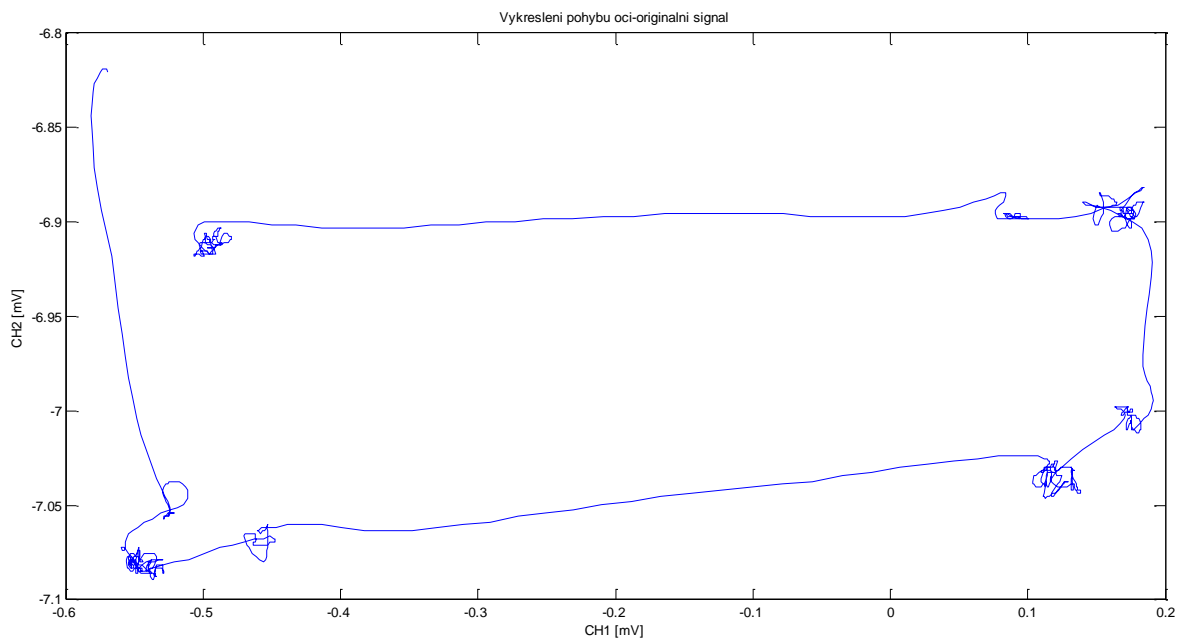
4 Výsledky

V této kapitole budou zobrazeny originální signály a popsány jejich průběhy u vybrané osoby a důležité vlastnosti průběhu tohoto signálu. Stanovení úhlu a statistické zhodnocení je v kapitole 5.

4.1 První experiment

V prvním experimentu šlo o zachycení trajektorie, kterou vykonalo oko. Ideální trajektorii by byl obdélník, který by měl poměr stran stejný jako sledovaný předmět. Reálné trajektorie byly zkreslené a zatížené chybami.

Obrázek 13: Signál trajektorie očí subjektu Ivany L



Obrázek 13 ukazuje závislost horizontální složky pohybu na složce vertikální a zachycuje trajektorii očních pohybů. V každém rohu obdélníku se pohled očí na okamžik zastavil, aby byly hrany vykresleného signálu co nejpřesnější a poté překmitlo do dalšího rohu. Zastavení se promítlo v signálu a to jakýmsi shlukem, které se soustředí v určité oblasti, jakoby kolem jednoho bodu. V ideálním případě, pokud by se oko nehýbalo, tak by se neuplatnily žádné změny v signálu a žádné takové shluky by se neobjevovaly. Jak již bylo řečeno, oko postihuje z hlediska měření celá řada nežádoucích pohybů, a proto je záznam zatížen chybou v podobě kmitání signálu okolo jednoho bodu.

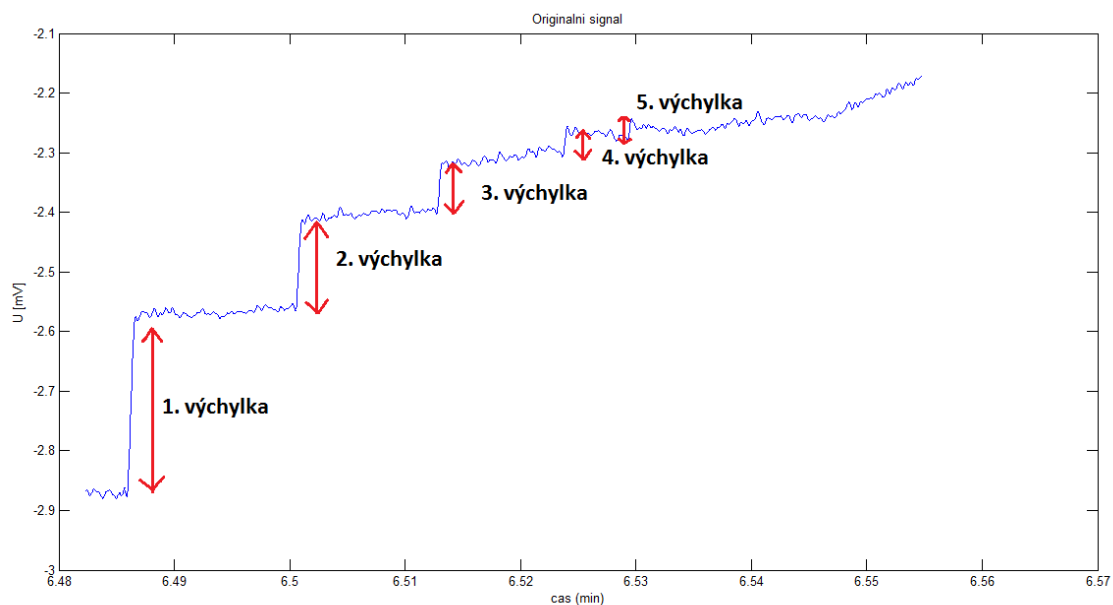
Konec trajektorie by měl navazovat na počátek nebo jej alespoň protnout. Ve většině případů se tak ale nestalo. Chyba by mohla být způsobena rušivými vlivy, pohnutím hlavy měřené osoby či špatně nalepenými elektrodami. Měřená osoba také mohla pohyb nechtěně

„odbýt“, takže se konec trajektorie vzdálil počátku mnohem více. Další průběhy originálních signálů jsou v kapitole 6.1.

4.2 Druhý experiment

Smyslem druhého měření bylo stanovit pozorovací úhel pohybu mezi dvěma body, dokud je výchylka pohybu ještě zaznamatelná. Obrázek 14 ukazuje průběh originálního signálu. Subjekt překmitával z bodu na bod (Obrázek 11), což lze pozorovat jako kladnou výchylku na napěťové ose. Na každém bodě subjekt pohledem určitou chvíli setrval a poté překmitl pohledem na další bod.

Obrázek 14: Originální signál subjektu Ivany_L s vyznačenými výchylkami



Obrázek 14 zachycuje průběh původního signálu s vyznačenými výchylkami. Výchylky jsou z hlediska času okamžité, při přesnosti na tři desetinná místa, protože každá tisícina na ose odpovídá velikosti tří vzorků. První výchylka odpovídá změně pohledu z prvního bodu na druhý, druhá výchylka překmitnutí pohledu z druhého na třetí a tak dále. Setrvání na bodě se nachází v časovém intervalu 0,5 až 1 sekunda. Na signálu se to projeví kolísáním křivky kolem určité hodnoty na napěťové ose, což je pouze šum, takže oči nevykazují cílený pohyb. Protože vzdálenost mezi body se zmenšuje o polovinu, i výchylka napětí se zmenšuje, až se ztratí v šumu. Další průběhy signálů jsou v kapitole 0.

5 Analýza signálů

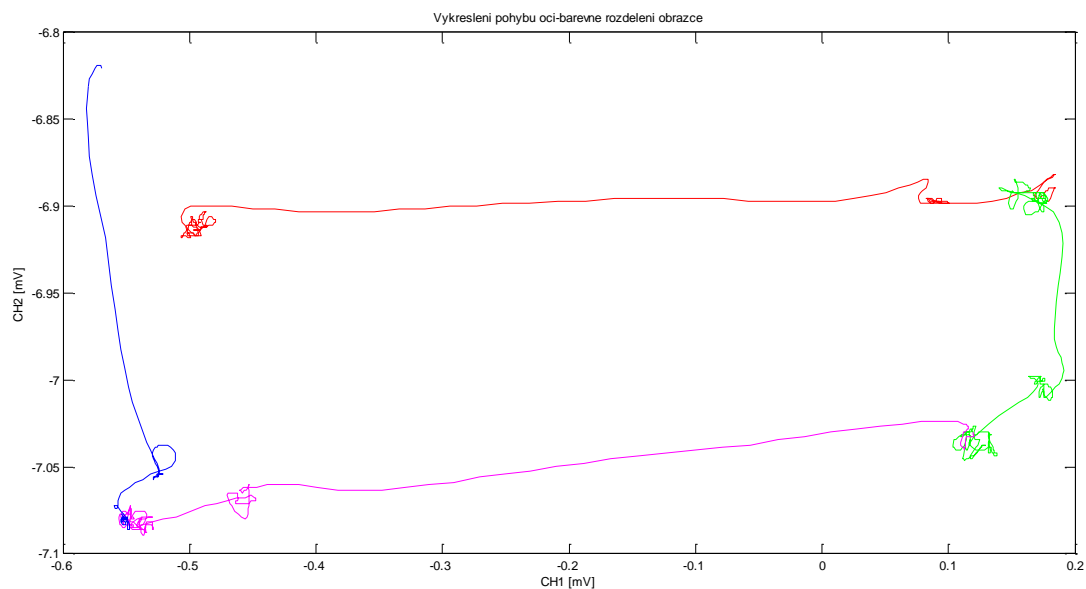
V této kapitole je popsána úprava signálů a jejich výsledná podoba v obou experimentech, provedeno srovnání výsledků mezi měřeními subjekty obou měření a uvedeny pozorovací úhly jednotlivých výchylek signálů u druhého experimentu.

5.1 První experiment

5.1.1 Popis metody

Cílem bylo stanovit směrodatnou odchylku signálu, určit její průměrnou hodnotu a také minimální a maximální odchylku celého signálu. Nejprve je však třeba určit směrodatnou odchylku a průměry jednotlivých hran obdélníku a odchylky poté sečíst. Nejprve byl signál rozdělen barevně na čtyři úseky a v každém úseku byl spočítán průměr a směrodatná odchylka. Barevné rozdělení hran, viz Obrázek 15.

Obrázek 15: Barevné rozdělení hran obrazce



Vzorec pro výpočet
aritmetického průměru:

$$\bar{x} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x_i \quad (5.1)$$

\bar{x} je aritmetický průměr

N je počet prvků

x_i je i-tý prvek

Z prvního úseku signálu, kterým je horní hrana byl spočítán průměr podle vzorce (5.1), označený proměnnou *prumer_HH*. Poté byl vytvořen vektor o délce horní hrany, který nabývá hodnot právě vypočítaného průměru pro horní hranu. Je označen proměnnou *prumer_cara_HH*. Stejný postup byl aplikován na pravou, spodní a levou hranu. Průměry je třeba počítat pro každý úsek zvlášť, neboť u horní hrany (červené) a spodní hrany (fialové) se jedná o průměrování dat z kanálu 2 (CH2), zatímco u pravé (zelené) a levé (modré) hrany se jedná o průměrování dat z kanálu 1 (CH1).

Výpočet průměru a vytvoření vektoru průměrů je v programu MATLAB realizován pomocí cyklu *for*. Tyto cykly jsou čtyři, pro každou hranu jeden.

```
y1=CH1(1:length(CH1)/4);
x1=CH2(1:length(CH2)/4);

prumer_HH = 0;
for i=1:length(x1)
    prumer_HH = prumer_HH+x1(i);
end
prumer_HH=prumer_HH/length(x1);
:
:
prumer_cara_HH=zeros(1,length(y1));
prumer_cara_HH(1,:)=prumer_HH;
```

Po zjištění průměru už lze vypočítat směrodatnou odchylku, která se počítá podle vzorce (5.2). Odchylky jsou také počítány zvlášť pro každý úsek (hranu), neboť, stejně jako u průměrů, je počítáno s daty ze dvou kanálů. Průměry i odchylky se počítají z každého bodu daného vektoru. Odchylky všech hran se nakonec sečtou a je získána celková směrodatná odchylka celého průběhu signálu.

Vzorec pro výpočet směrodatné odchylky:

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \quad (5.2)$$

σ je směrodatná odchylka

n je počet prvků

\bar{x} je aritmetický průměr

x_i je i -tý prvek

Realizace výpočtu směrodatné odchylky v programovém prostředí je opět s pomocí cyklu *for*. Po výpočtu odchylek všech hran jsou tyto odchylky sečteny, převedeny na odchylky v jednotkách vzdálenosti a vyobrazeny s použitím funkce *disp*.

```
smerodch_HH = 0;
for i=1:length(x1)
    smerodch_HH = smerodch_HH+(x1(i)-prumer_HH)^2;
end
```

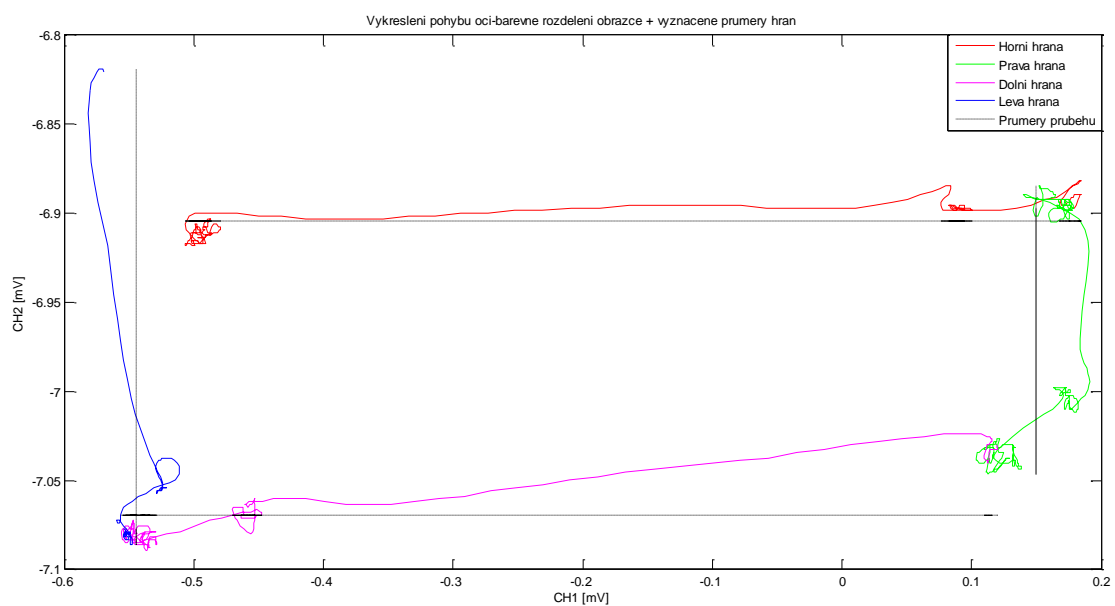
```

smerodch_HH=sqrt((1/length(x1)*smerodch_HH));
:
:
smerodch=smerodch_HH+smerodch_PH+smerodch_SH+smerodch_LH;
smerodch_cm=smerodch*delka;
disp(['Smerodatna odchylka v celem signalu je ',num2str(smerodch),' mV.'])
disp(['Smerodatna odchylka normalizovana na delku v celem signalu je
',num2str(smerodch_cm),' cm.'])

```

Obrázek 16 ukazuje rozdělení obrazce s vyznačenými průměry hran, což jsou vektory označené proměnnou *prumer_cara*. Lze tak pozorovat, jak se signál liší od vektoru průměrů, které reprezentují ideální trajektorii neboli reálnou dráhu, kterou subjekt sledoval.

Obrázek 16: Upravený signál s vyznačenými průměry hran



5.1.2 Statistická analýza

Aby bylo možno provést srovnání mezi signály, je třeba nejprve odchylky normalizovat. Protože signál horní hrany je nejpřesnější a délka reálné vzdálenosti mezi body horní hrany je známa (41 cm), lze tak pomocí znalosti údajů horní hrany převést jednotlivé směrodatné odchylky v jednotkách napětí na jednotky vzdálenosti v cm pomocí vzorce (5.3). Jedná se v podstatě o jednoduchou trojčlenku, kdy je známo, že 41 cm odpovídá určité hodnotě napětí a je hledána vzdálenost pro hodnotu 1 mV. Touto hodnotou se pak už jen vynásobí vypočítaná odchylka. Celková odchylka se získá sečtením odchylek všech hran.

Vzorec pro normalizaci:

$$norm_odch = \frac{41}{del_hrany} \times odch \quad (5.3)$$

norm_odch je

normalizovaná odchylka v
cm

del_hrany je délka hrany v
mV

odch je původní odchylka
v jednotkách mV

Srovnání je prováděno pomocí výše uvedené směrodatné odchylky (vzorec pro výpočet (5.2)). K dispozici je soubor o deseti probandech. Srovnání, kde jsou uvedeny jednotlivé odchylky hran a celková směrodatná i celková normalizovaná odchylka dat jednotlivých osob, je uvedeno v následující tabulce, viz Tabulka 3.

Subjekt	Odchylka HH	Odchylka PH	Odchylka SH	Odchylka LH	Celková směrodatná odchylka [mV]	Normalizovaná směrodatná odchylka signálu [cm]
Ivana L.	0,0093	0,0255	0,0181	0,0172	0,0702	4,292
Jakub Kr.	0,0296	0,0169	0,0574	0,0232	0,127	7,686
Jakub Kv.	0,0406	0,0134	0,0179	0,0140	0,086	6,912
Jana K.	0,0157	0,0110	0,0198	0,0169	0,063	8,075
Markéta P.	0,0319	0,0162	0,0288	0,0091	0,086	6,869
Nikola K.	0,0517	0,0143	0,0148	0,0129	0,094	4,930
Ola P.	0,0194	0,0149	0,0175	0,0207	0,073	11,127
Pavel P.	0,0146	0,0279	0,0351	0,0194	0,097	9,669
Petr M.	0,0460	0,0295	0,0356	0,0203	0,132	10,193
Tomáš N.	0,0229	0,0140	0,0463	0,0131	0,096	6,917

Tabulka 3: Srovnání směrodatných odchylek hran a celkových směrodatných odchylek signálu na souboru probandů (HH-Horní hrana, PH-Pravá hrana, SH-Spodní hrana, LH-Levá hrana)

Průměrná normalizovaná odchylka signálu je 7,667 cm. Nejpřesnější průběh signálu, tedy osoba s nejmenší normalizovanou směrodatnou odchylkou, se vyskytl u osoby Ivana L. s hodnotou 4,292 cm. Naopak nejmenší přesnost vykazuje signál Oly P., jejíž směrodatná odchylka nabývá hodnoty 11,127 cm.

Tyto rozdílné hodnoty jsou dány nejen světelnými a akustickými podmínkami, ale také nesprávným umístěním elektrod či jejich špatným nasazením. Mohlo se totiž stát, že se některá elektroda odlepila. Pro měření také nejsou vhodné osoby s drobným obličejem, protože umístění elektrod je komplikovanější a tak může dojít k jejich nesprávnému umístění.

5.2 Druhý experiment

5.2.1 Popis metody

V této části měření bylo třeba stanovit pozorovací úhel každé zaznamenané výchylky v signálu pro každou měřenou osobu. Aby bylo signály možné srovnávat, musely se signály nejprve normalizovat, protože každá měřená osoba dosahuje na napěťové ose jiných hodnot. Poté byly vyznačeny výchylky a spočtena jejich velikost. Je nutno také zjistit odchylku šumu, aby bylo možné porovnávat výchylky se šumem.

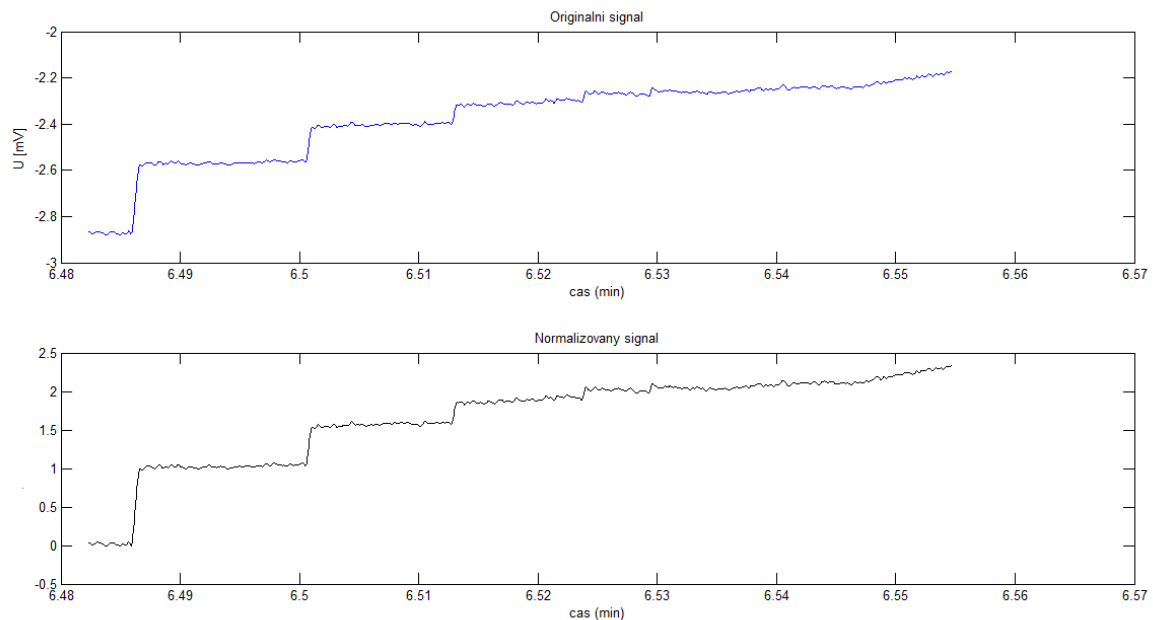
Normalizace signálu spočívá v prohledání signálu s určitým krokem, který určí „citlivost“ prohledávání, a nalezení lokálního minima a maxima. Po normalizaci pak bude mít první výchylka u všech signálů velikost jedna, tedy první lokální minimum signálu se bude nacházet na hodnotě 0 mV. Samotná normalizace je pak realizována ve dvou cyklech, kdy nejprve je od každého prvku původního signálu odečteno minimum a následně jsou všechny prvky takto upraveného signálu vyděleny maximem.

```
krok_index=10;
pom_index=krok_index+1;
prah_val=0.1;

while abs(CH1(pom_index)- CH1(pom_index-krok_index)) < prah_val
    pom_index=pom_index+krok_index;
end
min_index=pom_index-2*krok_index;
max_index=pom_index-2*krok_index;
for i=pom_index-2*krok_index:1:pom_index+krok_index
    if CH1(min_index)>CH1(i)
        min_index=i;
    end
    if CH1(max_index)<CH1(i)
        max_index=i;
    end
end
norm_sig=[];
min_val=CH1(min_index);
for j=1:1:length(CH1)
    norm_sig(j)=CH1(j)-min_val;
end
max_val=norm_sig(max_index);
for k=1:1:length(CH1)
    norm_sig(k)=norm_sig(k)/max_val;
end
```


Pomocí proměnné *krok_index* bylo možno měnit krok prohledávání signálu. Velikost výchylek po normalizaci je sice změněna, ale je zachován poměr jejich velikostí. Všechny první výchytky mají velikost jedna (1mV na napěťové ose) a další výchytky se zmenšují s původním poměrem velikostí. Signál před a po normalizaci ukazuje Obrázek 17.

Obrázek 17: Původní a normalizovaný signál subjektu Ivany L



Dále bylo třeba zjistit odchylku šumu. Bylo počítáno s konstantním šumem, tedy byly nalezeny pouze lokální maxima a minima první části signálu před první výchytkou. Programová realizace ve dvou podmínkách zanořených v cyklu, kdy se hledalo minimum a maximum, která byla nakonec odečtena. Odchylka šumu se násobí vhodným číslem, aby měl šum větší rozptyl.

```
sum_max_val=norm_sig(1);
sum_min_val=norm_sig(1);
for i=1:min_index
    if sum_max_val<norm_sig(i)
        sum_max_val=norm_sig(i);
    end
    if sum_min_val>norm_sig(i)
        sum_min_val=norm_sig(i);
    end
end
prah_val= abs(sum_max_val-sum_min_val)*1.35
```

Nakonec bylo ještě třeba určit velikost výchylek. Realizace spočívá v prohledávání normalizovaného signálu. Pokud je překročena jeho délka, prohledávání se ukončí. Protože neznáme hodnotu výchytky, která se ztratila v šumu, bylo třeba navrhnout algoritmus tak, aby se ukončil, když „přeteče“. Nepřipadá zde v úvahu jakákoliv filtrace, například dolní propustí,

neboť by došlo ke ztrátě šumu a výchyly vzniklé pohybem oka by nebylo s čím porovnávat. Místo toho je šum zachován a je zjištěno jeho rozpětí (velikost). Pokud už není výchylnka překmitnutí detekována, znamená to, že její velikost je menší, než je velikost šumu. Pro přehlednost jsou pak pomocí vykreslení proměnných *val_prahy* a *cas_prahy* vyznačeny výchyly překmitnutí červenými křížky.

```

naselzlom=1;
while naselzlom==1
    pom_index=max_index+1+krok_index;

    while pom_index<=length(norm_sig) && abs(norm_sig(pom_index)-
norm_sig(pom_index-krok_index)) < prah_val
        pom_index=pom_index+krok_index;
    end

    if pom_index>length(norm_sig)
        naselzlom=0;
    else

        min_index=pom_index-2*krok_index;
        max_index=pom_index-2*krok_index;
        for i=pom_index-2*krok_index:1:pom_index+krok_index
            if norm_sig(min_index)>norm_sig(i)
                min_index=i;
            end
            if norm_sig(max_index)<norm_sig(i)
                max_index=i;
            end
        end

        cas_prahy(end+1)=x1(min_index);
        val_prahy(end+1)=norm_sig(min_index);
        cas_prahy(end+1)=x1(max_index);
        val_prahy(end+1)=norm_sig(max_index);
    end
end
end

```

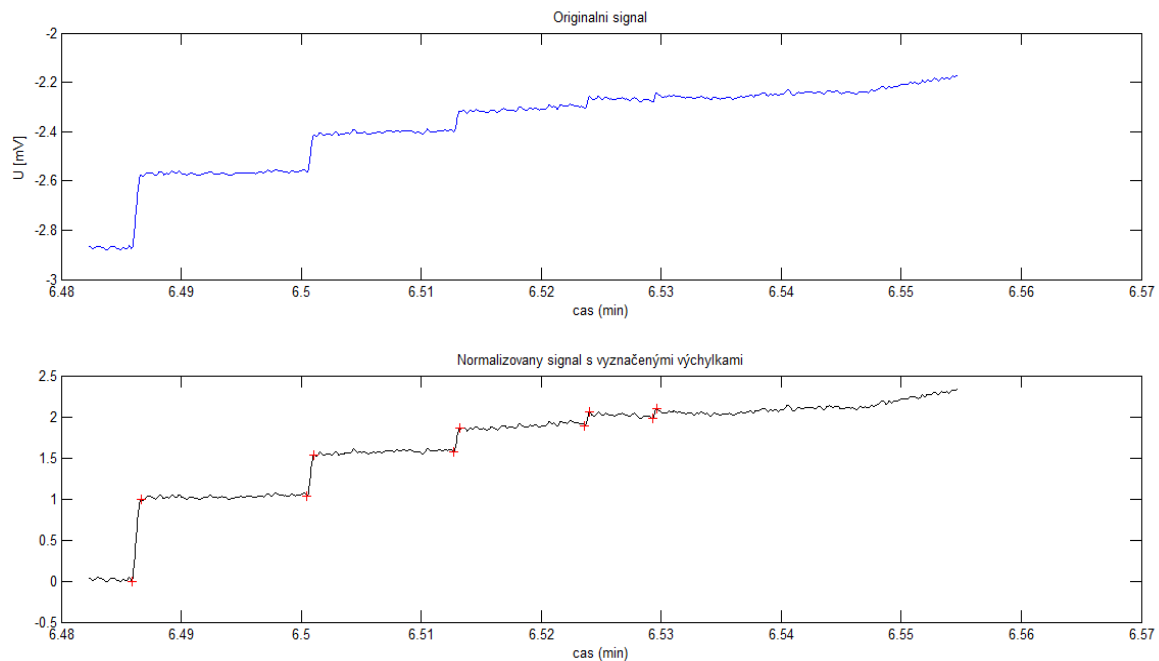
Obrázek 18 ukazuje normalizovaný signál s vyznačenými výchyly. Protože hodnoty maxim a minim, které určují počáteční a koncový bod výchyly, jsou seřazeny podle času, není tak problém pro každou výchyly tyto body od sebe odečíst a vypsát velikost výchyly. Velikost jednotlivých výchyly je uložena v proměnné *vel_vych* a na konci je pomocí příkazu *disp* vypsána hodnota odchylek *i* s odchylekou šumu. Protože cyklus se pohybuje s krokem 2 od jedné, je třeba před vypsáním vybrat pouze liché prvky vektoru.

```

vel_vych=[];
for i=1:2:length(val_prahy)
    vel_vych(i)=val_prahy(i+1)-val_prahy(i);
end
vel_vych(2:2:end)=[];
disp(['Velikost odchylek sumu je: ', num2str(prah_val)]);
disp([' ']);
disp(['Velikost vychylek je: ', num2str(vel_vych)]);

```

Obrázek 18: Originální a normalizovaný signál s vyznačenými výchytkami



5.2.2 Statistická analýza

Protože jsou signály normalizovány, lze provést srovnání. Výsledky měření jednotlivých subjektů jsou uvedeny v tabulce, viz Tabulka 4. Po normalizaci je velikost první výchytky, která představuje pohyb očí z prvního na druhý bod, jedna. Další jsou menší v daném poměru podle vzdáleností bodů. Jelikož vzdálenost mezi body postupně klesala vždy o půlku z předchozí vzdálenosti bodů, měla by i další odchylka být o polovinu menší než předchozí. V praxi odchylka nabývala hodnot lišících se od této ideální hodnoty. Ne všechny průběhy dosáhly páté výchytky, je to dáno větším zašuměním signálu, ale také vlastnostmi měření, jako jsou podmínky v laboratoři, zrakové vlastnosti subjektu či správnost upevnění elektrod.

Subjekt	1. výchylka	2. výchylka	3. výchylka	4. výchylka	5. výchylka	Velikost šumu
Ideální měření	1	0,5	0,25	0,125	0,0625	0
Ivana L.	1	0,49697	0,28444	0,17004	0,12451	0,07786
Jakub Kř.	1	0,55127	0,35256	0,18694	0,11430	0,093597
Jakub Kv.	1	0,49649	0,32624	-	-	0,16454
Jana K.	1	0,49306	0,29168	-	-	0,10558
Markéta P.	1	0,47124	0,24711	0,27585	-	0,13966
Nikola K.	1	0,59441	0,27972	0,13985	0,076925	0,05956
Ola P.	1	0,45038	0,24285	0,34395	-	0,19863
Pavel P.	1	0,52518	0,24748	-	-	0,21137
Petr M.	1	0,56068	0,26648	0,15831	-	0,08760
Tomáš N.	1	0,54347	0,34062	-	-	0,22874

Tabulka 4: Srovnání signálů mezi skupinou probandů a ideálním měřením

Protože je známa velikost ideálních výchylek v signálu, lze spočítat směrodatnou odchylku jednotlivých výchylek. Byla počítána podle vzorce (5.2). Směrodatné odchylky jsou uvedeny v tabulce, viz Tabulka 5.

Subjekt	SO 2. výchylky	SO 3. výchylky	SO 4. výchylky	SO 5. výchylky
Ideální měření	0	0	0	0
Ivana L.	9,582E-04	1,089E-02	1,424E-02	1,961E-02
Jakub Kř.	1,621E-02	3,243E-02	1,959E-02	1,638E-02
Jakub Kv.	1,110E-03	2,411E-02	-	-
Jana K.	2,195E-03	1,318E-02	-	-
Markéta P.	9,095E-03	9,139E-04	4,770E-02	-
Nikola K.	2,986E-02	9,398E-03	4,696E-03	4,562E-03
Ola P.	1,569E-02	2,261E-03	6,924E-02	-
Pavel P.	7,963E-03	7,969E-04	-	-
Petr M.	1,919E-02	5,211E-03	1,053E-02	-
Tomáš N.	1,375E-02	2,866E-02	-	-

Tabulka 5: Směrodatné odchylky jednotlivých výchylek vzhledem k ideálnímu měření (SO je směrodatná odchylka)

5.2.3 Výpočet úhlu

Výpočet úhlu byl prováděn na základě vzorce (3.1). Vzdálenost |21|, tedy vzdálenost mezi subjektem a monitorem, je pro všechny osoby stejná a její velikost je 40 cm. Vzdálenost |23|, tedy vzdálenost mezi dvěma body, je v případě 1. výchyly 18 cm a každá další vzdálenost je polovina z předchozí. Pro každou výchytku je uveden pozorovací úhel a vzdálenost mezi body (Tabulka 6).

	1. výchytky	2. výchytky	3. výchytky	4. výchytky	5. výchytky
Vzdálenost mezi body [cm]	18	9	4,5	2,25	1,125
Pozorovací úhel [°]	24,22774532	12,68038349	6,41878673	3,219494897	1,611019108
Počet osob, které docílily dané výchytky	10	10	10	6	3

Tabulka 6: Pozorovací úhly pro jednotlivé výchytky

Přestože se reálné vzdálenosti nemění, pro jednotlivé subjekty se pozorovací úhly liší, neboť se liší jejich trajektorie, což je třeba zahrnout do výpočtu. Při hodnocení z hlediska směrodatné odchylky každé výchytky má pozorovací úhel pro reálnou měřenou osobu určité rozpětí, které je dáno velikostí dvojnásobku směrodatné odchylky, přičemž hodnota vypočteného pozorovacího úhlu ideálního měření leží uprostřed tohoto rozpětí. Hodnoty jednotlivých rozpětí pozorovacích úhlů na souboru měřených osob jsou uvedeny v tabulce (Tabulka 7).

Nejnižší dosažený pozorovací úhel je 1,59°. Pouze tři subjekty dosáhly pozorovacího úhlu, který odpovídá páté výchytky. Šest subjektů dosáhlo pozorovacího úhlu, který odpovídá čtvrté výchytky, s nejnižší hodnotou 3,15°. Třetí, druhé a první výchytky dosáhly všechny měřené osoby. Kvůli normalizaci má první výchytky pro všechny osoby stejný pozorovací úhel. V kapitole 2.1.1 je uvedeno, že přesnost elektrookulografie je v řádech jednotek stupňů, což odpovídá naměřeným výsledkům, neboť pozorovacího úhlu, který by měl menší řád než jednotky stupňů, nebylo dosaženo.

Výsledky závisí také na volbě vzdálenosti mezi osobou a monitorem. Pokud by však byla tato vzdálenost příliš velká, jednotlivé výchytky by byly naopak malé a v krajním případě vůbec nezaznamenatelné, takže by nebylo možné určit pozorovací úhly. Naopak při moc malé vzdálenosti mezi osobou a monitorem by byly výchytky příliš velké a pravděpodobně i zkresleny jinými elektromyografickými signály vzniklými při usilovném pohybu očí.

Subjekt	Meze odchytky	Pozorovací úhel 2. výchytky [°]	Pozorovací úhel 3. výchytky [°]	Pozorovací úhel 4. výchytky [°]	Pozorovací úhel 5. výchytky [°]
Ideální měření	-	12,68038	6,41879	3,21949	1,61102
Ivana L.	dolní mez	12,67943	6,40790	3,20525	1,59141
	horní mez	12,68134	6,42968	3,23374	1,63063
Jakub Kř.	dolní mez	12,66417	6,38635	3,19991	1,59464
	horní mez	12,69660	6,45122	3,23908	1,62740
Jakub Kv.	dolní mez	12,67927	6,39468	-	-
	horní mez	12,68149	6,44290	-	-
Jana K.	dolní mez	12,67819	6,40561	-	-
	horní mez	12,68258	6,43197	-	-
Markéta P.	dolní mez	12,67129	6,41787	3,17179	-
	horní mez	12,68948	6,41970	3,26720	-
Nikola K.	dolní mez	12,65053	6,40939	3,21480	1,60646
	horní mez	12,71024	6,42819	3,22419	1,61558
Ola P.	dolní mez	12,66469	6,41653	3,15026	-
	horní mez	12,69607	6,42105	3,28873	-
Pavel P.	dolní mez	12,67242	6,41799	-	-
	horní mez	12,68835	6,41958	-	-
Petr P.	dolní mez	12,66119	6,41358	3,20896	-
	horní mez	12,69957	6,42400	3,23003	-
Tomáš N.	dolní mez	12,66664	6,39013	-	-
	horní mez	12,69413	6,44744	-	-

Tabulka 7: Pozorovací úhly jednotlivých výchytek pro soubor měřených osob

Závěr

Cílem této práce bylo seznámit se s fyziologií očí a očních svalů, které souvisí s jejich pohybem, a nastudovat problematiku snímání pohybů očí.

Praktickou částí byl návrh a uskutečnění dvou experimentů s použitím metody elektrookulografie. Samotné měření bylo zatíženo mnoha chybami, které vznikají v důsledku špatného kontaktu elektrody s pokožkou, rušivými vlivy v podobě pohybu jiných svalů měřené osoby, mluvením, mrkáním a nežádoucími zrakovými a sluchovými podněty. Měření bylo provedeno na skupině deseti osob, aby bylo možno porovnávat a provést statistickou analýzu.

Prvním experimentem bylo zjištění odchylky naměřeného signálu od ideálního průběhu. Měřená osoba opsala očima určitý obrazec, kterým byl obdélník. Byla zjišťována odchylka této trajektorie, která je dána daty naměřeného signálu, od ideálních průběhů signálu. Výsledky byly normalizovány na jednotku délky, neboť až po převedení napětí na délku lze mezi sebou výsledky porovnat, protože každá osoba dosahuje jiných napěťových hodnot.

Druhým experimentem bylo zjištění pozorovacího úhlu při překmitnutí pohledu mezi dvěma body, jejichž vzdálenost se postupně zmenšuje. Nejprve bylo nutno detekovat výchylky v každém v signálu a zjistit jejich počet, než se zmenší natolik, že se ztratí v šumu. Pro vzájemné srovnání byly signály normalizovány. Poté byly určeny směrodatné odchylky pro každou výchylku. Velikosti směrodatných odchylek pak bylo využito při stanovení velikosti reálného pozorovacího úhlu.

Naměřená data byla zpracovávána v programovém prostředí MATLAB. Zdrojový kód se pro jednotlivé měřené osoby liší pouze v nastavení různých parametrů, jako jsou například prahové hodnoty, velikost kroku prohledávání signálu či hodnoty délek vektorů vzorků.

Použitá literatura a prameny

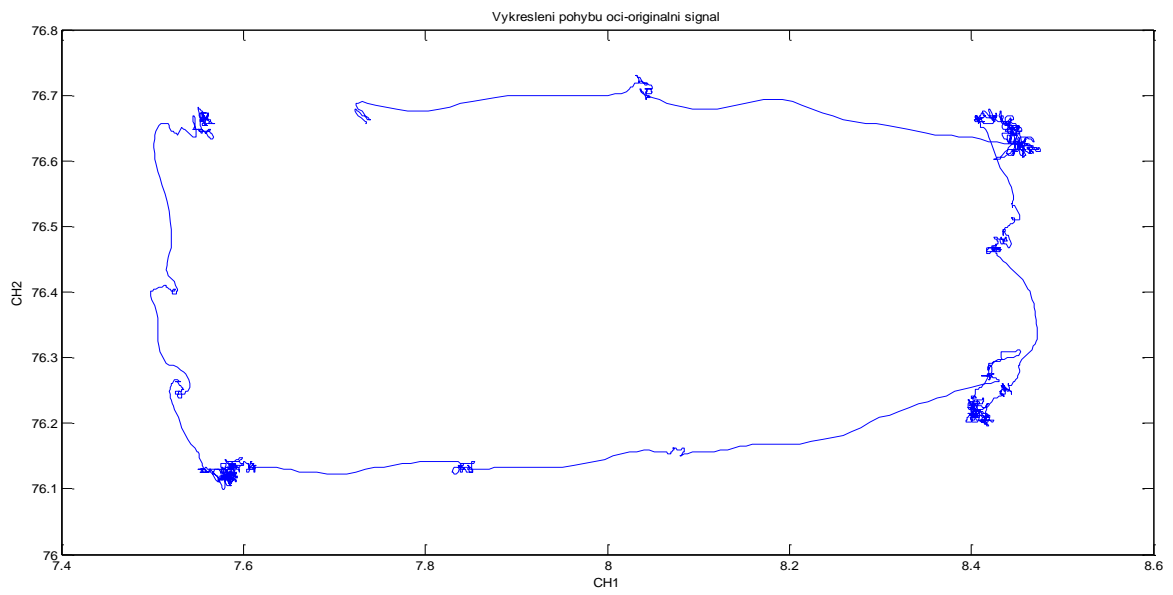
- [1] Hrazdira, I., Mornstein, V. Lékařská biofyzika a přístrojová technika. Brno: NEPTUN, 2001
- [2] Wilhelm, Z., a kol. Stručný přehled fyziologie člověka pro bakalářské obory. Brno: Masarykova univerzita, 2010
- [3] Holibková, A., Laichman, S. Přehled anatomie člověka. Olomouc: Univerzita Palackého, 2010
- [4] CHMELAŘ, M. Lékařská přístrojová technika. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 1995
- [5] HONZÍKOVÁ, N., HONZÍK, P. Biologie člověka. Brno: VUTIUM, 2000
- [6] MP systém BIOPAC Hardware Guide, 2004
- [7] Reichl, J., Všetická, M., Encyklopedie fyziky, online, dostupné z: <http://fyzika.jreichl.com/main.article/view/486-stavba-oka>
- [8] Kvapilíková, K., Anatomie a embryologie oka. Brno: 2010
- [9] Fejgl, M., Fokusace očí na charakteristické prvky vizuálního vjemu, diplomová práce. Brno: 2011
- [10] Syka, J., Voldřich, L., Vrabec, F., Fyziologie a patofyziologie oka a vidění. Praha: Avicentrum, 1981
- [11] Studijní materiál Elektrokulografie - stažený z webových stránek, dostupné z: www.zsf.jcu.cz/structure/departments/kkl/manual-frvs/08_elektrokulografie.pdf
- [12] Druhy elektrod používané v medicíně, online, dostupné z: http://cs.wikipedia.org/wiki/Elektroda#Elektrody_pou.C5.BE.C3.ADvan.C3.A9_v_medic.C3.ADn.C4.9B
- [13] Barea R., Boquete L., Mazo M., López E. Systém pro asistovaný pohyb s využitím pohybu očí, online, dostupné z: <http://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=1178091>

6 Přílohy

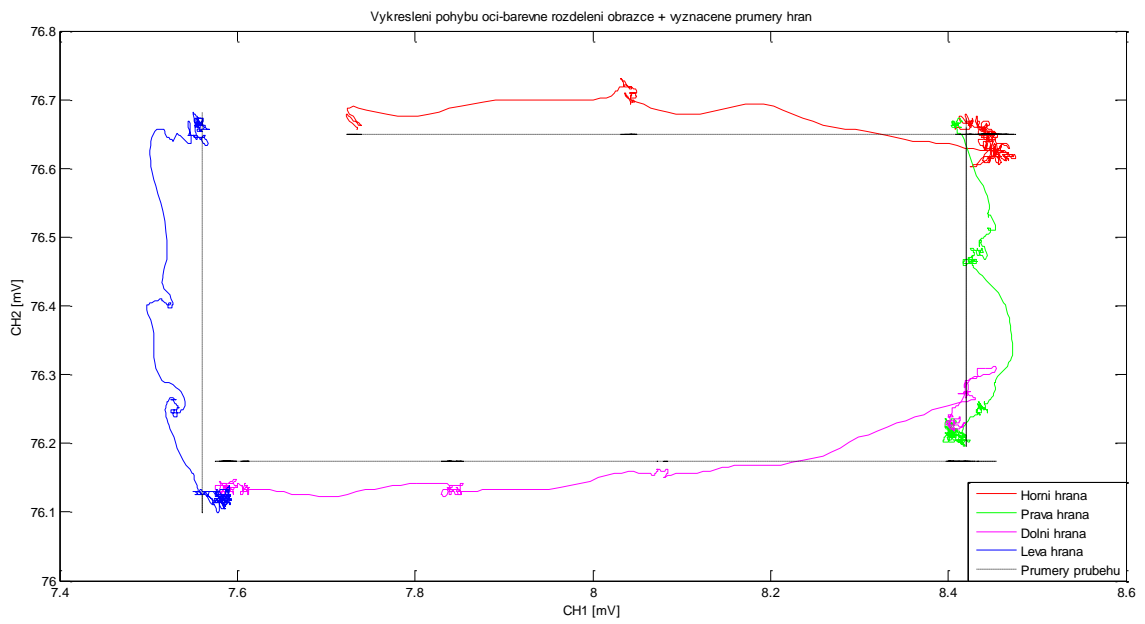
Na CD jsou přiloženy obrázky originálních a upravených průběhů signálů jednotlivých osob pro oba experimenty, které jsou taktéž uvedeny v přílohách. Dále se zde nachází všechny programové i textové soubory, na každou měřenou osobu dva soubory textové a dva soubory programové, protože experimenty jsou dva. Textové soubory jsou zdroje naměřených dat. Programové soubory s příponou mat jsou soubory programu MATLAB (verze 2009b). Po otevření souboru se skript v programu spouští tlačítkem „Play“ a dojde k vykreslení a vypsání výsledků.

6.1 První experiment

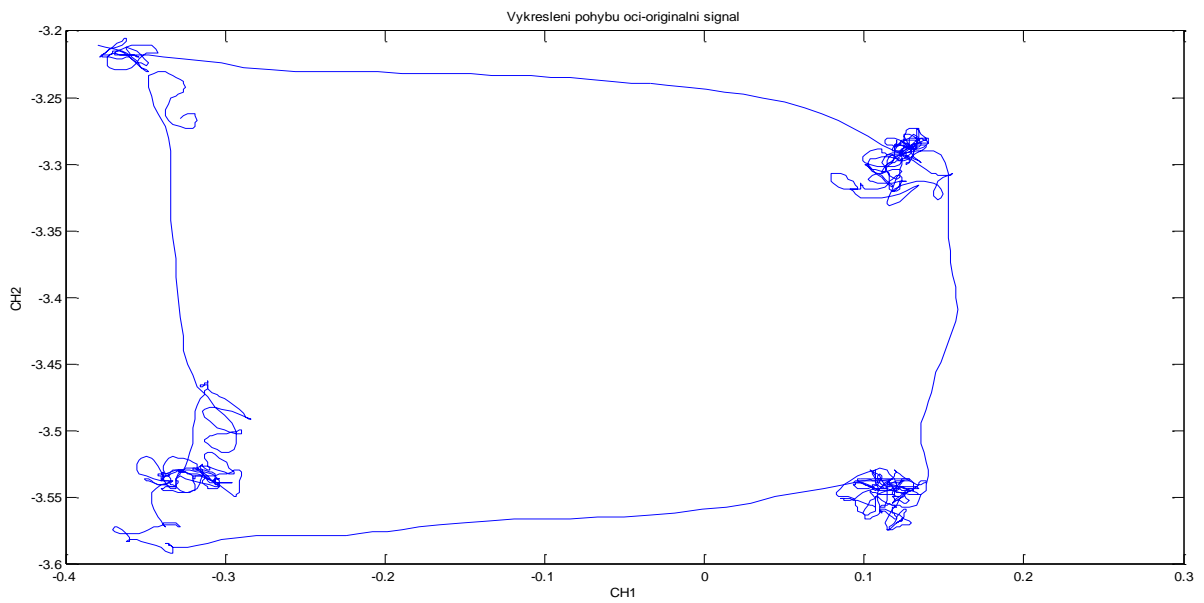
Obrázek 19: Originální průběh Jakub Kř.



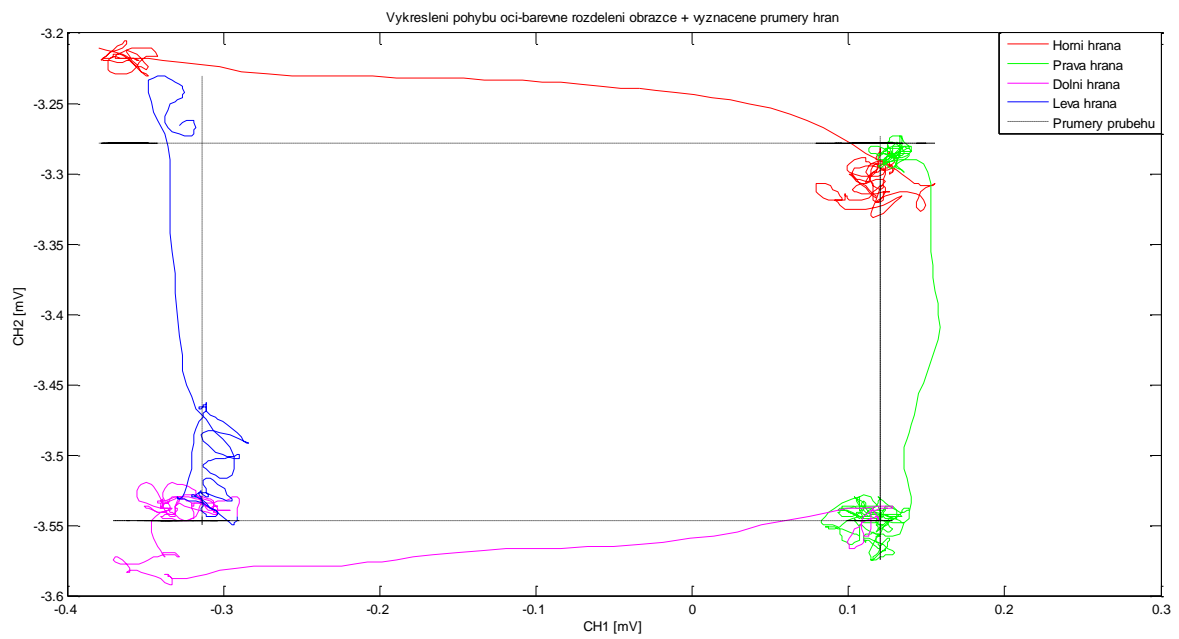
Obrázek 20: Průběh upraveného signálu Jakub Kř.



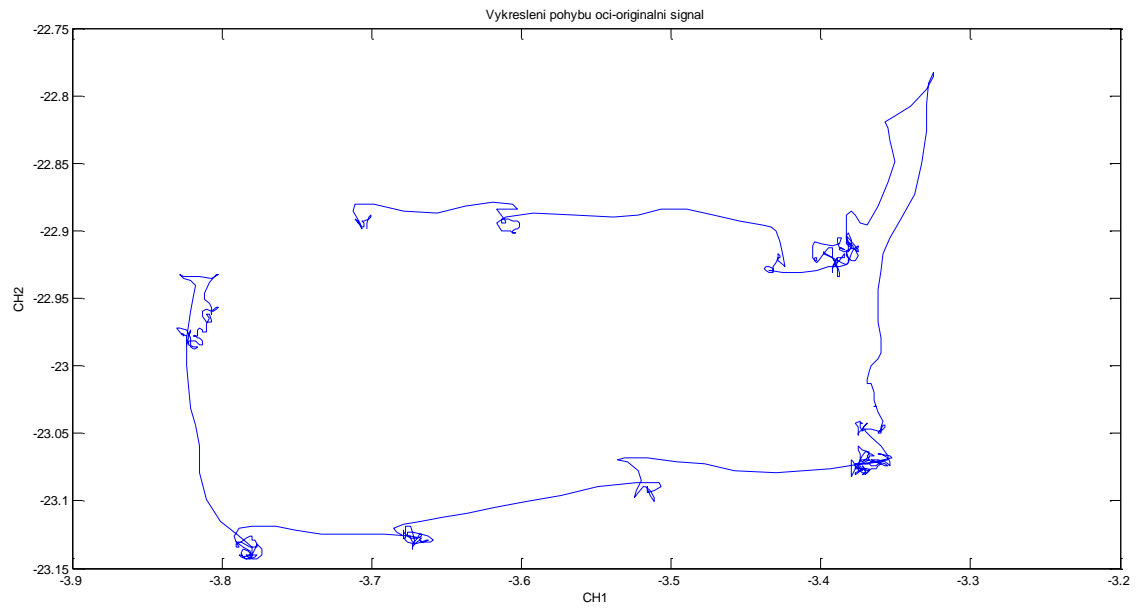
Obrázek 21: Originální průběh Jakub Kv.



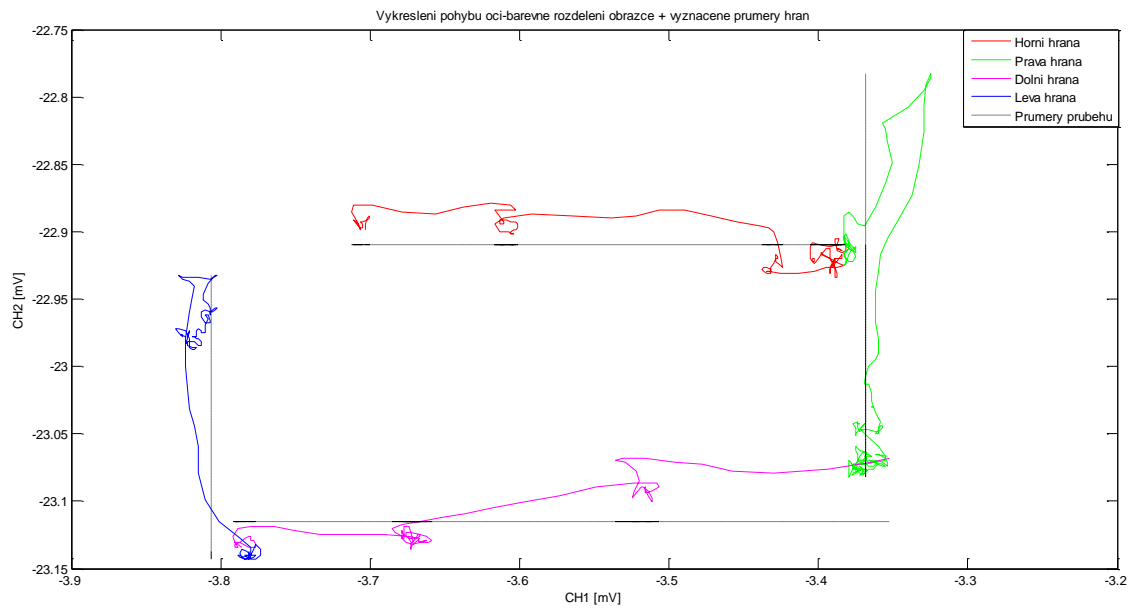
Obrázek 22: Upravený průběh Jakub Kv.



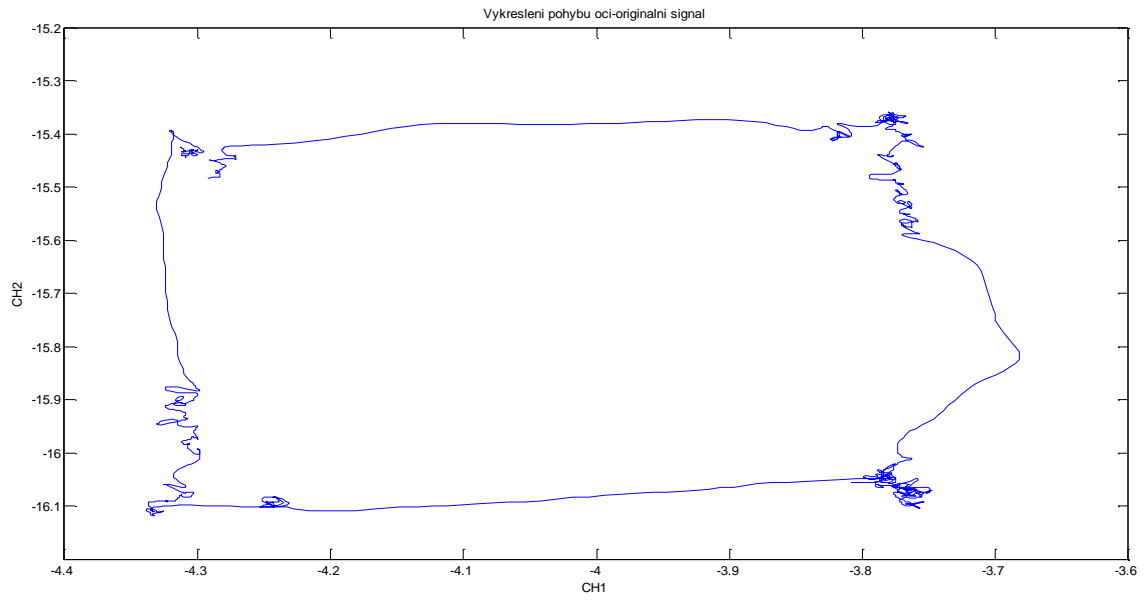
Obrázek 23: Originální průběh Jana K.



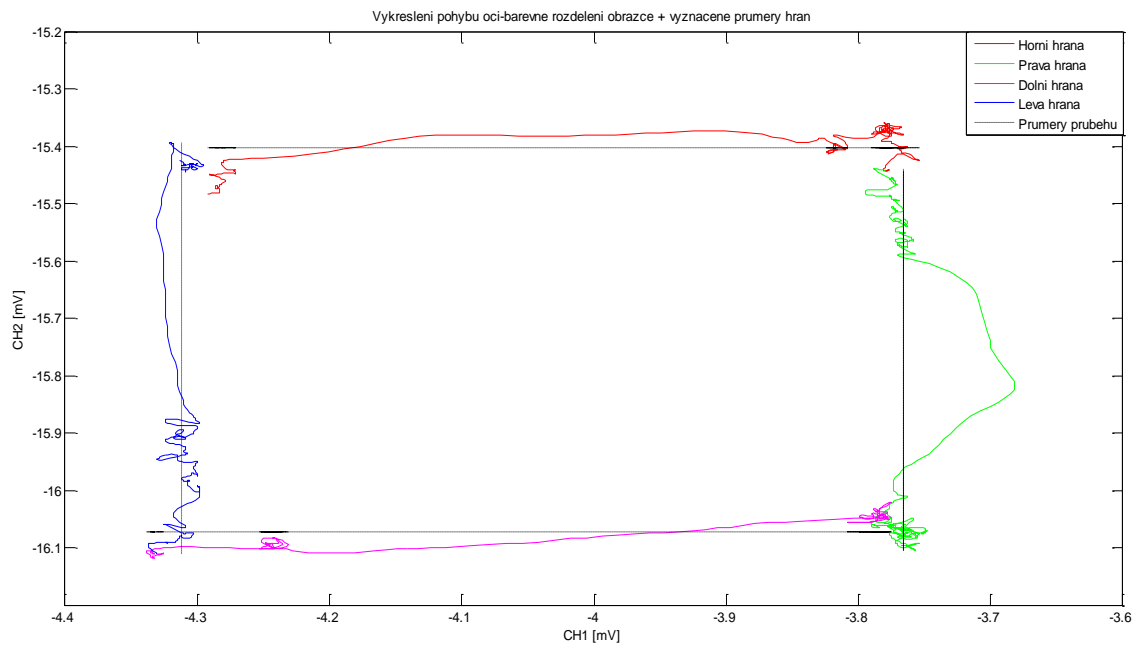
Obrázek 24: Upravený průběh Jana K.



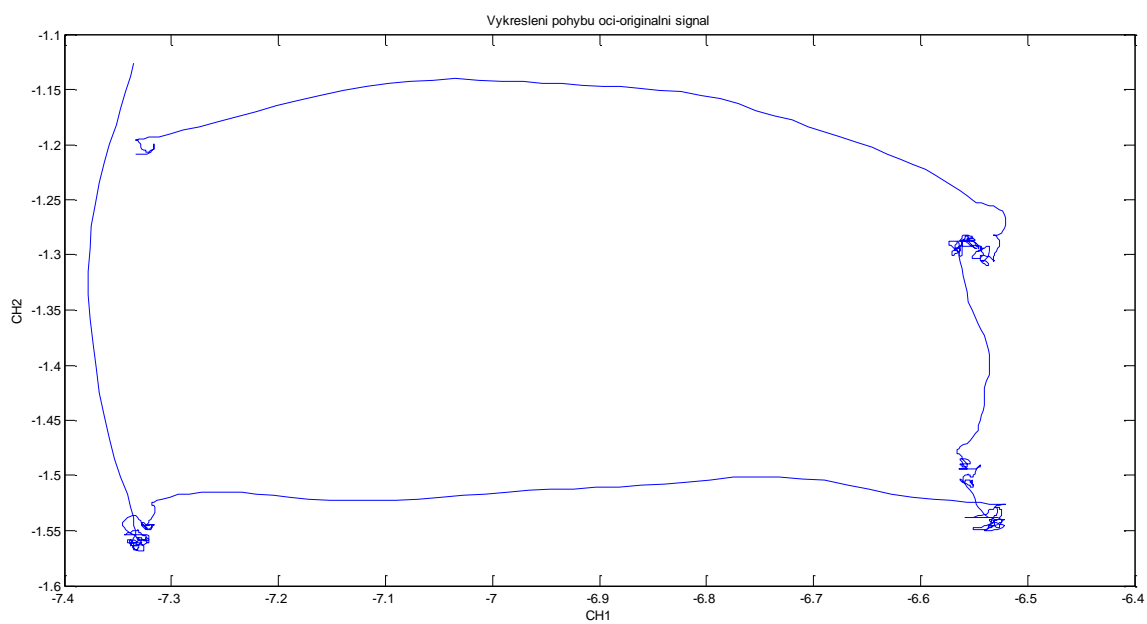
Obrázek 25: Originální průběh Markéta P.



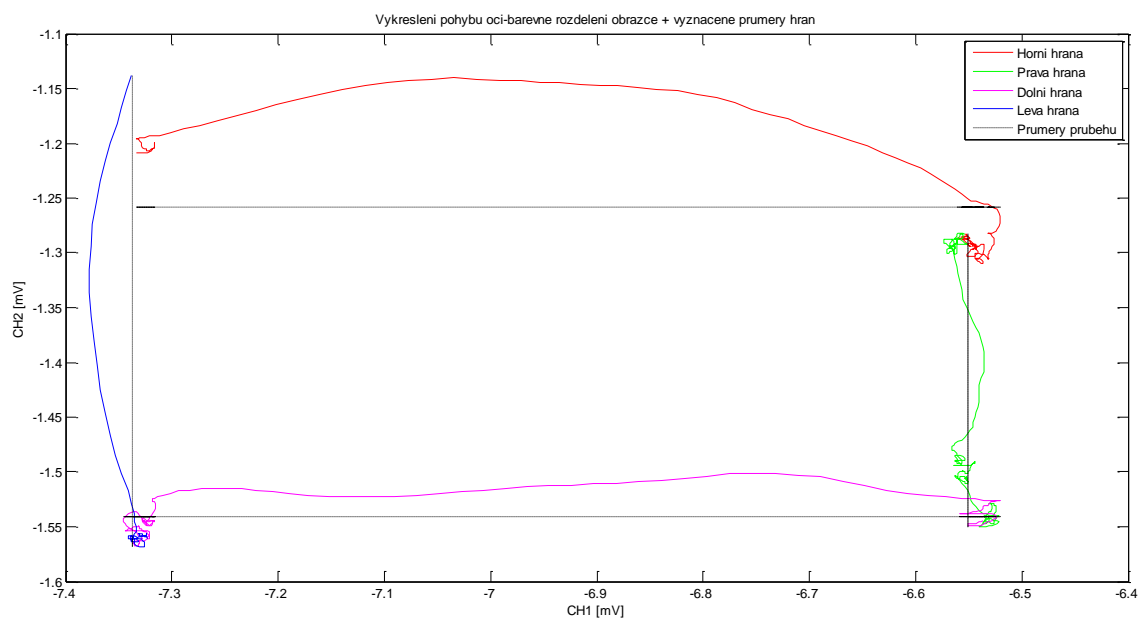
Obrázek 26: Upravený průběh Markéta P.



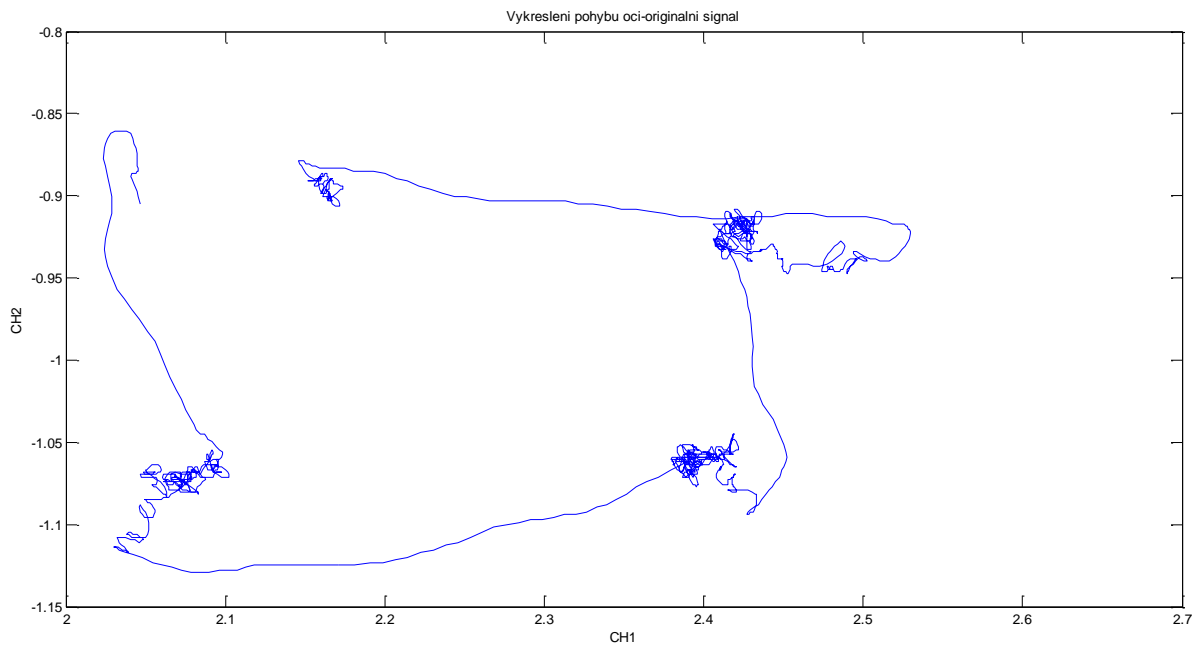
Obrázek 27: Originální průběh Nikola K.



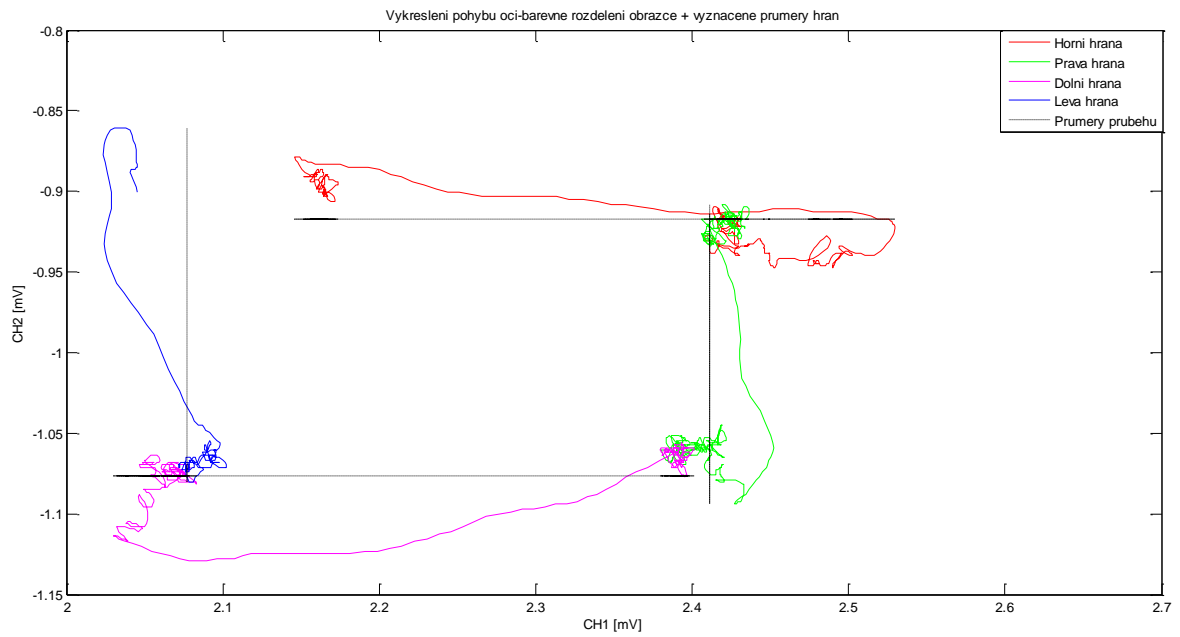
Obrázek 28: Upravený průběh Nikola K.



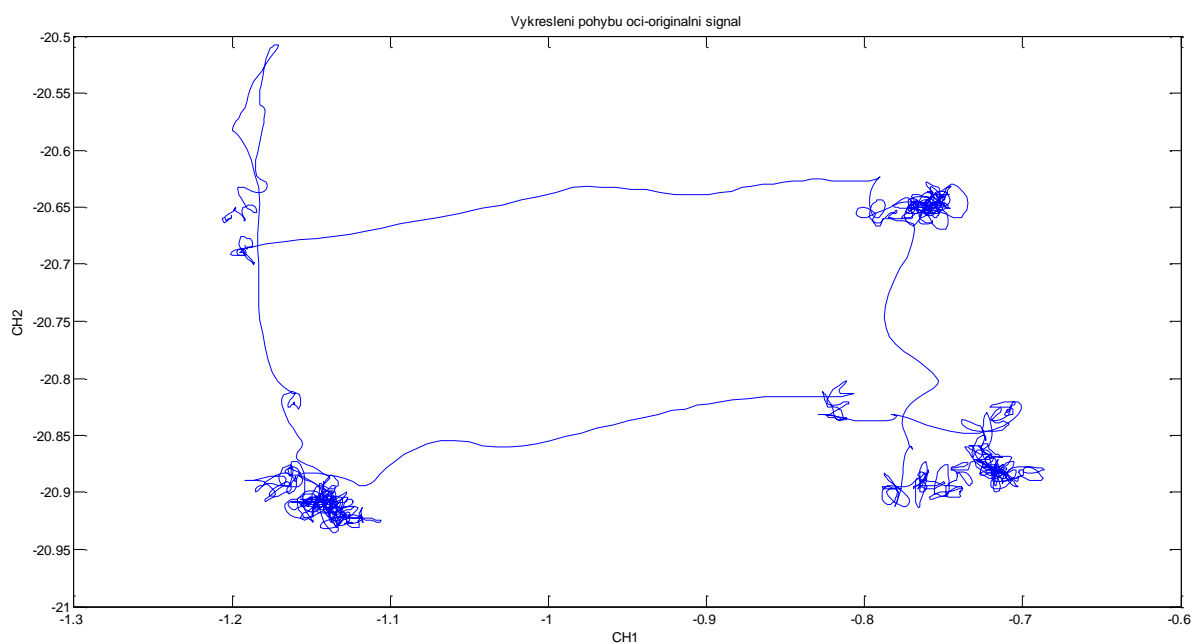
Obrázek 29: Originální průběh Ola P.



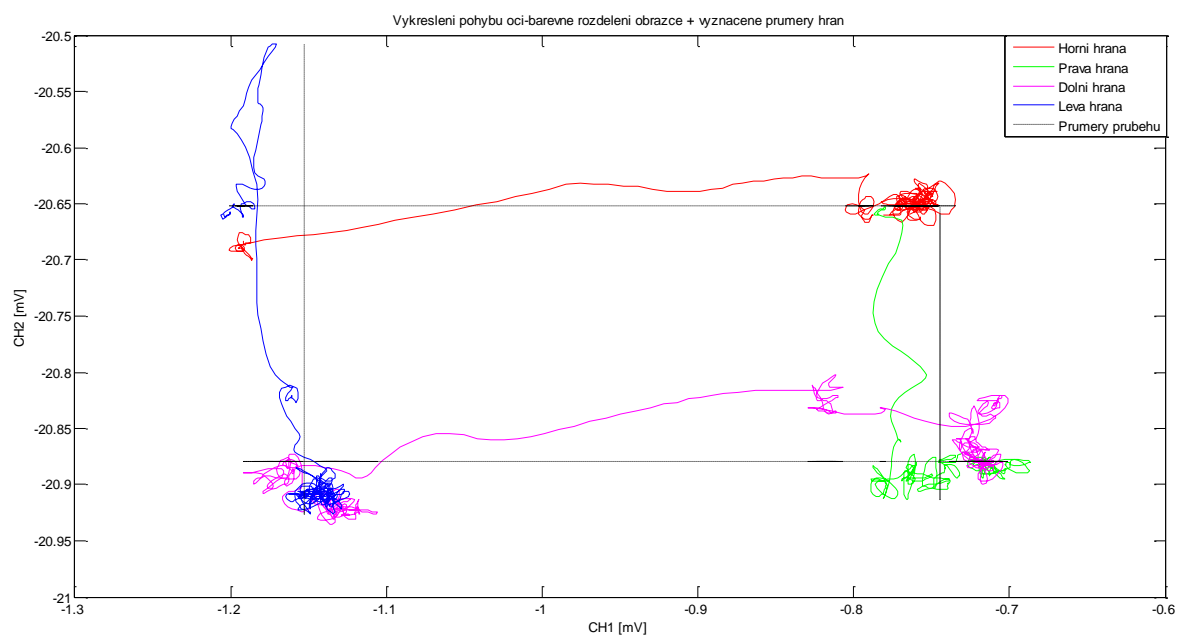
Obrázek 30: Upravený průběh Ola P.



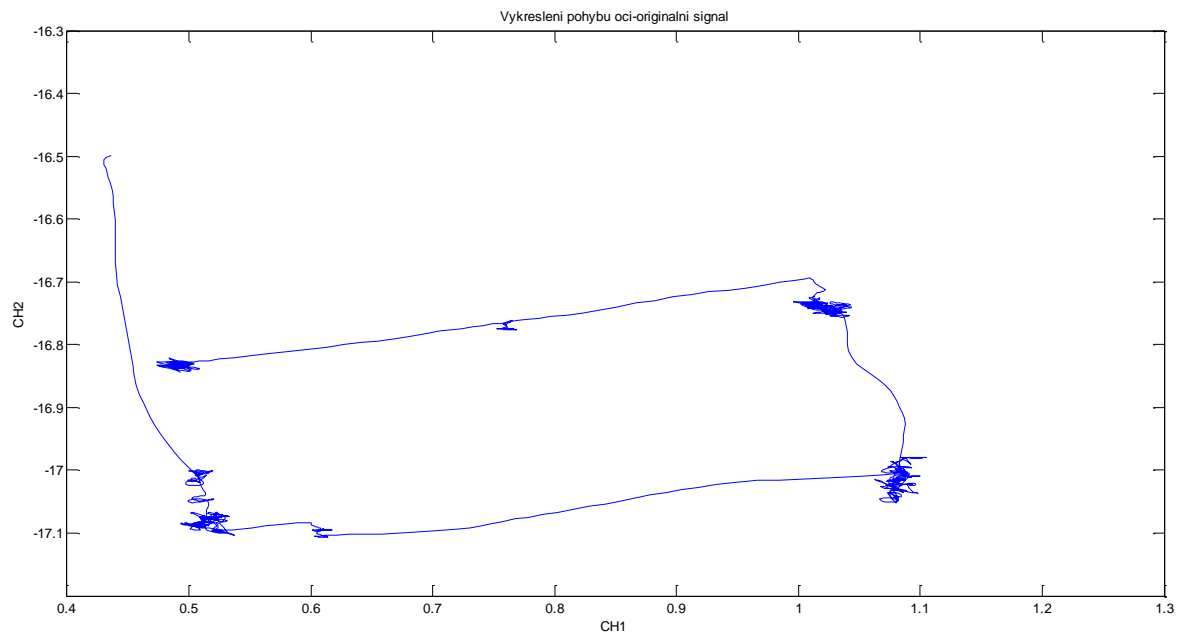
Obrázek 31: Originální průběh Pavel P.



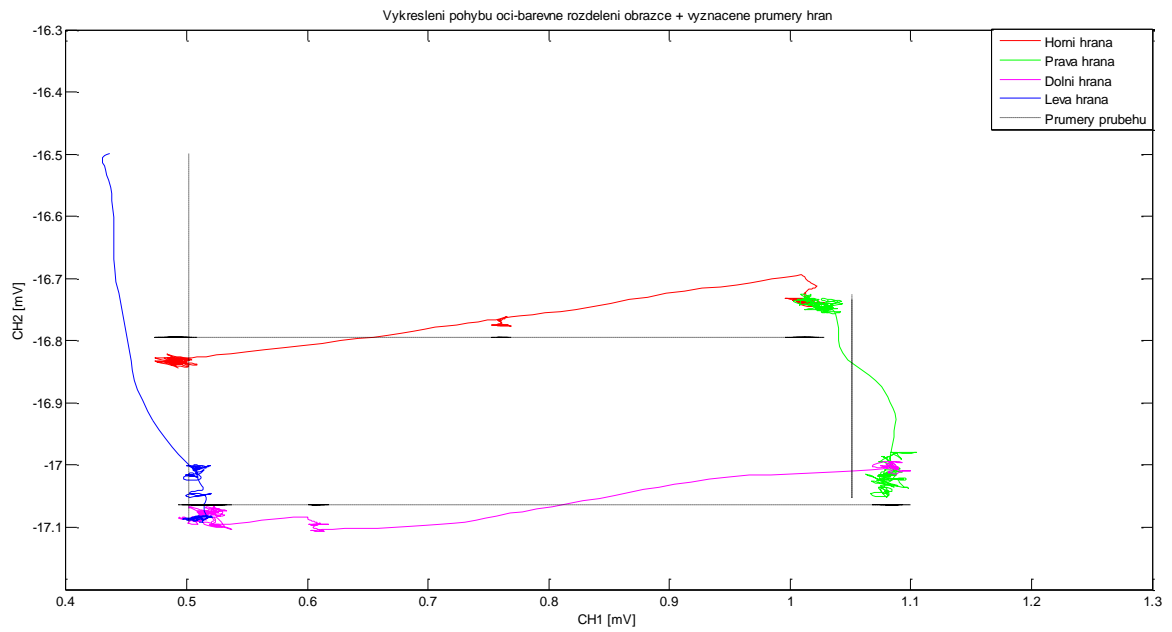
Obrázek 32: Upravený průběh Pavel P.



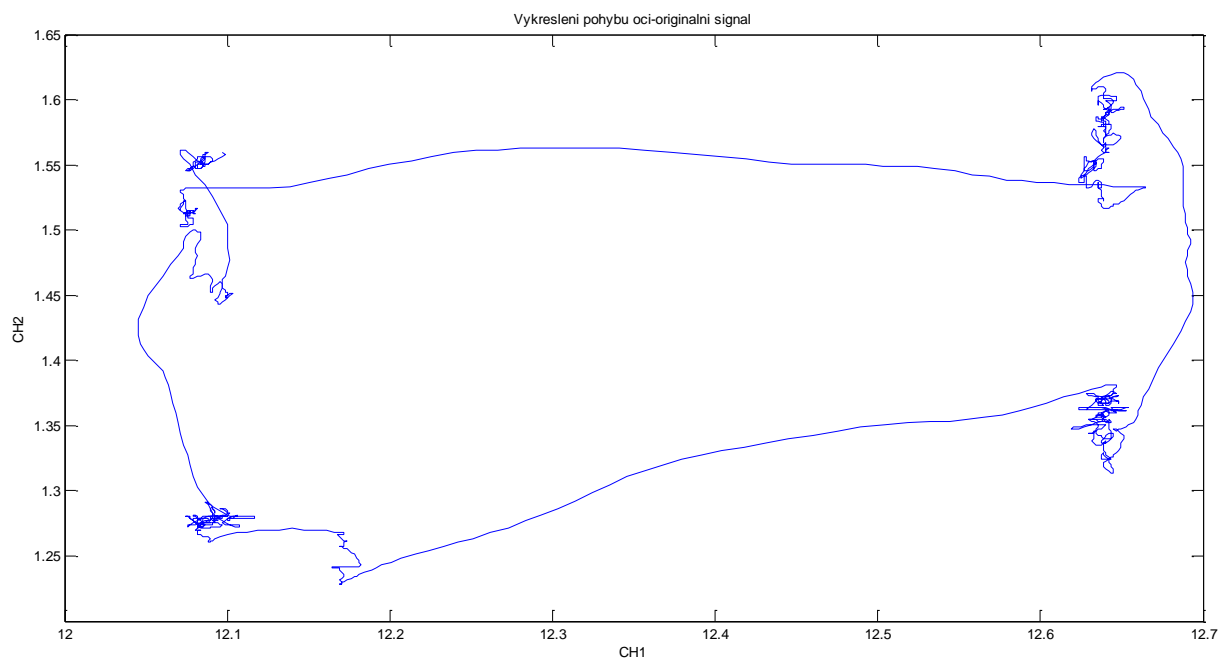
Obrázek 33: Originální průběh Petr M.



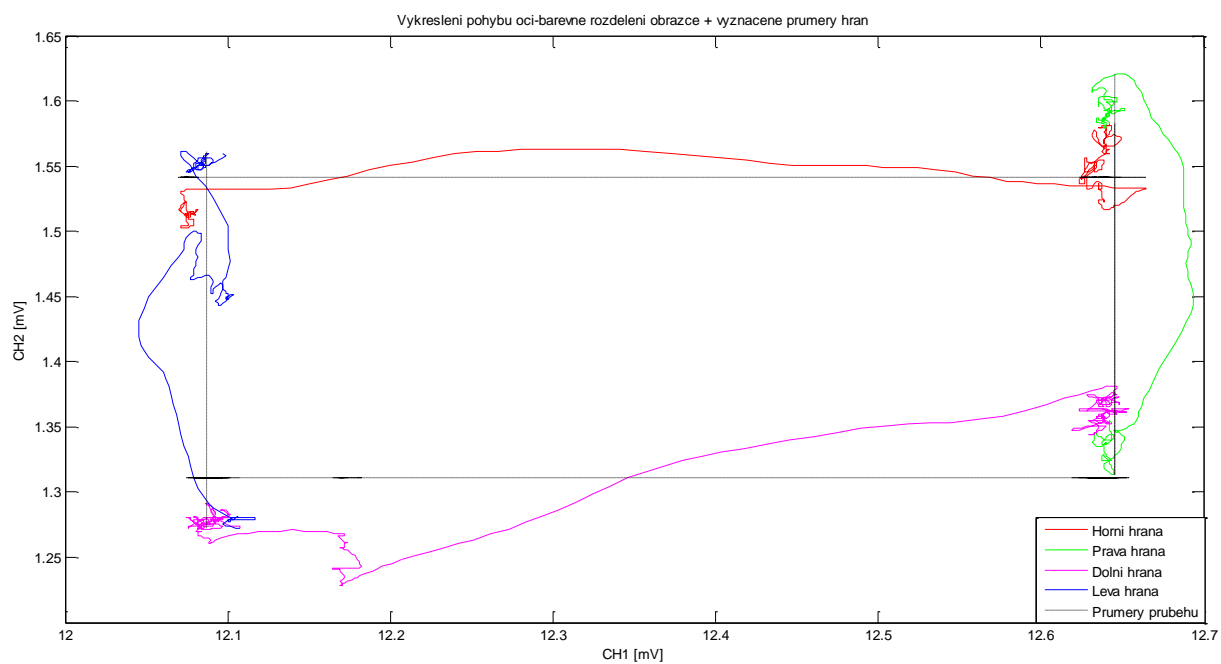
Obrázek 34: Upravený průběh Petr M.



Obrázek 35: Originální průběh Tomáš N.

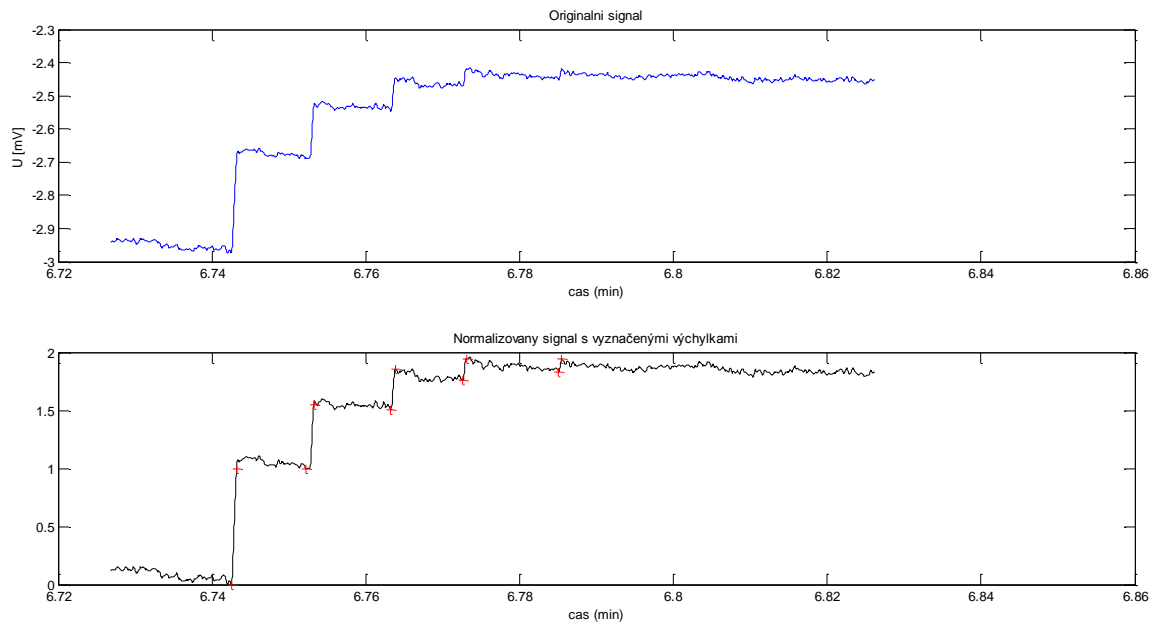


Obrázek 36: Upravený průběh Tomáš N.

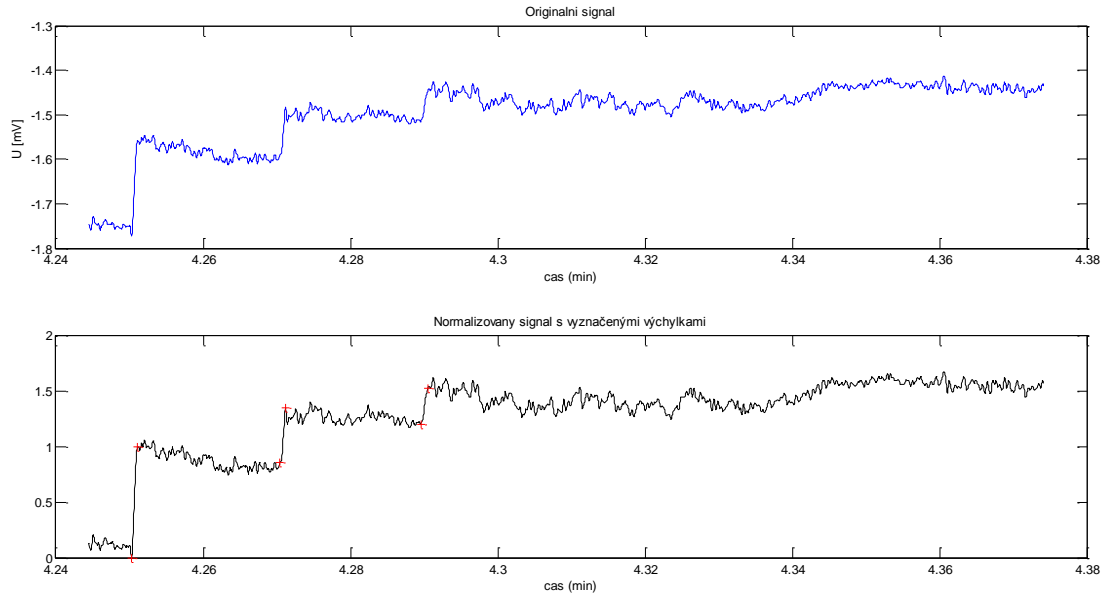


6.2 Druhý experiment

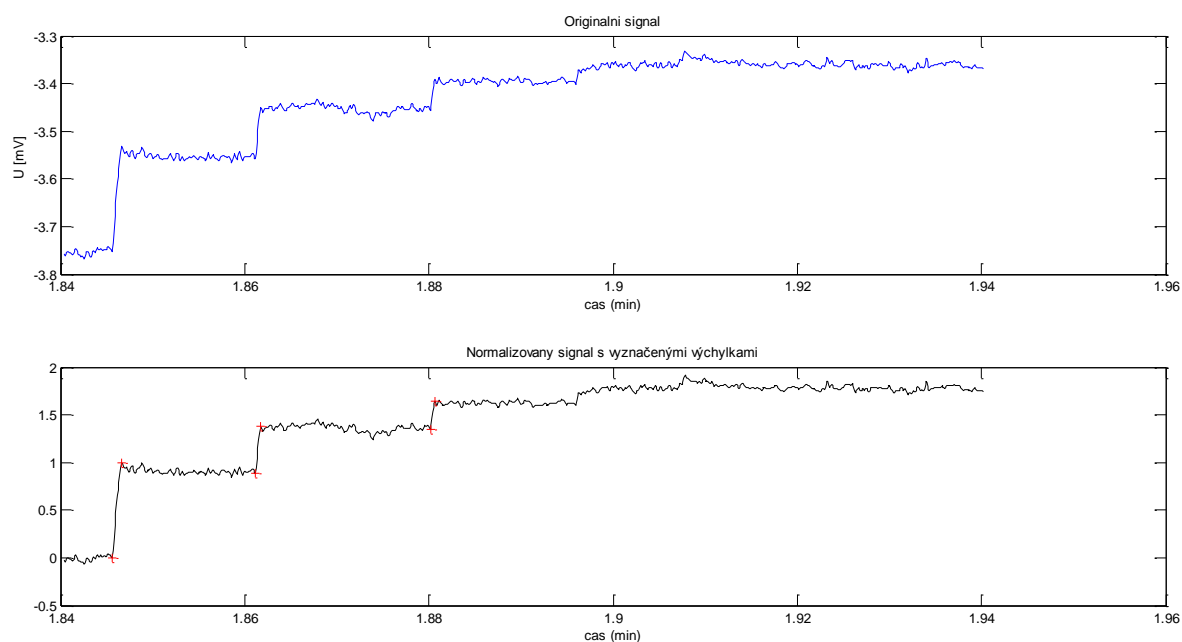
Obrázek 37: Průběhy signálů Jakub Kř.



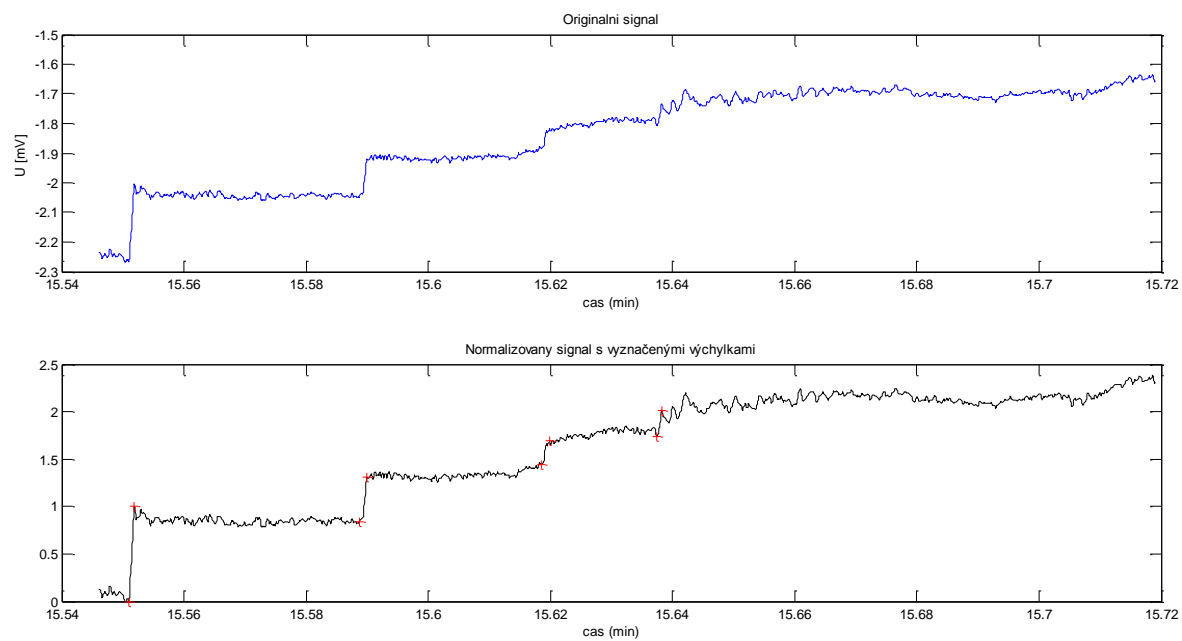
Obrázek 38: Průběhy signálů Jakub Kv.



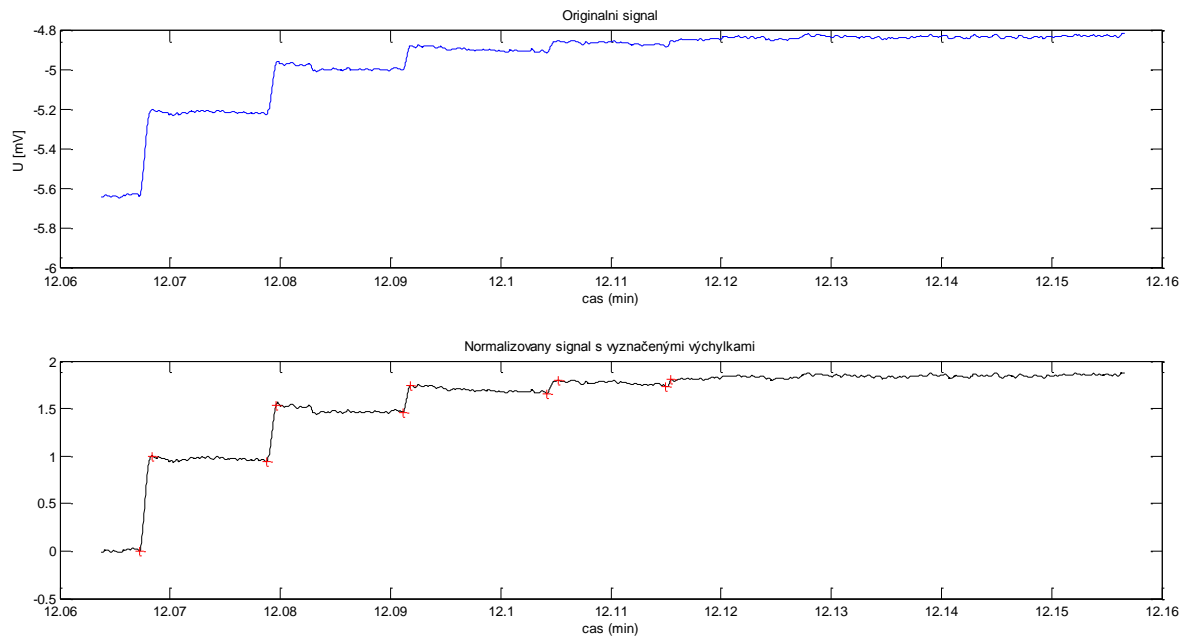
Obrázek 39: Průběhy signálů Jana K.



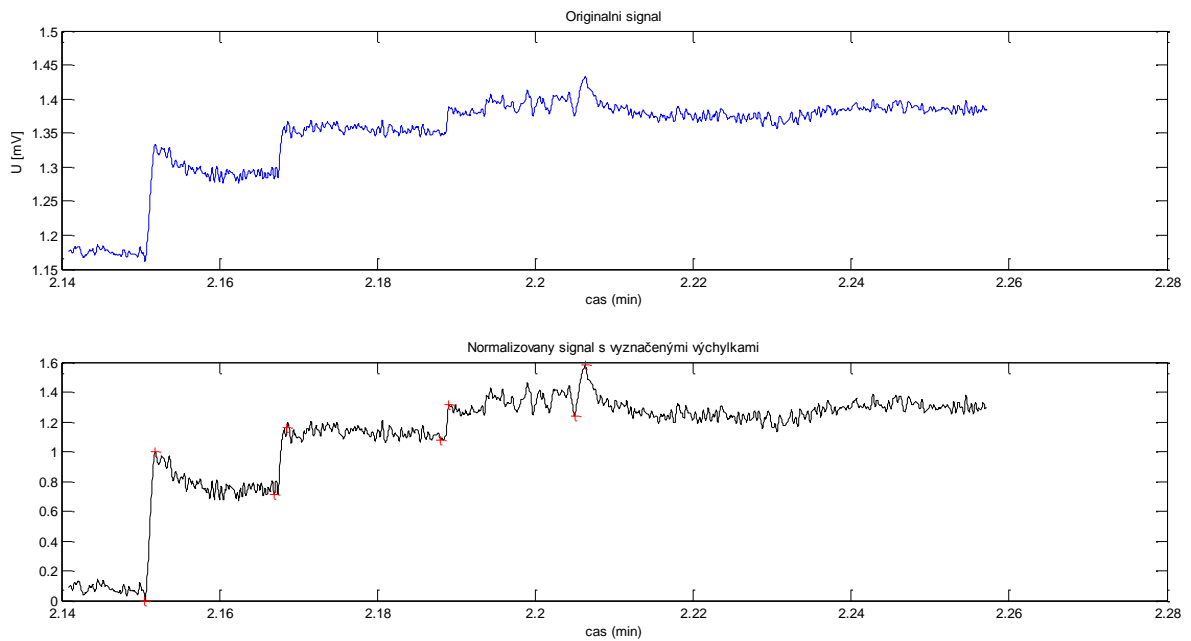
Obrázek 40: Průběhy signálů Markéta P.



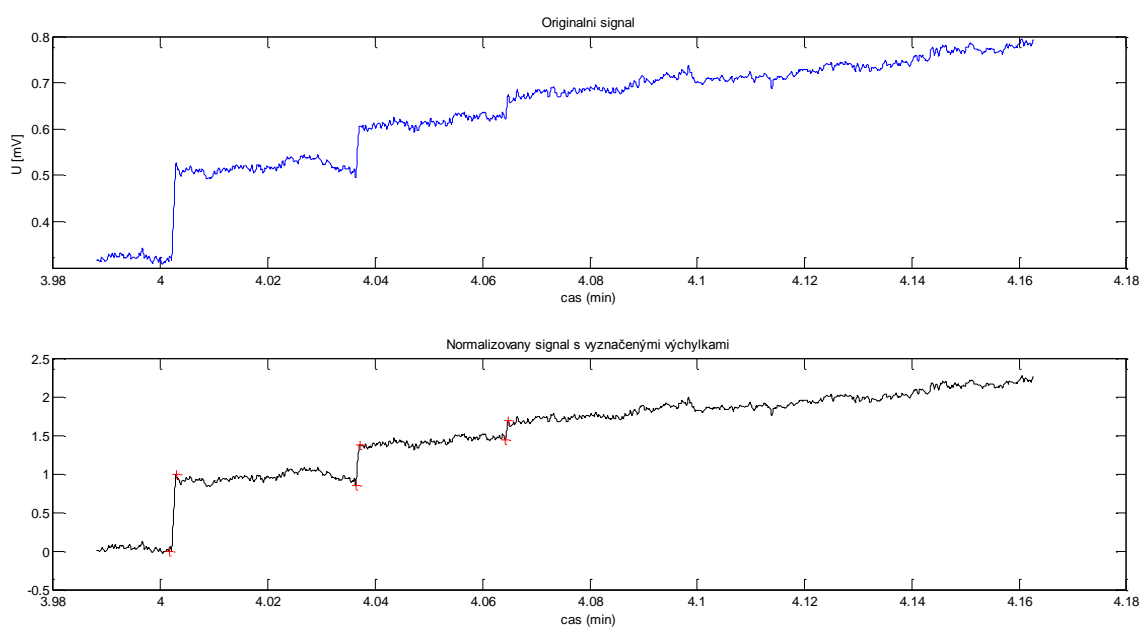
Obrázek 41: Průběhy signálů Nikola K.



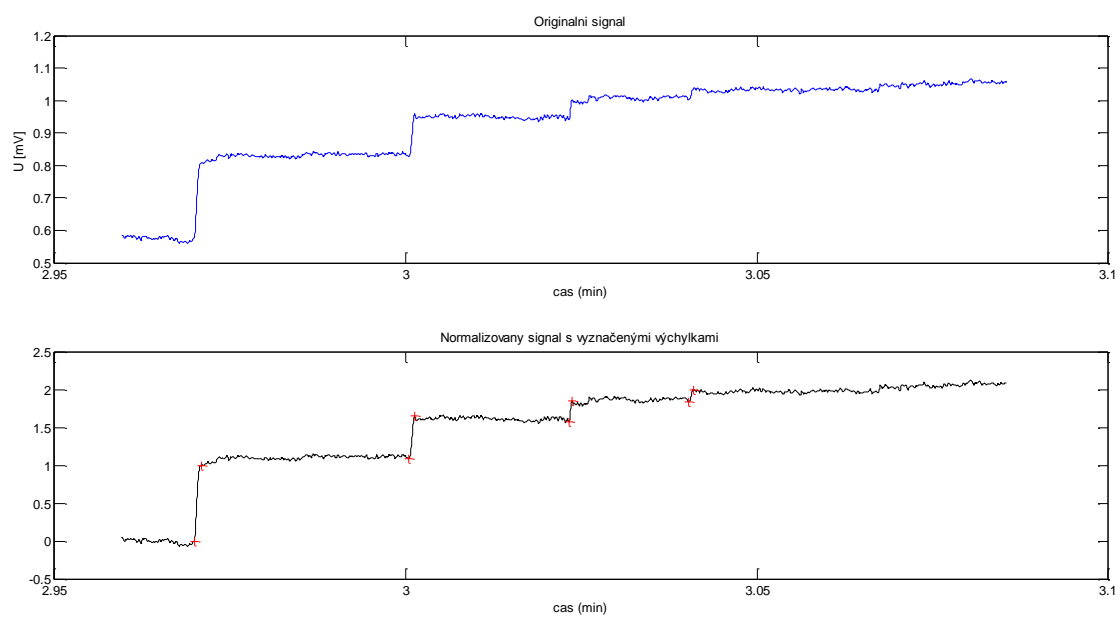
Obrázek 42: Průběhy signálů Ola P.



Obrázek 43: Průběhy signálů Pavel P.



Obrázek 44: Průběhy signálů Petr M.



Obrázek 45: Průběhy signálů Tomáš N.

