

# 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

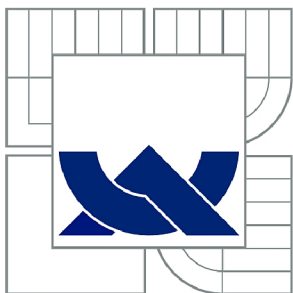
ELEKTROENCEFALOGRAFIE

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE  
BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE  
AUTHOR

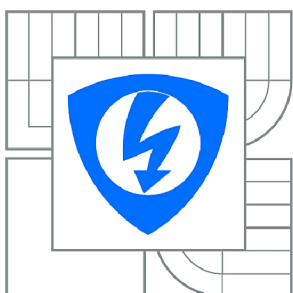
VERONIKA JAROŠOVÁ

BRNO 2012



**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

## **ELEKTROENCEFALOGRAFIE**

ELECTROENCEPHALOGRAPHY

**BAKALÁŘSKÁ PRÁCE**

BACHELOR'S THESIS

**AUTOR PRÁCE**

AUTHOR

**VERONIKA JAROŠOVÁ**

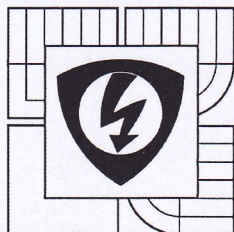
**VEDOUCÍ PRÁCE**

SUPERVISOR

**doc. Ing. MILAN CHMELARĚ, CSc.**

BRNO 2012





VYSOKÉ UČENÍ  
TECHNICKÉ V BRNĚ

Fakulta elektrotechniky  
a komunikačních technologií

Ústav biomedicínského inženýrství

# Bakalářská práce

bakalářský studijní obor

Biomedicínská technika a bioinformatika

**Student:** Veronika Jarošová

**Ročník:** 3

**ID:** 124993

**Akademický rok:** 2011/12

**NÁZEV TÉMATU:**

## Elektroencefalografie

### POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

1) Popište podrobně spontánní i evokovanou aktivitu mozku a příslušné elektrické signály měřené na povrchu hlavy. 2) Diskutujte změny mozkové aktivity vzhledem ke stavu jedince. 3) Popište používaný svodový systém a důvod jeho zavedení. 4) Zabývejte se metodikou snímání elektroencefalografického (EEG) signálu a způsoby detekce evokovaných potenciálů. Popište podrobně EEG přístroj a základní požadavky na něj kladené. 5) Navrhněte 3 úlohy pro praktická cvičení v dané oblasti. 6) Úlohy prakticky ověřte a vytvořte k nim podrobné návody i s postupem hodnocení. 7) Proveďte diskusi navrženého řešení a zhodnoťte jeho výhody a nevýhody.

### DOPORUČENÁ LITERATURA:

- [1] HOVORKA, J. Klinická elektroencefalografie, Praha, Maxdorf, 2003. ISBN 80-7345-001-1  
[2] VOJTĚCH, Z. a kol. Atlas elektroencefalografie dospělých, nakladatelství TRITON, 2005. ISBN-10: 80-7254-704-6

**Termín zadání:** 6.2.2012

**Termín odevzdání:** 25.5.2012

**Vedoucí práce:** doc. Ing. Milan Chmelař, CSc.

**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 bakalářská práce má za svůj cíl popsat elektroencefalografii. Začátek práce je věnován historii elektroencefalografie, poté je popsána spontánní i evokovaná aktivita mozku. Dále se zabývá elektroencefalografií. Závěr teoretické části je věnován metodice a zpracování elektroencefalografického signálu. Praktická část práce je zaměřená na vytvoření tří různých úloh na epilepsii, reflexy a paměť. Poté byly úlohy prakticky ověřeny na čtrnácti dobrovolnících. Dále je v práci uveden návod pro daná měření, výsledky hodnocení a jejich diskuze.

## **KLÍČOVÁ SLOVA**

Elektroencefalografie, EEG, aktivita mozku, artefakty, EEG biofeedback

## **ABSTRACT**

This bachelor thesis has its aim to describe the electroencephalography. The beginning of paper is devoted to the history of electroencephalography, then there is both spontaneous and evoked brain activity described. Further, the paper deal with the electroencephalography. At the conclusion of teoretical part is described the methodology and processing of electroencephalography signal. The practical part of the work is focused on the creation of three various exercises on the epilepsy theme, reflexes and memory. Then the exercises were verified pratically at fourteen volunteers. Further, in the work there is mentioned the instruction for particular measures, valuation results and its discussion.

## **KEYWORDS**

Electroencefalography, EEG, brain activity, artifacts, EEG biofeedback

JAROŠOVÁ, Veronika *Elektroencefalografie*: bakalářská práce. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, Ústav biomedicínského inženýrství, 2012. 62 s. Vedoucí práce byl doc. Ing. Milan Chmelař, CSc.

## PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že svou bakalářskou práci na téma „Elektroencefalografie“ jsem vypracovala samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou všechny citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce.

Jako autor uvedené bakalářské práce dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením této bakalářské práce jsem neporušila autorská práva třetích osob, zejména jsem nezasáhla nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a jsem si plně vědoma následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení § 152 trestního zákona č. 140/1961 Sb.

Brno .....

.....

(podpis autora)

## PODĚKOVÁNÍ

Ráda bych poděkovala vedoucímu bakalářské práce panu doc. Ing. Milanu Chmelařovi, CSc. za odborné vedení, konzultace, trpělivost a podnětné návrhy k práci.

Brno .....

.....

(podpis autora)

# OBSAH

<b>Úvod</b>	<b>12</b>
<b>1 Historie EEG</b>	<b>13</b>
<b>2 Aktivita Mozku</b>	<b>14</b>
2.1 Aktivita z lékařského hlediska . . . . .	14
2.2 Spontánní aktivita mozku . . . . .	15
2.2.1 Spontánní nezáchvatová aktivita . . . . .	16
2.2.2 Spontánní záchvatová aktivita . . . . .	16
2.3 Evokovaná aktivita mozku . . . . .	16
2.3.1 Podněty používané u evokovaného EEG . . . . .	17
2.4 Mozkové laloky . . . . .	17
2.5 Změny mozkové aktivity . . . . .	17
<b>3 Elektroencefalografie</b>	<b>19</b>
3.1 Popis EEG signálů . . . . .	19
3.2 Rytmy EEG . . . . .	20
3.3 Tvar vln . . . . .	22
3.4 EEG u novorozenců . . . . .	22
3.5 EEG u dětí . . . . .	24
3.6 EEG ve stáří . . . . .	24
3.7 Subdurální EEG . . . . .	24
3.8 Elektrokortikogram ECoG (Mikro-EEG) . . . . .	25
<b>4 Snímání signálu</b>	<b>26</b>
4.1 Snímací elektrody . . . . .	26
4.2 Svodový systém . . . . .	26
4.3 Technika snímání . . . . .	27
4.4 Režimy snímání . . . . .	28
4.5 Artefakty . . . . .	28
4.6 EEG přístroj . . . . .	30
4.6.1 Části přístroje . . . . .	30
4.6.2 Parametry přístroje EEG . . . . .	31
4.6.3 Kalibrace . . . . .	32
4.6.4 Příslušenství . . . . .	32



<b>5</b>	<b>Metody zpracování signálů</b>	<b>33</b>
5.1	Spektrální (frekvenční) analýza . . . . .	33
5.2	Neuronové sítě . . . . .	33
5.3	Dlouhodobé záznamy . . . . .	33
5.4	Topografické mapování . . . . .	33
5.5	Dipólová analýza . . . . .	34
5.6	Evokované potenciály . . . . .	34
5.6.1	Kumulační techniky . . . . .	34
5.6.2	AEP . . . . .	35
5.6.3	VEP . . . . .	35
<b>6</b>	<b>Praktická měření</b>	<b>36</b>
6.1	1. úkol - epilepsie . . . . .	36
6.1.1	Návod . . . . .	37
6.1.2	Výsledky měření . . . . .	38
6.1.3	Výhody a nevýhody . . . . .	40
6.2	2. úkol - biofeedback, reakce na podněty . . . . .	41
6.2.1	Výsledky měření . . . . .	42
6.2.2	Výhody a nevýhody . . . . .	44
6.3	3. úkol - testování paměti . . . . .	46
6.3.1	Návod . . . . .	46
6.3.2	Výsledky měření . . . . .	46
6.3.3	Výhody a nevýhody . . . . .	48
<b>7</b>	<b>Závěr</b>	<b>50</b>
	<b>Literatura</b>	<b>51</b>
	<b>Seznam symbolů, veličin a zkratk</b>	<b>53</b>
	<b>Seznam příloh</b>	<b>55</b>
<b>A</b>	<b>Příloha 1</b>	<b>56</b>
A.1	Parametry přístroje EEG . . . . .	56
<b>B</b>	<b>Příloha 2</b>	<b>57</b>
<b>C</b>	<b>Příloha 3</b>	<b>58</b>
<b>D</b>	<b>Příloha 4</b>	<b>59</b>
<b>E</b>	<b>Příloha 5</b>	<b>60</b>

<b>F Příloha 6</b>	<b>61</b>
<b>G Příloha 7</b>	<b>62</b>

# SEZNAM OBRÁZKŮ

2.1	Přenos vzruchu, převzato z [4]. . . . .	14
3.1	Rytmy EEG, převzato z [5]. . . . .	21
3.2	Závislost délky spánku na věku [10]. . . . .	23
3.3	Monitor mozkových funkcí OLYMPIC CFM 6000, převzato z [11]. . . . .	23
3.4	Subdurální EEG, převzato z [12]. . . . .	25
3.5	Silikonová fólie, převzato z [12]. . . . .	25
4.1	Rozmístění elektrod, převzato z [5]. . . . .	27
4.2	Unipolární režim, převzato z [5]. . . . .	28
4.3	Bipolární režim, převzato z [5]. . . . .	29
4.4	Zprůměrovaný režim, převzato z [5]. . . . .	29
4.5	Blokové schéma EEG, převzato z [1]. . . . .	31
5.1	Topografické mapování, převzato z [9]. . . . .	34
6.1	Zapojení pacienta a EEG pracoviště . . . . .	37
6.2	Pracovní plocha . . . . .	38
6.3	Zobrazení hodnocení pomocí spektrální analýzy . . . . .	39
6.4	Porovnání odpočinku a zadaných úkolů u epileptika [%] . . . . .	39
6.5	Porovnání odpočinku a zadaných úkolů ostatních dobrovolníků [%] . . . . .	40
6.6	Porovnání výsledků epileptika (r20) a ostatních dobrovolníků [%] . . . . .	40
6.7	Spektrum pro EEG Biofeedback . . . . .	41
6.8	Dosažené skóre . . . . .	42
6.9	Grafické znázornění výsledků z 1. kola . . . . .	43
6.10	Grafické znázornění výsledků z 2. kola . . . . .	43
6.11	Reakce na podnět . . . . .	44
6.12	Porovnání reakcí na tlesknutí . . . . .	45
6.13	Porovnání reakcí na zakřičení . . . . .	45
6.14	Statistika reakcí [s] . . . . .	45
6.15	Porovnání úkolů oproti klidu [%] . . . . .	49
6.16	Porovnání reakcí na tabuli [%] . . . . .	49
B.1	Souhrn hodnot k testování paměti, uvedeno v procentech . . . . .	57
D.1	Histogram reakční doby na 1. tlesknutí . . . . .	59
D.2	Histogram reakční doby na 2. tlesknutí . . . . .	59
E.1	Histogram reakční doby na 1. zakřičení . . . . .	60
E.2	Histogram reakční doby na 2. zakřičení . . . . .	60
F.1	Tabule s patnácti zobrazenými a popsány objekty . . . . .	61
F.2	Záznamový arch . . . . .	61
G.1	Mozkové laloky, převzato z [24]. . . . .	62



## SEZNAM TABULEK

3.1	Frekvenční pásma EEG signálu . . . . .	20
6.1	Reakce na podněty . . . . .	43
6.2	Testování paměti . . . . .	47
6.3	Hodnocení 3. úkolu . . . . .	47
6.4	Počítání příkladů . . . . .	47
A.1	Parametry přístroje TruScan32, převzato z [19] . . . . .	56

# ÚVOD

Tato práce pojednává o elektroencefalografii, jejím popisu, detekci a snímání. Než se začne snímat elektroencefalografický signál, měl by si člověk nejprve uvědomit, jak je v mozku přenášená informace, aby mohla být následně detekována na elektrodách a v headboxu převedena do číslicové podoby. Elektroencefalografický signál má úzkou souvislost s bděním. Jeho parametry se mění podle stavu vigility. Při detekci EEG vln se rozlišuje věk jedince, tvar vln a mnoho dalších komponent důležitých pro lékařské vyšetření. Snímání se provádí na EEG přístroji pomocí různých druhů elektrod. Systém zapojení je ve všech zemích stejný, podle mezinárodního systému 10-20. Zaznamenává-li se mozková aktivita, musíme rozlišit dva druhy – spontánní a evokovanou aktivitu. Při měření evokovaného potenciálu se musí brát v úvahu jeho nižší amplituda (do  $10 \mu\text{V}$ ) oproti spontánní aktivitě (až  $150 \mu\text{V}$ ). Pokud se vyskytl evokovaný potenciál, je nutné použití kumulačních technik, které spontánní aktivitu zpřůměrují, čímž dojde k jejímu potlačení a evokovaný potenciál se tak zesílí. Dále je nutné omezit nadbytečné artefakty.

Druhá část této práce obsahuje návrhy tří praktických úloh. První úloha je zaměřená na neurologické onemocnění mozku, konkrétně na epilepsii. Pro hodnocení bylo využito čtení jednoduššího a složitějšího textu, následoval poslech hudby klasické a populární. Pozorovaly se změny na určitých částech mozku. Ve druhé úloze se měřené osoby seznámily s principem EEG biofeedbacku a zahrály si speciální počítačové hry, určené pro tuto metodu. Dále se zkoumala jejich reakční doba na podněty, zahrnující hlasité tlesknutí a zakřičení. V poslední, třetí úloze, byla testována paměť dobrovolníků. Nejprve si měli zapamatovat a poté nahlas zopakovat testujícím předem připravená čísla, jejichž náročnost postupně narůstala. Poté dostali k dispozici tabuli s patnácti nakreslenými a popsányi předměty. Testované osoby měly za úkol v daném časovém intervalu vyjmenovat co nejvíce věcí, které si z tabule zapamatovaly. Následovalo několik příkladů z malé a velké násobilky, které měli dobrovolníci za úkol spočítat bez pomůcek. V poslední části byli opět vyzváni k vyjmenování co nejvíce věcí z již zmiňované tabule. Za každou správnou odpověď dostávali dobrovolníci body a nakonec byli ohodnoceni výslednou známkou podle předem stanovené stupnice.

Každá úloha byla prakticky ověřena, následovala diskuze a určení výhod a nevýhod.

# 1 HISTORIE EEG

Myšlenka o snímání elektrické aktivity mozku se objevuje poprvé v druhé polovině 18. století a je spojena se jmény Luigi Galvaniho a Alessandra Volty. V polovině 19. století se začala aktivita zkoumat na mozku žáby pomocí nepolarizovatelné elektrody pana Du Boise Reymonda. V roce 1875 Richard Canton měří aktivitu přímo na tkáni opic a králíků. Pomocí těchto zvířat poprvé prokázal elektrickou aktivitu mozku. Na Richarda Cantona navázal roku 1890 Adolf Beck, jenž zaznamenal v různých oblastech cerebral cortexu (mozkové kůry) pravidelné elektrické průběhy. Další pokusy se prováděly na psech při epileptických záchvatech. Toto měření prováděli Cybulsky a Jelenska. Roku 1929 Hanz Berger prováděl povrchové záznamy a zapisoval si změny aktivity při různých stavech. Teprve až roku 1933 Adrian a Matthews popsali alfa aktivitu, pomocí osciloskopu.

Elektroencefalografie byla dlouho používána jako jediná metoda pro vyšetření mozkového postižení. [1, 2]

## 2 AKTIVITA MOZKU

Mozek je pro život jeden z nejdůležitějších orgánů, bez něhož by člověk nikdy nemohl být při vědomí, dýchat, mít stabilní krevní oběh a selhaly by mu všechny ostatní orgány. Všeobecně se ví, že mozková smrt znamená smrt dotyčného. Proto se stává důležitý záznam aktivity mozku, který udává informace o činnosti orgánu a o duševním a tělesném stavu jedince. Aktivita je úzce spjatá se stavem vigility (bdělosti). Čím nižší je úroveň bdělosti, tím nižší je i aktivita. Hraje klíčovou roli v řadě lékařských oborů, především v neurologii při stanovování psychických poruch.

Rozlišuje se na spontánní a evokovanou aktivitu. Detekují se reakce na aplikování akustického či vizuálního podnětu ve stavu bdělosti a již během vyšetření se dají rozpoznat změny oproti normálu.

Při analýze frekvence aktivity jí můžeme rozdělit na rytmickou, arytmičnou (sled vln) nebo na ojedinělé útvary (komplexy, hroty, ...). Typ aktivity závisí na věku a na aktuálním stavu dotyčného.

### 2.1 Aktivita z lékařského hlediska

Elektrickou aktivitu mozku zjišťujeme pomocí jeho bioelektrických potenciálů, které je možné zaznamenat a poté diagnosticky použít. Jedná se o přenos nervových vzruchů (neurotransmise). Transport mezi nervovými buňkami probíhá přes semipermeabilní membránu, která zajišťuje tok iontů. Základní stavební jednotkou nervové soustavy je neuron – specializovaná buňka, která je schopná přijmout, vést, zpracovat a odeslat odpověď na signály. V nervovém systému člověka se nachází zhruba  $10^{10}$  neuronů. Skládá se z těla (somatu), axonů a dendritů.

Spojením dvou neuronů dochází k předání vzruchu. Toto spojení je zajišťováno **synapsemi**. Synapse přenáší akční potenciály (vzruchy) z jednoho axonu na druhý. Rozdělují se na dva hlavní druhy – elektrické a chemické.[3]



Obr. 2.1: Přenos vzruchu, převzato z [4].

Na obrázku 2.1 je znázorněna síť neuronů v mozku. Záblesky představují přenos vzruchů mezi synapsemi.

**Elektrické synapse** se vyznačují kratším (těsnějším) spojením mezi buňkami. To znamená, že buňky na sebe přímo nenaléhají, ale spojení mezi membránami je nejvýše 3 nm. Jsou typické pro rychlé akce, takže se vyskytují nejen v nervové soustavě člověka, ale i v srdeční a hladké svalovině. Umožňují oboustranný přenos přes membránu.

Dalším typem jsou **synapse chemické** – ty jsou od sebe vzdáleny podstatně více a v organismu jsou více zastoupeny. Je pro ně typická jednosměrnost.

Základem elektrické aktivity nervových buněk je depolarizace a následná repolarizace jejich buněčné membrány, která se šíří z těla buňky do jejich výběžků (dendritů a neuritů). Vzniká tak určitý typ elektrického dipólu, který se stává zdrojem místních proudů. V mozkové tkáni se vyskytuje mnoho synapsí, sloužících jako zdroj excitačních a inhibičních elektrických potenciálů. Z časových a prostorových sumací těchto základních elektrických dějů se skládá konečný obraz elektrické aktivity mozku, jenž je základem elektroencefalografické metody (EEG). [3]

**Excitační synapse** má za následek vyvolání akčního napětí na postsynaptické membráně (dochází ke změně propustnosti, hlavně pro sodné ionty). Typickým mediátorem, nebo-li neurotransmiterem pro excitační synapse je nejčastěji kyselina glutamová a acetylcholin. Při vniknutí iontů do nitra buňky dochází na membráně k pozitivní potenciálové změně a vzniká tzv. *excitační postsynaptický potenciál* (zatím se nejedná o AP).

**Inhibiční synapse** je zodpovědná za zhoršení podmínek pro vznik vzruchu. Mediátor pro inhibiční synapse je kyselina  $\gamma$ -aminomáselná (GABA), působí jako ligand pro chloridové ionty. Výsledek působení aniontů vtékajících do buňky značí mírný pokles membránového potenciálů – tzv. *inhibiční postsynaptický potenciál*. [3]

## 2.2 Spontánní aktivita mozku

Spontánní aktivita se vyznačuje klidovým stavem, kdy mozek „relaxuje“ a není nucen reagovat na stimulační podnět. Skládá se z periodických složek a grafoelementy jsou většinou vázané na patologické jevy. Pokud mozek neprojevuje žádnou aktivitu, jedná se o příznak mozkové smrti osoby. K definici se používá záznam EEG. Zajímavé pásmo je zhruba do 40 Hz a rozsah amplitud do 300  $\mu\text{V}$ . [5]

### 2.2.1 Spontánní nezáchvatová aktivita

Nezáchvatová aktivita se vyskytuje při bdění a v klidu, alfa a beta rytmech, při spánku, v komatu a při hyperventilaci. Je známá i aktivita intermitentního typu (přerušovaná) – sigma aktivita, mí aktivita. Pro analýzu těchto signálů se používá frekvenční a nestacionární analýza. [5]

Frekvenční analýza se používá pro rychlejší zpracování aktivity. Nejpoužívanějšími jsou Diskrétní Fourierova transformace (zkráceně DFT) a Rychlá Fourierova transformace zkráceně anglicky FFT. Diskrétní transformace se určuje z úseku signálu o konečné délce, a dává možnost tyto transformace počítat postupně pro různé úseky signálu a zkoumat tak časový vývoj spektra.[6]

Klidové úseky kolem dvou sekund jsou označovány za stacionární. Jelikož elektroencefalografický signál bývá zpravidla delší, je považován za nestacionární. Proto se uplatňují výkonová spektra a testy stacionarity. U testu stacionarity se signál musí rozdělit na úseky, na kterých bude signál ještě stacionární. Existují tři typy testu stacionarity. Prvním je segmentace na základě autokorelace v pevném a pohyblivém oknu, druhým porovnání autokorelací sousedních úseků signálu a třetím typem je porovnání periodogramů sousedních úseků signálu.[7]

První typ popisuje následující rovnice: 2.1

$$DIF = \frac{\sum_{n=0}^{N-1} (r_{ref}(n) - r_{test}(n))^2}{r_{ref}(0)r_{test}(0)} \quad (2.1)$$

- na začátku segmentu je referenční okno pro odhad autokorelace  $r_{ref}$
- po signálu se pohybuje okno pro průběžný odhad autokorelace  $r_{test}$
- určení odchylky od stacionarity (DIF)
- konec segmentu nastává po překročení předem dané meze. [5]

### 2.2.2 Spontánní záchvatová aktivita

Spontánní záchvatová aktivita se vyznačuje přechodnými stavy ve spánku. Značí jí ostré vlny a hroty. [5]

## 2.3 Evokovaná aktivita mozku

Evokovaná aktivita na rozdíl od spontánní sleduje změny elektrické aktivity mozku na určitý podnět. Dalším rozdílem je amplituda. U evokovaných signálů je řádově menší než u spontánních EEG signálů. Vzhledem k nízké amplitudě se při zpracování evokovaného signálu musí signál nejprve digitalizovat pomocí A/D převodníku a poté je nutné použít počítačový program, aby byla evokovaná odpověď zřetelná.

Evokované signály se skládají ze série navazujících dějů, kde se střídají úseky stimulační a klidové. Reakce na podnět se objevuje s určitou latencí.[8]

### 2.3.1 Podněty používané u evokovaného EEG

Jedním z podnětů bývá světelný záblesk, může být monokulárně i binokulárně, tzv. fotostimulace s impulsy kolem 0,5 ms aplikované při zavřených očích. Také se používají tzv. „šachovnicová pole“, která jsou zobrazená na počítači a černá a bílá pole jsou invertována. Dále bývá používán akustický podnět (krátce trvající signály jsou pouštěny do sluchátek), fyzická zátěž, nebo bolest, atd. viz kapitola 5.6 Evokované potenciály. [8]

## 2.4 Mozkové laloky

Mozek je rozdělen na dvě hemisféry. Na první pohled vypadají stejně, avšak každá má jinou funkci. Mozková kůra na hemisférách se dělí na čtyři níže uvedené laloky. Znázornění laloků se nachází na obrázku v příloze G.

- **Frontální (čelní) laloky** - se nachází v přední části mozku, mezi spánkovými laloky a zabírají přibližně jednu třetinu hemisféry. Frontální laloky jsou centrem řeči, tvorby nových slov a centrem motoriky celého těla.
- **Parietální (temenní) laloky** - temenní laloky jsou senzomotorickým centrem těla.
- **Okcipitální (týlní) laloky** - tvoří nejmenší část mozku a nejsou zřetelně ohraničené. Nachází se zde zrakové centrum.
- **Temporální (spánkové) laloky** - jsou spojené s řečí a zpracováním sluchového vjemu.

[24]

## 2.5 Změny mozkové aktivity

Mozek má rozličné chování při různých fyzických i psychických stavech jedince. Chová se jinak při vigilitě a jinak při spánku. Při měření spánkového EEG se v záznamu při usínání vyskytují pomalé vlny theta a delta. Dále se většinou u mladých dospělých lidí, kteří usnou, jsou náhle probuzeni a znovu rychle usnou, detekovány tzv. **POSTS**, což jsou pozitivní okcipitální ostré tranzienty ve spánku. POSTS mají střední amplitudu, často podobné lambda vlnám. Vyskytují se samostatně či nepravidelně se opakující. Další komponentou, rozpoznávanou v záznamu jsou **vertexové vlny**. Jsou ostře ohraničené, avšak s narůstajícím věkem se otupují. Amplituda může být i větší než 100  $\mu V$ . Tyto vlny můžeme detekovat v bdělosti a lehkém spánku.

**Spánková vřetena** mají amplitudu větší či rovnou  $50 \mu V$ , frekvence v rozmezí 10 – 15 Hz. Vyskytují se ve 2. a 3. stádiu non-REM spánku. Další významnou složkou jsou K-komplexy. K-komplexy jsou podobné vertexovým vlnám, ale mají vyšší amplitudu, mají delší průběh a jsou méně ostré. Za K-komplexy se většinou vyskytují spánková vřetena. Následující body popisují typy lidského vědomí od bdělosti do spánku. U lidského organismu se během noci opakuje zhruba čtyři až sedm cyklů. [9]

**Vigilita** neboli bdělost je stav mysli, kdy je mozek nejvýkonnější, člověk je při vědomí, je schopen reagovat na podněty a plnit různé úkony. Kolísání vigility odpovídá stavu usínání.

**Mikrospánek** – jedná se o stav od tří do patnácti sekund, objevuje se při usínání nebo probouzení. Projevuje se ospalostí, pomalejšími reakcemi, únavou. Velmi nebezpečný je u řidičů, kdy dochází k zhoršení soustředěnosti a dotyčný má delší reakční dobu.

**Spánek** – se spánkem u jedince dochází ke zpomalení srdeční a dechové aktivity, snížení pohyblivosti očních bulbů a celkové relaxaci organismu. Při usínání jdou do pozadí vlny beta, které jsou charakteristické pro bdělý stav a na řadu přichází postupně vlny alfa, které jsou zodpovědné za uvolnění a následně vlny theta a delta, kdy tělo upadá do hlubších stádií spánku. U spánku lze rozpoznat dva typy stádií. Prvním typem je REM spánek, druhým typem je non-REM spánek, charakteristický svými čtyřmi stádii, označovanými 1. – 4. stádium. Rozdělení níže:

**1. stádium non-REM spánku**

V prvním stádiu je mozková aktivita pomalá, pohybující se v rozmezí 2 – 7 Hz, bývá nepravidelná a nízká, avšak u některých pacientů může mít střední velikost a být rytmičtější. Vlny jsou vertexové, POSTS.

**2. stádium non-REM spánku**

Zde jsou pomalé a vertexové vlny, rovněž 2 – 7 Hz, objevují se spánková vřetena a K-komplexy. Přetrvávají POSTS.

**3. stádium non-REM spánku**

Delta vlny tvoří až polovinu záznamu. Frekvence je menší než 2 Hz a amplituda větší než  $75 \mu V$ . Stále mohou být detekovány K-komplexy a spánková vřetena.

**4. stádium non-REM spánku**

Poslední stádium non-REM spánku je obdobné 3. stádiu, se stejnou frekvencí a amplitudou, ale delta vlny jsou detekovány ve více než polovině záznamu. Spánková vřetena a POSTS jsou téměř nerozpoznatelné.

• **REM spánek**

Alfa vlny jsou o 1 – 2 Hz pomalejší než v bdělosti, rychlé pohyby očí, zvýšení krevního tlaku. REM spánek pomalu přechází v 1. stádium non-REM spánku.

[9]



## 3 ELEKTROENCEFALOGRAFIE

Elektroencefalografie, zkráceně EEG, je neurologická diagnostická metoda, která má za úkol zjišťování elektrické aktivity mozku. Toto vyšetření provádí lékař v případě podezření na poškození mozku, nemoci a nebo při očekávání, že orgán pracuje jinak než by měl. EEG má největší význam při diagnostice poruch spánku nebo u nemocí jako epilepsie či schizofrenie. Dá se zobrazit ta část mozku, která vykazuje jinou aktivitu, než by v dané chvíli měla mít, a podle daných parametrů se zjišťuje, o jaký typ poruchy a nemoci se jedná a jaká je následná účinnost léčby. EEG se používá i při stanovení mozkové smrti pacienta, avšak prokazatelným určením mozkové smrti je až angiografie, která značí vyhasnutí celého mozkového kmene. Nejčastěji se pro snímání elektrické aktivity mozku používají kontaktní elektrody na pokožce hlavy během vyšetření. Tato metoda je buď invazivní nebo neinvazivní, podle umístění snímacích elektrod. Pokud jsou elektrody na povrchu hlavy, jedná se o metodu neinvazivní, pokud jsou umístěny na povrchu kůry mozkové, jedná se o metodu invazivní. Přístroj, jenž snímá EEG signál se nazývá elektroencefalograf. Frekvenční charakteristika se pohybuje v rozmezí 0,5 – 110 Hz, užitečné pásmo je dáno 30 – 60 Hz. [1]

### 3.1 Popis EEG signálů

Ke správnému rozlišení elektroencefalografických rytmů je nutné znát základní vlastnosti signálu. Jedná se o takzvané deskripty vzorců.

**Frekvence** udává kolik vln se zopakuje za jednu sekundu. Její převrácená hodnota udává dobu trvání jedné vlny.

**Amplituda** – jedná se o velikost napětí snímaného signálu. Udává se v  $\mu\text{V}$  a orientačně se dělí na nízkou (pod  $20 \mu\text{V}$ ), střední ( $20 - 50 \mu\text{V}$ ) a vysokou (nad  $50 \mu\text{V}$ ). Nízká amplituda se nazývá atenuace, vysoká pak augmentace.

**Tvar** – jedná se o odchylky od pomyslné základní osy. Týká se konkrétní vlny či komplexu vln. Pokud některý vzorec vybočuje z normálu oproti ostatním, nazýváme jej tranzient.

Pokud je EEG vzorec zachycen s menší amplitudou nebo fázovým posunem na další elektrodě, jedná se o **šíření**.

O **symetrii** se jedná v případě, že se na obou hemisférách ve dvou a více vzorcích vyskytuje konstantní amplituda. Pokud nad jednou hemisférou převažuje, jedná se o asymetrii.

**Rytmicita** je dána stálostí frekvence opakujících se vln.

**Periodicita** znázorňuje časovou souvislost mezi vlnami. Ideálně by měla být konstantní. Pokud se nějaký EEG vzorec objeví osamocený, nazývá se izolovaným.

**Reaktivita** využívá aktivačních metod a zjišťuje změny v EEG vzorci navozené různými podněty. [9]

## 3.2 Rytmy EEG

EEG se provádí při duševním klidu pacienta, který leží či sedí a na hlavě má zapojené elektrody dle mezinárodního systému 10-20 (viz kapitola 4.2 Svodový systém).

Elektrická aktivita má hodnotu asi do 40 Hz, rozsah zajímavých složek (amplituda) je do 300  $\mu V$ . Dělí se do několika skupin, tzv. „hladin vědomí“. Každá hladina odpovídá jiné frekvenci a jinému duševnímu stavu.

Rozlišují se čtyři základní frekvenční pásma viz tabulka 3.1.

Frekvenční pásmo	f [Hz]	U [ $\mu V$ ]
alfa	8 – 13	20 – 50
beta	13 – 35	5 – 10
delta	0,5 – 4	100 – 150
theta	4 – 8	50 – 100

Tab. 3.1: Frekvenční pásma EEG signálu

Normální aktivita u dospělých jedinců:

- **Alfa vlny**

Alfa aktivita odpovídá stavu uvolnění, bdělosti se zavřenýma očima, s frekvencí 8 – 13 Hz. Amplituda bývá různá, což může být dáno zapojením elektrod. Většinou se ale vyskytuje v rozmezí od 20 do 50  $\mu V$ .

Aktivita alfa je citlivým indikátorem změn vigility (úrovně bdělosti). Již při pouhé ospalosti dochází k poklesu frekvence a desynchronizaci alfa rytmu spolu s příměsí plochých theta vln.

Alfa vlny jsou blokovány nebo tlumeny stimulacemi z vnějšího prostředí jako akustické nebo světelné signály. Má za následek narušení duševního klidu a otevření očí. Alfa rytmus nemají osoby slepé už od narození.

- **Beta vlny**

Beta aktivita je dána frekvencí vyšší než 13 Hz. Většinou se nachází v rozmezí 18 – 32 Hz. Vlny jsou rytmické, amplituda v rozmezí 5 – 10  $\mu V$ . Nachází se nad frontálními laloky, kde je jejich výskyt nejvýraznější.

Beta rytmus je spojen s duševní činností za bdělého stavu. Pokud dochází ke stresovým situacím, kdy má jedinec strach nebo zlost, beta aktivita pak odpovídá vyšším frekvencím.

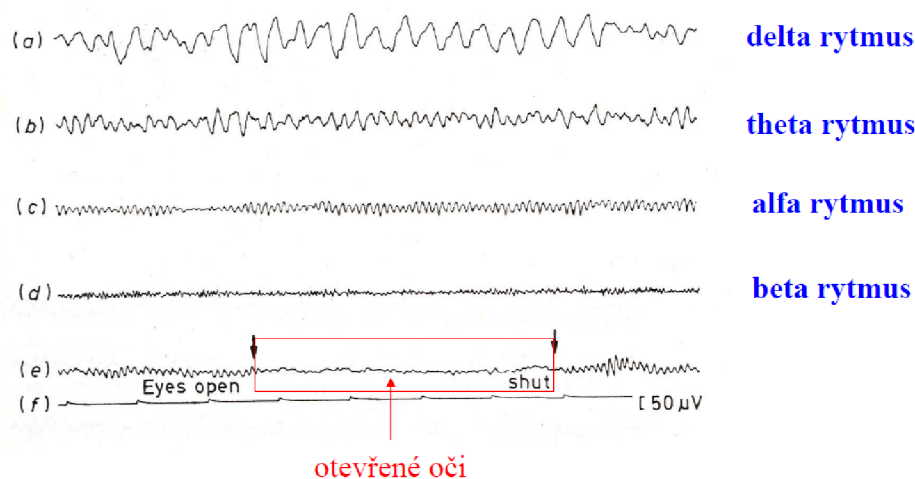
- **Delta vlny**

Mozkové vlny delta odpovídají hlubokému spánku. Vyskytuje se ve frekvencích 0,5 – 4 Hz. U dospělého člověka jsou v bdělém stavu patologickým jevem. V normě jsou jen u dětí do 4. měsíce.

Delta rytmus má význam, společně s vlnami theta, při detekci spánkových stádií.

- **Theta vlny**

Theta vlny jsou charakterizovány ve frekvencích rovných 4 – 8 Hz a amplitudou 50 – 100  $\mu V$ . Jedná se o stav hlubokého uvolnění. Během usínání pomalu přechází v delta aktivitu. Abnormální jev nastává při absenci alfa rytmu nebo je-li vlna theta dvakrát vyšší než vlna alfa.



Obr. 3.1: Rytmy EEG, převzato z [5]

Kromě výše zmiňovaných čtyř základních aktivit se u člověka nachází další pásma. Mezi ně patří následující:

- **Gama vlny**

Vyznačují se nejvyšší frekvencí z EEG signálů. Pohybuje se od 30 – 50 Hz, amplituda je rovna 2 – 10  $\mu V$ . Jsou přítomny v REM spánku a v průběhu probouzejícího se děje.

- **Sigma rytmus**

Sigma vlny jsou elektromagnetické oscilace s amplitudou signálu do 40  $\mu V$ . Tvoří tzv. „spánková vřetena“ a jsou charakteristické pro 3. spánkové stádium.

- **Kappa vlny**

Kappa vlny neboli Kappa rytmus je zastaralý název pro oscilaci očního víčka. Objevuje se ve frekvencích alfa a theta. Má charakteristický tvar a bývá pozorován ve frontálních elektrodách. Nevzniká však v mozku, jak se kdysi před-

pokládalo, ale jedná se o rychlý třes více, který je mnohdy nepozorovatelný. v Elektroencefalografii se již název Kappa do rytmů moc nezařazuje, jelikož se jedná spíš o tzv. artefakt, než o vlnu.

- **Mí rytmus**

Tyto vlny jsou podobné alfa aktivitě, ovšem fyziologicky se liší. Častěji se vyskytuje u psychicky narušených pacientů, mohou být potlačeny jen pomýšlením na pohyb. Frekvence je o něco větší než u alfa vln, průměrně v hodnotách 9 – 11 Hz.

- **Lambda vlny**

Lambda rytmus se vyskytuje v bdělém stavu, je známkou reakce na vizuální podnět. Amplituda většinou kolem 20  $\mu\text{V}$ , vlny trvají cca 300 ms.

[2]

### 3.3 Tvar vln

- Monomorfní – EEG aktivita bývá tvořena jedinou dominantní frekvencí.
- Polymorfní – EEG aktivita je tvořena sloučením odlišných frekvencí.
- Sinusoidní – EEG aktivita je typická pro sinusové vlny.
- Transient – ojedinělá vlna nebo typická skupina vln, které se odlišuje od základní aktivity (např. hrot/ostrá vlna).
- Komplex – sekvence dvou či více vln i různé frekvence, odlišující se od základní aktivity (např. K-komplex).
- Bifázická vlna má dvě části – vrchol pozitivní a negativní, trifázická je tvořena třemi vrcholy (např. +, -, + nebo -, +, -).

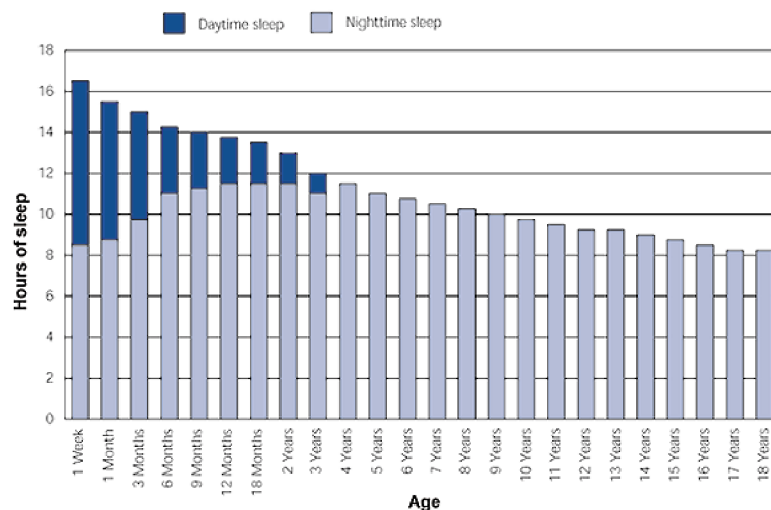
[2]

### 3.4 EEG u novorozenců

Spánek novorozenců je odlišný od starších jedinců. Střídají se u nich stádia spánku a bdění.

Malému novorozeněti se vyvíjí mozek a spánek je pro něj v tomto stádiu života nezbytný. Na obrázku 3.2 je znázorněn počet prospaných hodin dítěte do 18 let. Den je zobrazován tmavě modrou barvou, noční hodiny jsou světle modré.

U tak malého dítěte se pravidelně střídají stádia bdělosti, klidného spánku a aktivního spánku. Aktivní spánek se podobá REM spánku dospělých. Dítě má nepravidelné dýchání a časté pohyby. Klidový spánek je charakterizován fází non-REM spánku, kdy je srdeční rytmus zpomalen, pohyby očí jsou jen ojediněle, avšak svalový tonus je na rozdíl od aktivního spánku vyšší. Tyto cykly se střídají poměrně



Obr. 3.2: Závislost délky spánku na věku [10]



Obr. 3.3: Monitor mozkových funkcí OLYMPIC CFM 6000, převzato z [11]

pravidelně zhruba po 60 minutách.

Měření EEG u kojenců je náročné, jelikož dítě se neustále pohybuje, takže se v záznamu objevují artefakty a elektrody často odpadávají. Používá se osm elektrod z důvodu menšího povrchu hlavy.

aEEG – „amplitude integrated EEG“, jedná se o snadno čitelný záznam mozkové aktivity a abnormalit u novorozenců. Malého pacienta lze napojit hned po porodu. Na obrázku 3.3 vidíme přístroj pro monitorování mozkových funkcí, který lze připojit třemi elektrodami na hlavu kojence. Klinickým pracovníkům usnadňuje odhad mozkového stavu pacienta a napomáhá zlepšení diagnostiky a léčení případných nemocí.

Měření aEEG u velmi malých dětí slouží k detekci poruch centrální nervové soustavy, dále ke zjišťování, zda nenastala hypoxie a následně hypoxicko-ischemická encefalopatie.

### 3.5 EEG u dětí

U starších dětí se na EEG vyšetření musí řádně připravit. Maminky nasazují určitou dobu, před návštěvou lékaře, dětem mokré čepice, aby pro ně během vyšetření nenastal šok. Na hlavu se nasazují EEG čepice s elektrodami, do kterých se vstříkuje gel, usnadňující kontakt mezi elektrodou a pokožkou. Dítě drží kvalifikovaná zdravotní sestra, která se snaží udržet malého pacienta v klidu, aby nedocházelo k přílišným pohybovým artefaktům a bylo tak zajištěno správné pozorování všech mozkových aktivit.

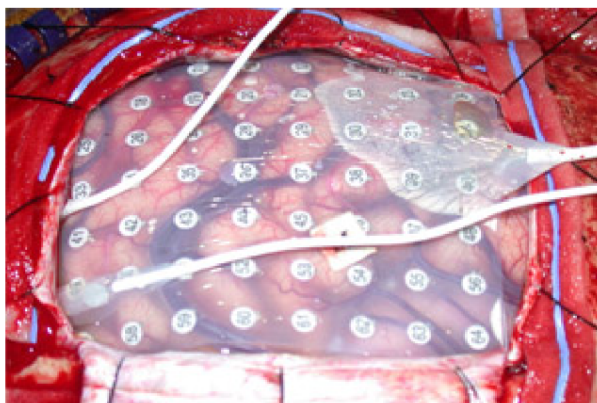
Doba vyšetření a kvalita křivek záleží do značné míry na profesionalitě sestry. Pokud je sestra ochotná, má ráda děti a dostatečně se jim při vyšetření věnuje hravou formou, dítě je klidnější a odrazí se to i na kvalitě vyšetření. Naopak u sestry, která nevykazuje vůči pacientovi patřičný zájem a ochotu, je dítě nervózní a nedokáže být ani chvíli v klidu. Vyšetření trvá většinou dvacet minut, kdy je dítě vyzýváno k určitému druhu aktivity. Dostává pokyny k otevření či zavření očí (někdy musí sestra víčka přidržovat prsty), dvě minuty zrychlené dýchání jen nosem, poté dvě minuty jen ústy, problikávání světla přes zavřené oči, atd.

### 3.6 EEG ve stáří

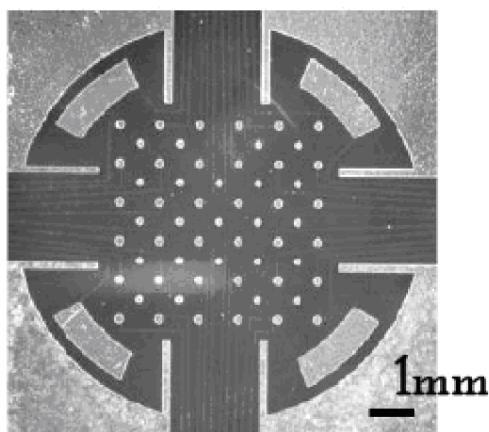
U starších lidí dochází s přibývajícím věkem ke změnám aktivity mozku. Čím jsou lidé starší, tím víc jim ubývá spánku třetího a čtvrtého stádia a naopak přibývá non-REM spánek stádia prvního a druhého pomalého spánku. Rovněž dochází ke zpomalení alfa aktivity. Sníží se jak frekvence, tak vnímání vizuálních podnětů. Častěji u žen se v pozdějším věku zvyšuje beta aktivita, kdy amplituda přesahuje i  $15 \mu V$ . Začínají narůstat i aktivity theta a delta.[2]

### 3.7 Subdurální EEG

Jedná se o snímání aktivity přímo z mozku. Tato metoda je invazivní. Při subdurálním snímání se zjišťují epileptická ložiska dotyčného viz obrázek 3.4. Frekvenční pásmo má velikost až do 500 Hz.



Obr. 3.4: Subdurální EEG, převzato z [12]



Obr. 3.5: Silikonová fólie, převzato z [12]

Elektrody jsou nejčastěji nerezové a platinové. Používá se silikonová fólie viz obrázek 3.5, která se přiloží na mozkový orgán. Snímané elektrické pole má průměr elektrod v rozmezí 2 – 5 mm, vzdálených od sebe maximálně dva centimetry. [12]

### 3.8 Elektrokortikogram ECoG (Mikro-EEG)

Jde o měření biopotenciálů přímo z mozkové kůry, jedná se o vyšetření většinou před neurochirurgickým zákrokem. Používá se elektroda, která má na konci kuličku pro snímání signálu přímo z kortexu.

Mikro-EEG detailně určuje zobrazení jakéhokoliv sensorického pole do mozkové kůry.

Po vyvolání příslušného podnětu dojde v měřené mozkové lokalitě ke zvýšení elektrické aktivity mozku (zpoždění asi 300 ms).[5]

## 4 SNÍMÁNÍ SIGNÁLU

Ke správné detekci EEG signálu je nutné dodržovat postupy a standardy pro zapojení a následného snímání signálu. Chyby se můžou projevit ve výsledku dotyčného pacienta. Při měření je nutné do grafu, resp. EEG křivky pacienta přesně zaznamenat polohu těla, zda je v sedě či leže, zda má otevřené či zavřené oči, jestli je dotyčný v klidu nebo rozrušený, atd.

### 4.1 Snímací elektrody

Elektrody pro snímání elektroencefalografického signálu jsou nejčastěji umístěny na povrchu kůže hlavy. Protože tělo je vodičem druhé třídy (má iontovou vodivost) a elektroda spolu s vodičem, jímž je připojena k přístroji, je vodičem první třídy (zde je vodivost elektronová) dochází na rozhraní elektroda – tkáň ke změně typu elektrické vodivosti. Děje, ke kterým na tomto rozhraní dochází se přičítají ke snímanému signálu a proto chceme, aby toto rozhraní mělo stálé vlastnosti. Nejčastěji se používají tyto elektrody:

- **Povrchové elektrody** nejčastěji pochloridované Ag-AgCl, mají kruhový tvar, průměr 7 - 10 mm. Jsou ploché, některé mají uprostřed otvor na vstříkování gelu pomocí stříkačky. Před upevněním této elektrody se musí kůže očistit od zrohovatělé vrstvy pokožky. Používá se směs lihu a éteru. Mělo by se používat jen nezbytně nutné množství gelu, aby nedošlo ke zkratu mezi elektrodami. To by nastalo v případě, pokud by došlo ke kontaktu s gelem, určeným pro sousední elektrodu.
- **Podkožní elektrody** se vpichují v celé délce do podkoží, délka je asi 12 mm, průměr je roven 0,5 mm. Jejich použití je výjimečné kvůli nekomfortnosti pro pacienta. Při aplikaci tohoto typu elektrod a při nedostačné dezinfikaci může dojít k infekci. Využití proto mají při vysoce náročných EEG operacích, na JIP, atd.
- **EEG čepice** je zhotovena v různých velikostech a jsou v ní umístěny elektrody podle mezinárodního rozmístění 10-20. Elektrody jsou tvořeny krátkými trubičkami s otvorem, do něhož se po upravení čepice vstříkne gel.

[2]

### 4.2 Svodový systém

Každá část mozku splňuje jinou funkci a je zodpovědná za jinou reakci. Proto každá připojená elektroda či skupina těchto elektrod je připevněná na určité místo a snímá

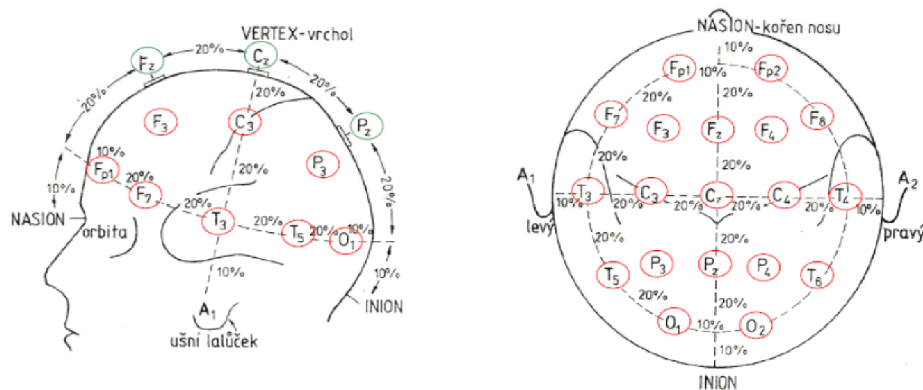


elektrickou aktivitu mozku z určitého centra. Každá elektroda má své označení písmenem. Tato písmena jsou umístěna podle oblastí snímání a označují předozadní lokalizaci.

$Fp$  je označení pro frontopolární oblast,  $F$  pro frontální,  $P$  pro parietální,  $T$  – temporální,  $O$  je označení pro okcipitální a  $C$  je pro centrální. Sudá a lichá čísla jsou označení hemisfér, kdy lichá jsou pro levou hemisféru a sudá pro pravou. [13]

Příklad:  $F8$  – značí emoční centrum,  $C4$  za sensorické funkce,  $P3$  je centrem vnímání a v  $T6$  se ukrývá paměťové centrum

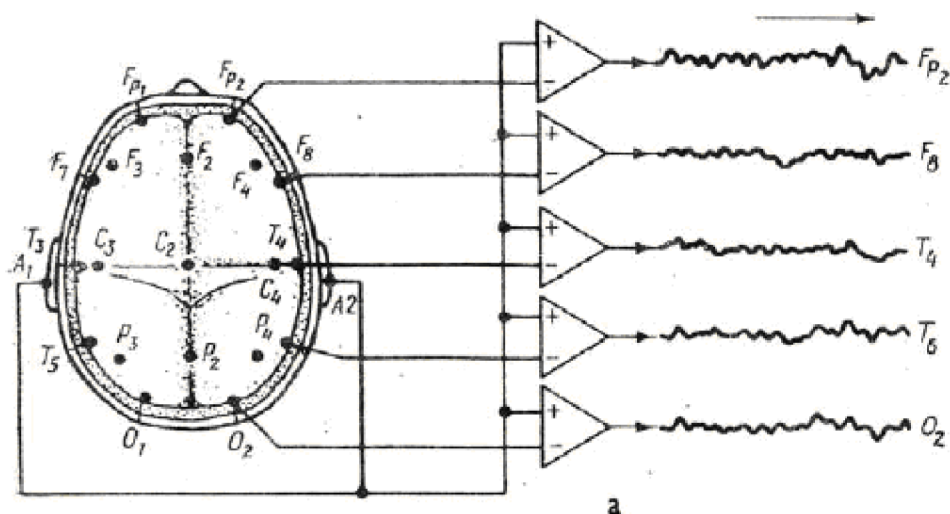
Při spojení dvou elektrod vznikne svod. Zesilovače obsahují dva vstupy –  $input1$  a  $input2$ . Tyto vstupy mají diferenční funkci. Signály přiváděné na vstupy se proto od sebe odčítají. Pokud se na obou vstupech neprojeví výchylka, mají stejný potenciál. Snímané signály z elektrod jsou měřeny oproti referenční elektrodě. Nejčastěji je tato elektroda upevněna na ušním lalůčku (označení  $A1$ ,  $A2$  na obrázku 4.1). Na čelo se pacientovi umístí zemnicí elektroda, která má přímé spojení s diferenčním zesilovačem pomocí vodiče. [9] Rozmístění svodů po povrchu mozkovny však stále není přesně vyřešeno.



Obr. 4.1: Rozmístění elektrod, převzato z [5]

### 4.3 Technika snímání

Jedná se o mezinárodní systém zapojení 10-20 (Jasper), což znamená úseky 10% a 20% celkové vzdálenosti.[5] Vyskytují se vždy ve stejné délce od referenčních bodů. Měří se ve dvou rovinách – v sagitální a koronární. Celkově je devatenáct elektrod, z toho osm párových a tři nepárové – vertexové. Schéma zapojení lze vidět na obrázku 4.1. Pokud je doveden na  $input2$  stejný signál ze všech zapojených svodů, jedná se o referenční zapojení.



Obr. 4.2: Unipolární režim, převzato z [5]

## 4.4 Režimy snímání

Existují tři základní druhy režimů snímání (montáže).

Prvním z nich je **unipolární režim**. Výstupní signál u unipolárního režimu, je rozdíl mezi potenciálem z elektrody a potenciálem pro všechny vstupy mezi referenčními elektrodami na ušních boltcích. Viz obrázek 4.2.

Druhým je **bipolární režim**. Výstupní signál u bipolárního režimu (obrázek 4.3) je rozdíl potenciálů z rozličných dvojic elektrod.

Ve **zprůměrovaném režimu** jsou zobrazeny rozdíly mezi potenciálem elektrod a zprůměrovaným signálem, pocházejícím ze všech elektrodových svodů. [5]

## 4.5 Artefakty

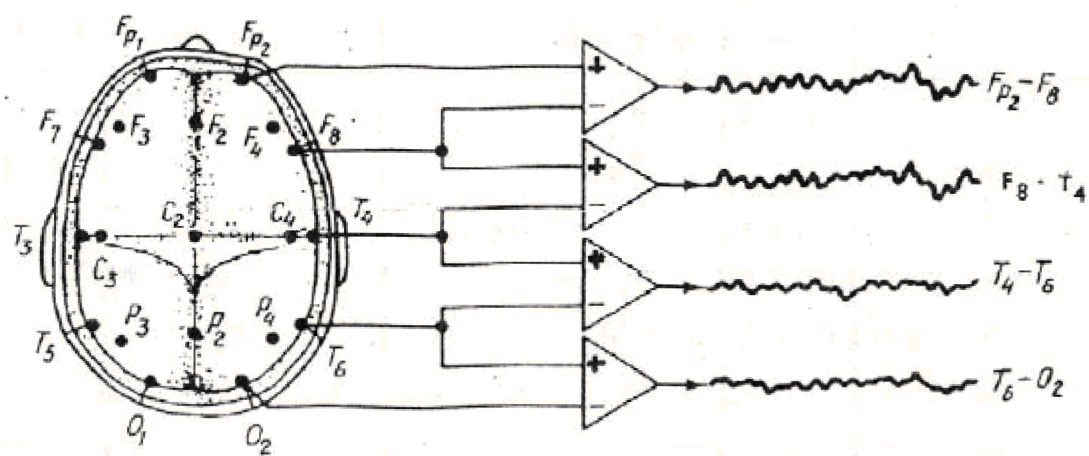
Při zpracovávání signálů se vyskytuje mnoho artefaktů známých jako grafoelementů, jež nejsou způsobovány aktivitou mozku. Následuje jejich výčet.

- **Pacientem způsobené artefakty**

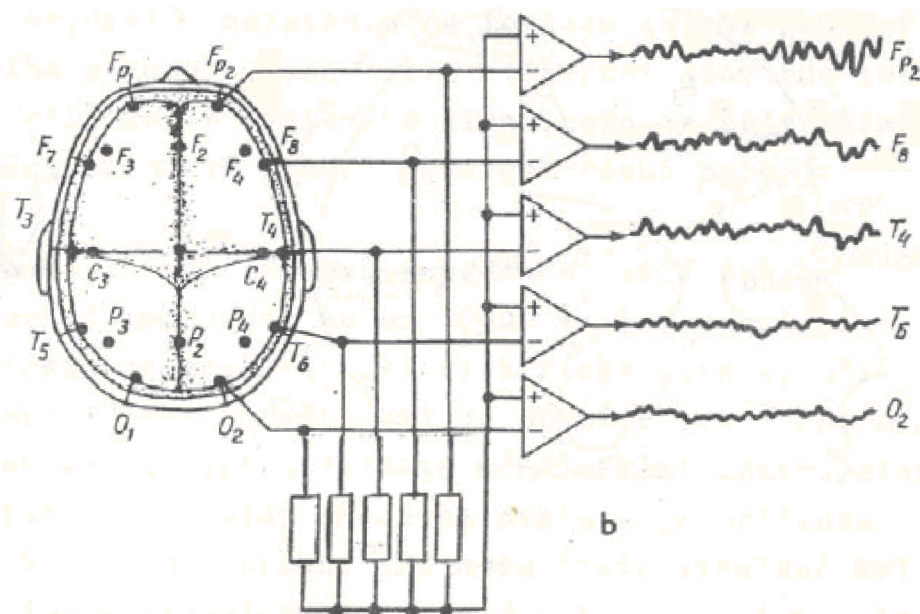
Zde se nejčastěji jedná o pohybové artefakty jedince jako jsou mrkání a třes víček, polykání, pocení. Jako další mohou být fyziologické artefakty svalové, pohybové, EKG artefakt a mnoho dalších.

- **Přístrojem způsobené artefakty**

Co se týče přístrojových artefaktů, největší podíl mají elektrody. Typické bývá špatné nasazení EEG čepice, nebo tzv. „elektrodový popping“, označován jako



Obr. 4.3: Bipolární režim, převzato z [5]



Obr. 4.4: Zprůměrovaný režim, převzato z [5]

změna impedance elektrod. Náhlá změna impedance je známkou špatného kontaktu mezi kůží a elektrodou. Může být způsobeno i problémem mezi hlavou EEG a elektrodami.

- **Artefakty z přístroje**

Elektrody mohou mít pozměněná napětí, která při sloučení se signálem z povrchu hlavy může zkreslit výsledný signál. Artefakty mohou být způsobené jiným elektromagnetickým polem v okolí EEG přístroje. [14]

## 4.6 EEG přístroj

Jako každý přístroj i elektroencefalograf má různé podoby. K této semestrální práci mi byl nabídnut k dispozici EEG přístroj od firmy Alien Technik s.r.o., který je na Fakultě elektrotechniky a komunikačních technologií v Brně. Základní měřicí jednotkou elektroencefalografu jsou diferenční zesilovače. Musí mít možnost nastavení horní a dolní propusti, nastavení zesílení, zdroj kalibračního napětí a musí umožnit zápis časových značek. EEG přístroj se skládá z komponent popsaných v kapitole 4.6.1.

### 4.6.1 Části přístroje

- **Analogová technika** – vzhledem k tomu, že snímaný signál z povrchu hlavy má velikost řádově v jednotkách až desítkách  $\mu\text{V}$ , je základem elektroencefalografu zesilovač, který signál zesílí na vhodnou úroveň pro zobrazení.
- **Zápis analogového záznamu** – nejdříve byly pro snímání EEG používány analogové přístroje (ještě elektronkové). Zesílený záznam z mozku pak byl pomocí rychlozapisovačů zapsán přímo na papír. Délka záznamu se pohybovala okolo deseti metrů a záznam se dal analyzovat pouze ručně, což byla značná nevýhoda. V průběhu rozvoje výpočetní techniky se objevily přístroje nové generace, kde se signál vytvářený mozkiem napřed zesílí (pro přímý převod má moc nízkou úroveň) a pak digitalizuje. Uživatel si pak může zvolit, zda záznam dále digitálně zpracuje a nebo jej vytiskne.
- **Číslicová technika** – nový model EEG přístroje byl vytvořen počátkem 80. let minulého století. Elektronika se nachází v head boxu (hlavici), která je umístěná co nejbližší u hlavy vyšetřované osoby, aby bylo co nejkratší spojení elektrody a hlavice. Hlavice obsahuje zesilovač a optoelektronickou vazbu pro zajištění elektrické bezpečnosti.
- **A/D převodník** – lidským okem lze rozpoznat nejvýše 120 úrovní. Díky tomu vznikl základní 8mi bitový převodník (256 úrovní). Tento převodník má častější využití než 10ti či 16ti bitové, protože u elektroencefalografie se ukládá

velké množství dat. Aby nedocházelo k tzv. aliasingu – překrytí spekter a následnému ztracení informace, musí být splněn vzorkovací teorém 4.1. [15]

$$f_{vz} > 2f_{max}. \quad (4.1)$$

Kdy  $f_{vz}$  je vzorkovací frekvence a  $f_{max}$  je maximální frekvence. Při splnění základních podmínek vzorkovacího (též Nyquistova) teorému, musí být vzorkovací frekvence vyšší než 120 Hz. Volí se dle technických konstrukcí převodníku frekvence buď 128 Hz nebo 200 Hz.

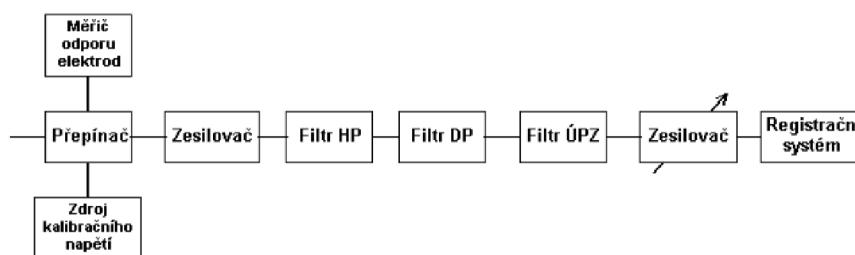
- **Analogová a digitální filtrace signálu EEG** – jako základní filtry se používají jednostupňové RC členy se strmostí 6 dB/oktávu. Ty omezují širokopásmový signál EEG na rozmezí 0,5 – 70 Hz. V záznamu jsou tak i biologické artefakty – vlny pomalejších frekvencí. Strmější filtry se neprosadily. Lze použít i síťový filtr (z důvodu odstranění rušení na frekvenci 50 Hz), zde ale dochází ke zkreslení hrotů, což jsou diagnosticky nejdůležitější grafoelementy. Součástí programového vybavení je digitální filtrace, u níž se dá nastavit strmost filtrů a kritická frekvence. U EEG se používá i označování dolní frekvence filtru  $f_d$  pomocí časové konstanty  $\tau$ [s], pro kterou platí rovnice 4.2.

$$f_d = 2\pi\tau, \text{ kde } \tau = RC. \quad (4.2)$$

[16]

## 4.6.2 Parametry přístroje EEG

Parametry přístroje jsou popsány v příloze A.1



Obr. 4.5: Blokové schéma EEG, převzato z [1]

Uvedené blokové schéma na obrázku 4.5 odpovídá jednomu kanálu analogového přístroje. Část za přepínačem se opakuje tolikrát, kolik má EEG přístroj kanálů.

Vysvětlivky k obrázku 4.5: HP – znamená horní propust, DP – dolní propust, ÚPZ –úzkopásmová zadrž.

### 4.6.3 Kalibrace

U snímaného signálu se hodnotí jeho velikost a je nezbytná kalibrace elektroencefalografického přístroje. U citlivosti se uvádí hodnota  $100 \mu V \cdot cm^{-1}$ . Kalibrace se různí u každého přístroje. Nabízí se několik druhů kalibrací:

1. Všechny paralelní vstupy zesilovače se připojí k jednomu zdroji kalibračního napětí. Nejčastěji se jedná o napěťový skok či generátor obdélníkových impulsů.
2. Dalším typem je připojení k několika zdrojům kalibračního napětí. Toto připojení jednotlivých vstupů zesilovače je velmi složité avšak kontrolu citlivosti lze provádět během snímání.
3. Jako třetí je biologický test, v němž se všechny elektrody spojí, a signál se přivede rovnou z dotyčného pacienta. Na všech kanálech by se měl ukázat ten samý záznam, za předpokladu, že všechny kanály EEG přístroje mají stejné vlastnosti. [1]

### 4.6.4 Příslušenství

- **EEG čepice**

Existuje velká řádka EEG čepic, většinou jsou elektrody rozmístěny podle mezinárodního standardu 10-20. Některé čepice obsahují navíc referenční a zemnicí elektrodu. Cena se pohybuje kolem 5 000 Kč.

- **Elektrody**

Pro EEG přístroj od firmy Alien Technik s.r.o. se používají kalíškové a ušní elektrody, nejčastěji cínové, chloridové, zlacené a stříbrné.

- **Pasty, gely a čisticí prostředky**

I čisticích prostředků je mnoho druhů. Jsou určeny, jak na přípravu a posléze na očištění pokožky hlavy, tak na čištění čepic, nebo jako elektrovodivé gely na elektrody.

- **Kabely a redukce**

Co se týče kabelů a redukcí, vyrábí a prodává se tzv. univerzální duplexní optický kabel, jenž je kompatibilní se všemi přístroji. Dva optické kabely zajišťují spojení s počítačem, aby počítač mohl zároveň při přenosu dat ovládat vstupní jednotku. Délka kabelu je různá a hodí se pro pojízdné přístroje.

## 5 METODY ZPRACOVÁNÍ SIGNÁLŮ

### 5.1 Spektrální (frekvenční) analýza

Nejprve jsou EEG data převáděna do frekvenční oblasti, nejčastěji Fourierovou transformací. Je obecně známo, že Fourierova transformace se skládá ze základních goniometrických vln (sinus a kosinus) o určitých frekvencích a amplitudách. Z těchto částí je složena i EEG křivka. Počítá se pomocí rychlé Fourierovy transformace (FFT). Zaznamenaný signál vyjadřuje závislost amplitudy na frekvenci – spektrální křivka. Elektroencefalografický signál obsahuje artefakty a je nestacionární. Aby proběhla správná analýza, musí se vybrat bezartefaktové úseky, 1 – 2,5 sekundy dlouhých.[9]

Spektrální analýza spočívá v detekci spekter signálu a jeho krátkých úseků. Převádí tedy spektrum jako dvojrozměrnou funkci, závislou na frekvenci a pozici v čase, i když Fourierova transformace v teoretické podobě pracuje se signály neomezené délky. Prakticky analýza vychází jen z konečných úseků omezených použitým oknem. Pokud je okno formulováno jako klouzavé na časovém okně a má vhodnou délku  $N$ , může být tento přístup použit pro spektrální analýzu.[22]

### 5.2 Neuronové sítě

Neuronové sítě se používají při vyhledávání všech artefaktů (kapitola 4.5). Můžou se používat například ke zpracování elektroencefalografického signálu metodou analýzy hlavních komponent (PCA, používá se k co nejméně ztrátové kompresi dat) či metodou analýzy nezávislých komponent (ICA, snaha o oddělení nezávislých signálů). [16]

### 5.3 Dlouhodobé záznamy

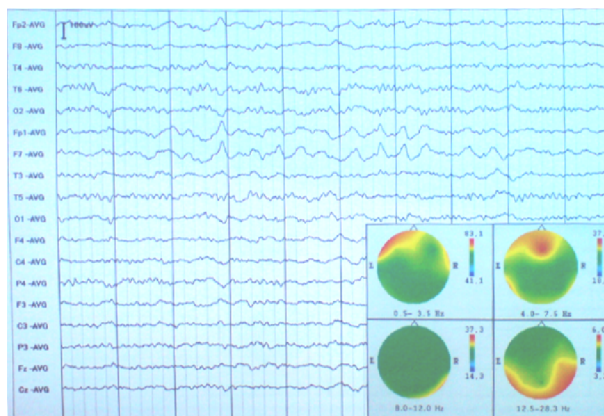
Pokud má lékař u pacienta podezření na epilepsii, je nutné zavedení dlouhodobého záznamu EEG po dobu 24 – 72 hodin, kdy pacient dělá běžnou činnost. Pokud probíhá snímání v nemocnici, často se používá v kombinaci s videozáznamem. Při zpracovávání záznamu, které je dlouhé a obtížné, se používá metoda Wave-Finder, umožňující automatickou detekci typických artefaktů. [17]

### 5.4 Topografické mapování

„Brain mapping“ (BM) - jedná se o prostorové zobrazení mozkových aktivit. BM v praxi znamená topografické mapování výsledků frekvenční analýzy, což znamená



převedení EEG dat pomocí FFT. Výsledný obrázek připomíná výsledky z CT vyšetření či magnetické rezonance, avšak při klasickém rozložení elektrod (10-20) je rozlišení BM rozpoznatelně nižší. U této metody se jedná o pouhý imaginární obraz, ne všechny barvy jsou skutečné. U některých bodů se jedná o extrapolaci. Ukázka záznamu na obrázku 5.1. [9]



Obr. 5.1: Topografické mapování, převzato z [9]

## 5.5 Dipólová analýza

V poslední době došlo k zavedení modelů, umožňujících lokalizovat v mozku jeden až tři zdroje epileptiformních ložisek. K tomuto zjištění přispěla dostupnost vyšetření na magnetické rezonanci a zavedení většího počtu snímacích elektrod.[18]

## 5.6 Evokované potenciály

Evokované signály mají oproti spontánním signálům amplitudu výrazně menší, řádově o desítky voltů, proto nemusí být v záznamu patrné. K jejich detekci je proto nutné zavedení kumulačních technik pro získání přesnějších tvarů. Spontánní aktivita je potlačena a evokovaný potenciál (pokud se vyskytl) zůstane. Aby bylo možné tvar potenciálu zhodnotit, je nutné podnět přibližně 30 krát zopakovat. Stimulačními zdroji jsou vizuální nebo zvukové podněty. [16]

### 5.6.1 Kumulační techniky

Kumulační techniky jsou určeny pro zprůměrování a zvýraznění repetičních (opaku-jících se) úseků užitečného signálu. Pokud má signál repetiční charakter a je silně



znehodnocen šumem, jehož spektra se kryjí s užitečným signálem, nelze použít lineární filtrace a je nutné nasazení kumulačních technik. Dalším důležitým úkolem při užití kumulačních technik ke zpracování neperiodických signálů je stanovení počátku každého opakování. [6]

### 5.6.2 AEP

Při měření odezvy na akustický signál se používá přístroj zvaný fonostimulátor, který vysílá do sluchátek pacienta definované podněty. Tyto zvuky mohou být čisté tóny, nebo jsou zašuměny. Tóny v průběhu vyšetření mění hlasitost, výšku a mohou být vysílány pro levé či pravé ucho. Měří se křivka sluchového prahu. [1]

### 5.6.3 VEP

Při měření vizuálních podnětů jsou na sedícího pacienta vysílány signály s předem definovaným časovým intervalem, intenzitou a frekvencí (1 – 100 Hz). Ve chvíli, kdy je vyslán impuls, je důležité zapsat do záznamu značku, která pak poslouží ke správné identifikaci evokovaných potenciálů. Obvykle odezva nastává po 30 ms a trvá cca 300 ms.

- Horní propust – doporučení mezního kmitočtu maximálně 1 Hz (12 dB/oktávu).
- Dolní propust – doporučený mezní kmitočet minimálně 100 Hz (24 dB/oktávu).
- Úzkopásmová zadrž pro použití na síťový kmitočet není doporučena (stínění, stíněná místnost).
- Napěťové zesílení v rozmezí 20 000 až 50 000.
- Vstupní impedance zesilovače – minimálně 100 M $\Omega$ .
- Vzorkovací frekvence kolem 500 Hz a 12 bitů.
- Počet měřených simulací, které se pak průměrují je 64 (u dětí méně). [1]

## 6 PRAKTICKÁ MĚŘENÍ

Cílem této bakalářské práce bylo navrhnout tři praktických úloh v elektroencefalografii, dále je popsat a prakticky ověřit. Dohromady byla data získána od čtrnácti dobrovolníků ve věku 21 – 25 let. Dobrovolníci byli před každým měřením řádně poučeni a bylo jim vysvětleno, co je v dané úloze čeká. Podmínky byly pro každého měřeného stejné. Uvolněně leželi na křesle, měli zavřené oči, pootevřená ústa a během měření měli zakázáno se jakkoli pohybovat, aby nedocházelo k nežádoucím pohybovým artefaktům. Na hlavu jim byla připevněna čepice s elektrodami (viz Příslušenství 4.6.4), do nichž musel být tupou injekční stříkačkou vpraven vodivý gel, snižující impedanci pokožky. Průměrná délka měření se pohybovala kolem čtyřiceti pěti až padesáti minut. Na obrázku 6.1 lze vidět EEG pracoviště a zapojení pacienta. Pro měření byl použit program TruScan od firmy Alien Technik s.r.o. Následující obrázek 6.2 znázorňuje pracovní plochu pro zaznamenávání mozkových aktivit. Vlevo nahoře je zobrazena hlava s elektrodami, připevněnými na čepici. Barva zapojených elektrod se postupně mění od červené po modrou, podle velikosti impedance pokožky. Pokud je barva červená, impedance je značně velká a signál není snímatelný. Pokud hodnota impedance klesne pod  $20 \Omega$ , tak se barevné znázornění elektrod přemění nejdříve na žlutou, následně při hodnotě  $10 \Omega$  na zelenou. Klesne-li impedance k hodnotám pod  $5 \Omega$ , je signál nejčistší a záznam je nejkvalitnější. Dalším nastavitelným parametrem snímání je citlivost a filtr. Mezní kmitočty filtru byly v rozmezí 0,5 – 100 Hz. Citlivost byla nastavována od  $70 \mu V$  do  $100 \mu V$ . [23].

V pravém horním rohu pracovní plochy je místo na poznámky, které se v průběhu měření zapisují pomocí klávesových zkratk do záznamu. Vyhodnocující tak získá EEG křivku se značkami, díky nimž může snadněji hodnotit změny v záznamu mozkové aktivity.

### 6.1 1. úkol - epilepsie

V první úloze byl porovnáván záznam dobrovolníka, trpícího epilepsií, oproti záznamům od zbylých třinácti lidí. Cílem bylo porovnat záznam nemocného se zdravými jedinci v průběhu měření.

#### **Epilepsie**

Epilepsie je neurologické onemocnění mozku, způsobující záchvaty postiženého. Je velmi omezující a pacientovi trvale komplikující život. Pokud se u osoby vyskytne záchvat, je nutné jít na komplexní neurologické vyšetření, které vede k potvrzení či vyvrácení další nemoci. Epileptické záchvaty totiž mohou být jen jedním

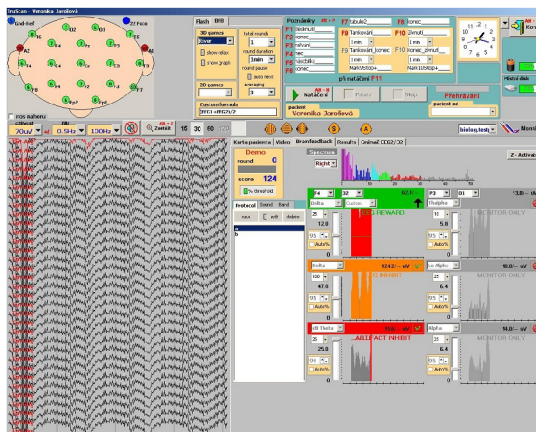
ze symptomů. Epilepsie může být dědičná či vrozená. Elektroencefalografie se zde využívá k upřesnění diagnózy. [20]

### 6.1.1 Návod

Dobrovolník ležel se zavřenýma očima v naprosto klidné místnosti. Po minutě záznamu byl vyzván ke čtení jednoduchého textu. Číst musel potichu, tzv. „v duchu“, aby nedocházelo k pohybovým artefaktům při artikulaci. V tomto případě dobrovolník četl knihu „Povídání o Pejskovi a Kočičce“. Po třiceti sekundách čtení dobrovolník zavřel oči a další minutu se snímala jeho klidová mozková aktivita. Následně byl znovu vyzván k otevření očí a opět třicet sekund četl. Tentokrát se jednalo o text složitější, složený ze slov, která měřený jedinec neznal, nebo mu dělaly problém je vyslovit, viz příloha C. Po další minutě klidu byla dobrovolníkovi puštěna po dobu šedesáti sekund Malá noční hudba od Wolfganga Amadea Mozarta. Následoval třiceti vteřinový interval klidu a dobrovolníkovi byla puštěna další hudba, ale jiného hudebního žánru – skupina Queen a skladba Don't stop me now, která opět hrála jednu minutu. Po skončení úryvku dobrovolník ještě třicet sekund ležel v klidu a tichu. Poté byl záznam ukončen.



Obr. 6.1: Zapojení pacienta a EEG pracoviště



Obr. 6.2: Pracovní plocha

### 6.1.2 Výsledky měření

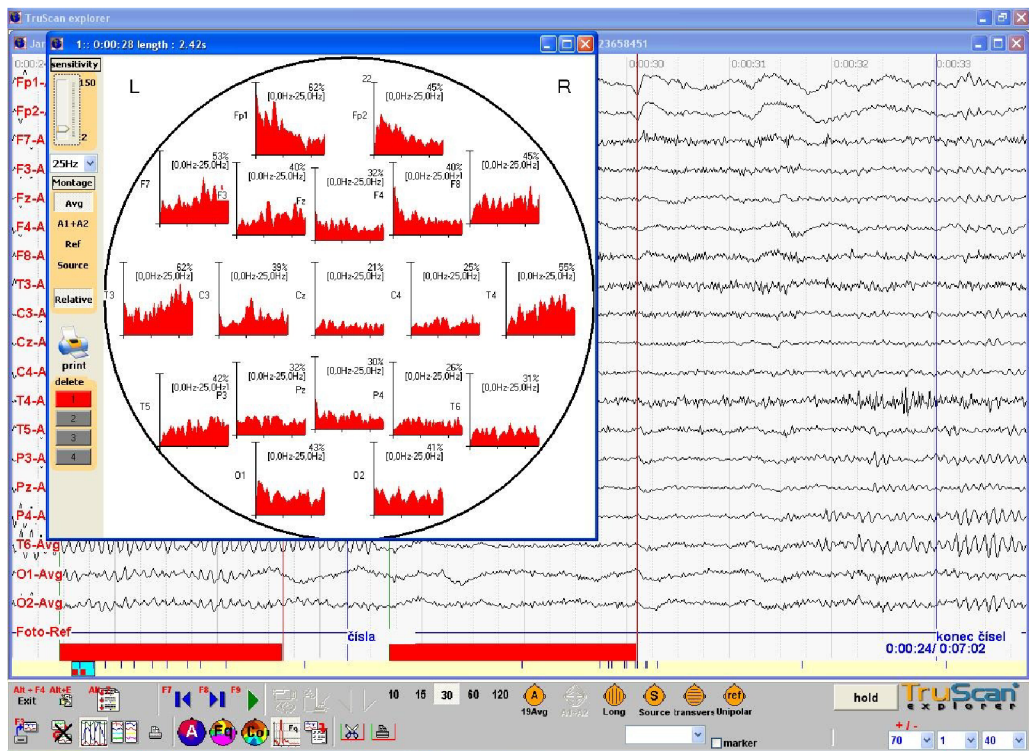
Výsledky se hodnotily pomocí spektrální analýzy (viz 5.1) záznamu, při použití referenční a relativní elektrody, obrázek 6.3. Záznamy ostatních dobrovolníků jsou na příložném záznamovém mediu. Po vymezení určitého úseku v záznamu se zobrazí mapa hlavy, orientace je usnadněná pomocí naznačení umístění nosu. Na imitaci hlavy jsou znázorněny všechny použité elektrody a hodnoty na nich naměřené. Všechny hodnoty byly zapsány do následujících tabulek na obrázcích.

Na prvním obrázku 6.4 jsou znázorněny hodnoty člověka trpícího epilepsií, porovnávací nárůst (zvýrazněná políčka) u každého úkolu oproti předcházející klidové hodnotě. Na následujícím obrázku je tabulka 6.5 zaznamenávající průměrné hodnoty ostatních dobrovolníků. Stručný popis daných elektrod se nachází v kapitole 4.2 Svodový systém.

Porovná-li se záznam od měřeného epileptika se záznamy pořízených od ostatních dobrovolníků, je poznat rozdíl. U osoby trpící epilepsií se při četbě úryvku Povídání o Pejskovi a Kočičce navýšila hodnota oproti klidu na elektrodách, zaznamenávajících činnost temporálních laloků a v menší míře frontálních laloků (viz 2.4 Mozkové laloky). U ostatních měřených bylo navýšení hlavně na lalocích čelních. Při četbě složitějšího textu si epileptik vedl obdobně jako ostatní. Jen navíc přibyla aktivita na parietálních lalocích. Při poslechu klasické hudby se třinácti lidem hodnoty oproti klidu snížily, nebo zůstaly na stejné úrovni. U osoby s epilepsií nastal nárůst na elektrodách pro čelní, týlní a temenní lalok.

Na obrázku 6.6 je znázorněno porovnání záznamů osoby, trpící epilepsií (označen r20) a průměrů zbývajících třinácti dobrovolníků. Růžová políčka v tabulce značí nárůst procent na daných elektrodách oproti průměrným hodnotám.





Obr. 6.3: Zobrazení hodnocení pomocí spektrální analýzy

	1. odpočinek	1. žetba	2. odpočinek	2. žetba	3. odpočinek	1. hudba	4. odpočinek	2. hudba
Fp1	41,00	41,00	36,00	39,00	34,00	38,00	43,00	44,00
Fp2	42,00	41,00	36,00	44,00	41,00	39,00	43,00	41,00
F7	38,00	40,00	35,00	42,00	35,00	39,00	37,00	37,00
F3	28,00	26,00	28,00	32,00	27,00	28,00	28,00	27,00
Fz	34,00	27,00	42,00	34,00	37,00	36,00	37,00	44,00
F4	30,00	31,00	30,00	30,00	42,00	30,00	30,00	32,00
F8	36,00	39,00	34,00	47,00	33,00	32,00	34,00	32,00
T3	55,00	51,00	57,00	61,00	50,00	51,00	37,00	51,00
C3	32,00	29,00	34,00	30,00	29,00	27,00	28,00	25,00
Cz	24,00	26,00	29,00	23,00	25,00	25,00	28,00	28,00
C4	36,00	35,00	40,00	43,00	33,00	33,00	49,00	36,00
T4	35,00	41,00	37,00	47,00	61,00	45,00	46,00	51,00
T5	46,00	57,00	43,00	46,00	40,00	40,00	54,00	41,00
P3	30,00	27,00	26,00	28,00	26,00	26,00	29,00	27,00
Pz	33,00	39,00	40,00	47,00	40,00	43,00	37,00	38,00
P4	37,00	38,00	38,00	42,00	37,00	62,00	45,00	63,00
T6	41,00	49,00	49,00	40,00	40,00	46,00	40,00	41,00
O1	56,00	45,00	61,00	47,00	49,00	55,00	57,00	46,00
O2	57,00	40,00	57,00	42,00	53,00	55,00	53,00	47,00

Obr. 6.4: Porovnání odpočinku a zadaných úkolů u epileptika [%]

	1. odpočinek	1. čtba	2. odpočinek	2. čtba	3. odpočinek	1. hudba	4. odpočinek	2. hudba
Fp1	39,54	46,78	41,14	49,50	39,57	38,36	43,00	40,21
Fp2	38,54	44,43	36,07	43,36	37,07	37,79	41,07	39,57
F7	38,00	54,07	38,00	51,78	36,71	40,36	40,00	39,07
F3	32,08	39,43	33,07	37,43	33,21	33,64	35,36	33,29
Fz	32,08	28,28	31,43	29,28	32,36	31,14	31,64	33,29
F4	31,54	31,00	33,00	31,00	32,57	31,29	32,79	33,14
F8	35,23	46,43	35,71	45,71	38,29	35,64	39,79	35,57
T3	43,08	52,00	45,14	51,64	46,71	42,71	41,07	42,36
C3	31,85	30,71	34,86	35,86	35,00	34,93	32,50	33,79
Cz	31,31	26,71	31,14	27,21	30,36	29,71	32,50	30,43
C4	29,46	28,71	30,00	30,28	31,29	28,86	31,79	31,93
T4	41,92	44,00	38,28	43,14	42,93	42,14	37,36	42,14
T5	45,77	42,86	42,86	43,57	44,57	41,86	48,36	46,14
P3	33,23	31,14	32,28	30,00	31,36	31,36	32,50	31,71
Pz	33,15	31,21	36,86	32,64	35,71	35,21	38,71	34,29
P4	36,69	36,71	38,14	33,00	40,86	39,36	36,71	39,57
T6	55,92	45,43	52,36	40,93	50,36	51,64	50,29	51,43
O1	54,69	44,07	54,72	44,57	55,00	51,57	53,43	53,36
O2	55,46	45,14	57,21	49,14	58,21	55,50	55,36	57,00

Obr. 6.5: Porovnání odpočinku a zadaných úkolů ostatních dobrovolníků [%]

Epilepsie

	1. odpočinek		1. čtba		2. odpočinek		2. čtba		3. odpočinek		1. hudba		4. odpočinek		2. hudba		5. odpočinek	
	r20	prum	r20	prum	r20	prum	r20	prum	r20	prum	r20	prum	r20	prum	r20	prum	r20	prum
Fp1	41,00	39,54	41,00	46,78	36,00	41,14	39,00	49,50	34,00	39,57	38,00	38,36	43,00	43,00	44,00	40,21	37,00	42,00
Fp2	42,00	38,54	41,00	44,43	36,00	36,07	44,00	43,36	41,00	37,07	39,00	37,79	43,00	41,07	41,00	39,57	38,00	38,00
F7	38,00	38,00	40,00	54,07	35,00	38,00	42,00	51,78	35,00	36,71	39,00	40,36	37,00	40,00	37,00	39,07	35,00	40,79
F3	28,00	32,08	26,00	39,43	28,00	33,07	32,00	37,43	27,00	33,21	28,00	33,64	28,00	35,36	27,00	33,29	28,00	35,00
Fz	34,00	32,08	27,00	28,28	42,00	31,43	34,00	29,28	37,00	32,36	36,00	31,14	37,00	31,64	44,00	33,29	28,00	30,43
F4	30,00	31,54	31,00	31,00	30,00	33,00	30,00	31,00	42,00	32,57	30,00	31,29	30,00	32,79	32,00	33,14	31,00	31,86
F8	36,00	35,23	39,00	46,43	34,00	35,71	47,00	45,71	33,00	38,29	32,00	35,64	34,00	39,79	32,00	35,57	31,00	35,79
T3	55,00	43,08	51,00	52,00	57,00	45,14	61,00	51,64	50,00	46,71	51,00	42,71	37,00	41,07	51,00	42,36	37,00	41,93
C3	32,00	31,85	29,00	30,71	34,00	34,86	30,00	35,86	29,00	35,00	27,00	34,93	28,00	32,50	25,00	33,79	66,00	38,93
Cz	24,00	31,31	26,00	26,71	29,00	31,14	23,00	27,21	25,00	30,36	25,00	29,71	28,00	32,50	28,00	30,43	23,00	30,07
C4	36,00	29,46	35,00	28,71	40,00	30,00	43,00	30,28	33,00	31,29	33,00	28,86	49,00	31,79	36,00	31,93	40,00	31,07
T4	35,00	41,92	41,00	44,00	37,00	38,28	47,00	43,14	61,00	42,93	45,00	42,14	46,00	37,36	51,00	42,14	36,00	37,57
T5	46,00	45,77	57,00	42,86	43,00	42,86	46,00	43,57	40,00	44,57	40,00	41,86	54,00	48,36	41,00	46,14	42,00	46,43
P3	30,00	33,23	27,00	31,14	26,00	32,28	28,00	30,00	26,00	31,36	26,00	31,36	29,00	32,50	27,00	31,71	26,00	31,00
Pz	33,00	33,15	39,00	31,21	40,00	36,86	47,00	32,64	40,00	35,71	43,00	35,21	37,00	38,71	38,00	34,29	43,00	34,71
P4	37,00	36,69	38,00	36,71	38,00	38,14	42,00	33,00	37,00	40,86	62,00	39,36	45,00	36,71	63,00	39,57	27,00	37,79
T6	41,00	55,92	49,00	45,43	49,00	52,36	40,00	40,93	40,00	50,36	46,00	51,64	40,00	50,29	41,00	51,43	44,00	52,29
O1	56,00	54,69	45,00	44,07	61,00	54,72	47,00	44,57	49,00	55,00	55,00	51,57	57,00	53,43	46,00	53,36	45,00	54,07
O2	57,00	55,46	40,00	45,14	57,00	57,21	42,00	49,14	53,00	58,21	55,00	55,50	53,00	55,36	47,00	57,00	53,00	57,14

Obr. 6.6: Porovnání výsledků epileptika (r20) a ostatních dobrovolníků [%]

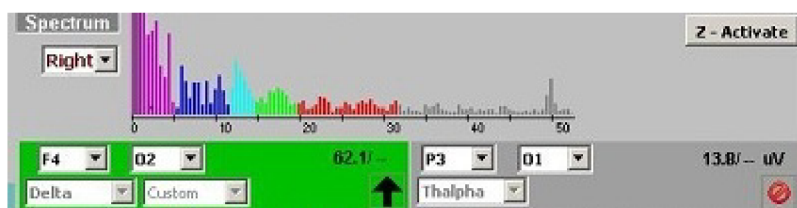
### 6.1.3 Výhody a nevýhody

Mezi hlavní nevýhody tohoto měření patřil fakt, že dobrovolník oba zadané texty musel číst sám pro sebe. Sice nedocházelo k pohybovým artefaktům, zato nebylo možné kontrolovat, zda byl text opravdu čten, či nikoli. Muselo se věřit měřeným osobám, že berou měření vážně a opravdu si budou daný úryvek číst. Další nevýhodou byl neustálý ruch v okolí laboratoře, což vzbuzovalo zájem dobrovolníka v době, kdy měl být klidný a uvolněný. Pokud někdo procházel po chodbě a mě-

řená osoba neměla vykazovat žádnou činnost, nebylo výjimkou, že se na EEG křivce zobrazily artefakty, spojené s tímto jevem. Klid na chodbě ovšem nebylo možné zajistit, protože měření probíhalo v laboratoři, umístěné na chodbě mezi pracovny, v pracovní dny.

## 6.2 2. úkol - biofeedback, reakce na podněty

Druhá úloha se skládala ze dvou částí. Jako první hrál dobrovolník 3D hru – "River". Jeho úkolem bylo myslí naplnit vyprahlé koryto řeky vodou. Až se mu podařilo získat souvislou hladinu, začaly do řeky skákat barevné rybičky. Za každou rybku v řece dostal dobrovolník bod. Nejprve měla měřená osoba tři minuty čas na procvičení, aby si mozek navyknul na princip hry a poté byly měřeny dvě minuty od první ryby. Každý z dobrovolníků měl stejný čas a stejné podmínky, avšak jejich skóre bylo rozdílné. Před vlastním snímáním musí osoba provádějící měření na pracovní ploše nastavit spektrum snímaného signálu, zobrazeno na obrázku 6.7 dole. Každý člověk je jedinečný a má odlišné projevy mozku. Spektrum se nastavuje rozdílně pro levou a pravou hemisféru. Změny se zaznamenávají v určitém frekvenčním spektru.



Obr. 6.7: Spektrum pro EEG Biofeedback

### EEG Biofeedback

Biofeedback neboli biologická zpětná vazba je terapeutická metoda, nacházející v současnosti stále větší uplatnění. Jedná se o samoučení mozkového orgánu a člověk sám se učí ovládat své mozkové vlny. Nejčastěji se EEG biofeedback využívá při migrénách, stresových stavech v práci, při poruchách pozornosti, dyslexii atd. Aby byl výsledný účinek patrný, musí se absolvovat několik desítek sezení.

Nejčastěji se využívá počítačových her, dále pak vizuálního či akustického cvičení. Každé osobě se cvičení sestavuje na míru, dle jeho potřeb. Díky biofeedbacku se mozek naučí trvale a efektivněji využívat své možnosti.

### Princip hry River

Hra River je jednou z mnoha 3D her, používaných u biologické zpětné vazby (EEG biofeedback). Princip hry je poměrně jednoduchý. Vše závisí na převládajícím rytmu EEG. Bystřejší osoba má vyšší beta aktivitu a plnější koryto řeky, což souvisí



s vyšším skóre hry. Naopak objevující se delta aktivita, způsobí vyprahlejší koryto a znamená utlumení mozkových činností.

### Reakce na podněty

V druhé části druhé úlohy se pokusná osoba opět uložila do křesla, zavřela oči, pootevřela ústa a v klidu ležela. Tentokrát se klidová aktivita měřila dvě minuty. Po dvou minutách byla osoba z klidu měřícím pracovníkem vyrušena hlasitým tlesknutím, následovalo půl minuty klidu a zakřičení. Po další půl minutě se křik opakoval. V prvním případě bylo použito: „Bu, bu, bu!“ v případě druhém „Pozor, padá!“ Dobrovolník znovu ležel v klidu a po minutě ticha, kdy už si myslel, že měření končí, se ozvalo další hlasité tlesknutí. Pak už byl dobrovolník ponechán odpočinku a po další půl minutě klidu bylo měření ukončeno. Cílem této úlohy bylo změření reakční doby pacienta na hlasitý podnět.

### 6.2.1 Výsledky měření

Nejprve byla hrána 3D hra River. Dobrovolník se nejdříve s hrou seznamoval, zjišťoval, co nejvíce napomáhá skokům ryb. Postupem času si každý měřený našel svůj vlastní způsob. Někteří preferovali počítání příkladů – násobilka, přičítání čísel, atd. Jiní se snažili soustředit na určité místo ve hře (větev, kámen, tečka). Skóre všech čtrnácti dobrovolníků, v prvním i druhém kole, jsou zaznamenány na obrázku 6.8.

Dobrovolníci	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.	11.	12.	13.	14.
<b>1. kolo</b>	35	27	27	27	25	24	23	21	20	18	17	17	17	14
<b>2. kolo</b>	29	31	21	12	11	46	29	20	6	20	22	15	11	14

Obr. 6.8: Dosažené skóre

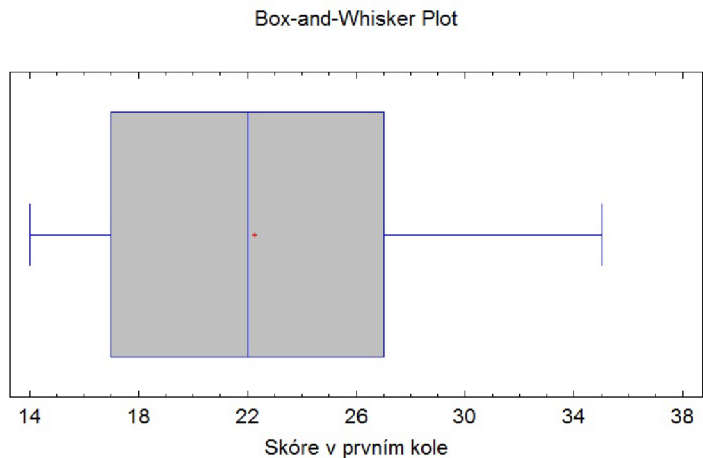
Grafické znázornění prvního kola je zobrazeno v krabicovém grafu na obrázku 6.9. V grafu jsou zaznačeny minimální i maximální hodnoty, červené plus znamená průměr, svíslá modrá čára značí medián.

Ve druhém, kratším, kole si dobrovolníci vedli následovně:

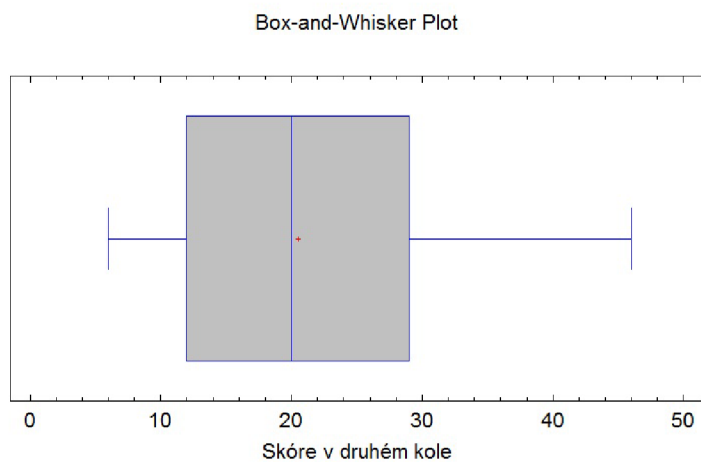
Průměrné skóre v prvním kole bylo 22,29 bodů a směrodatná odchylka 5,66 bodů. Vev druhém kole byl průměr 20,50 bodů a směrodatná odchylka byla rovna 10,54 bodů. Hodnoty byly vypočítány pomocí programu STATGRAPHICS Centurion.

V druhé části úkolu byl dobrovolník měřen v nepravidelných intervalech, aby předem nečekal vyrušení z klidového stavu. Musela zde být jistá náhodnost. Na obrázku 6.11 níže je záznam měření osoby při rekcí na tlesknutí. Byla měřená doba od zadání podnětu po viditelnou změnu EEG křivky. Pokud se změna vyskytne na všech elektrodách, jedná se o tzv. generalizovaný vzorec EEG [20]. V měřených časech





Obr. 6.9: Grafické znázornění výsledků z 1. kola



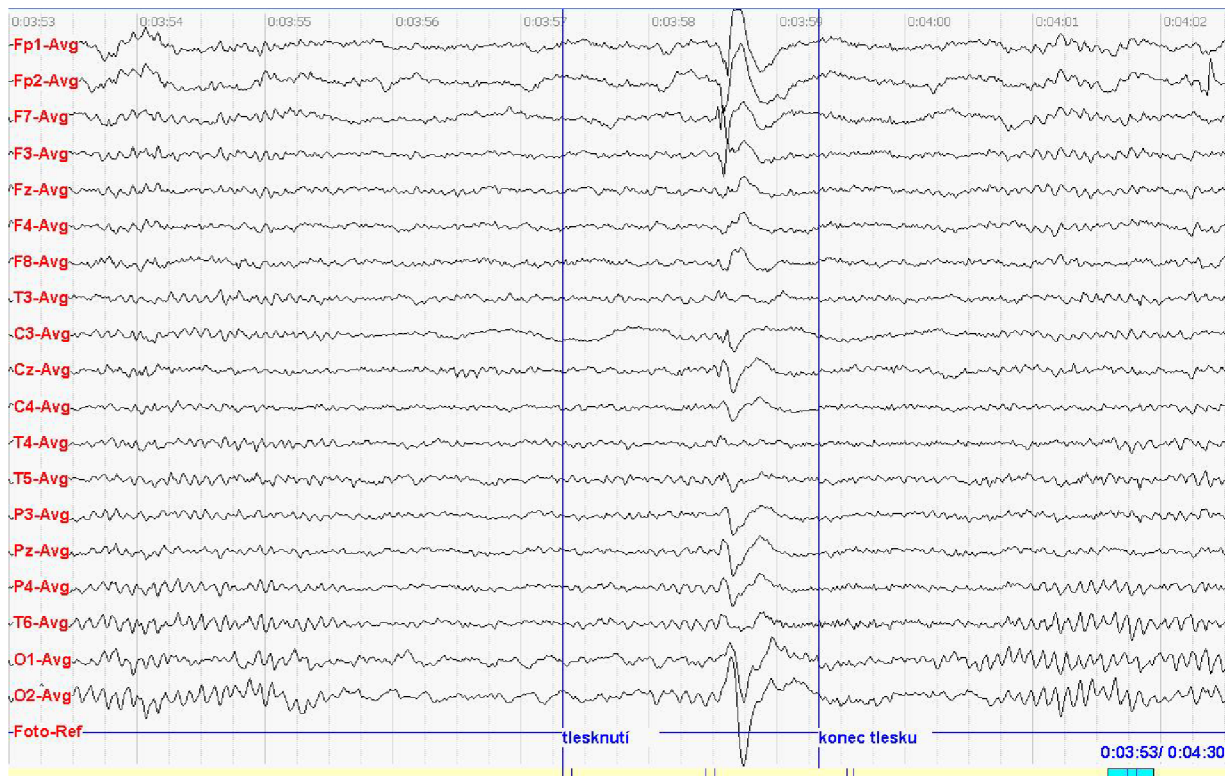
Obr. 6.10: Grafické znázornění výsledků z 2. kola

je započtena i reakční doba osoby provádějící měření, která je přibližně 0,1 sekund. Všech čtrnáct výsledků bylo zprůměrováno a zapsáno do tabulky 6.1

PODNĚT	ČAS [s]
1. tlesknutí	0,98
2. tlesknutí	1,11
1. zakřičení	0,60
2. zakřičení	0,64

Tab. 6.1: Reakce na podněty

Z tabulky je zřejmé, že reakce na druhý podnět, ať tlesknutí, či zakřičení,



Obr. 6.11: Reakce na podnět

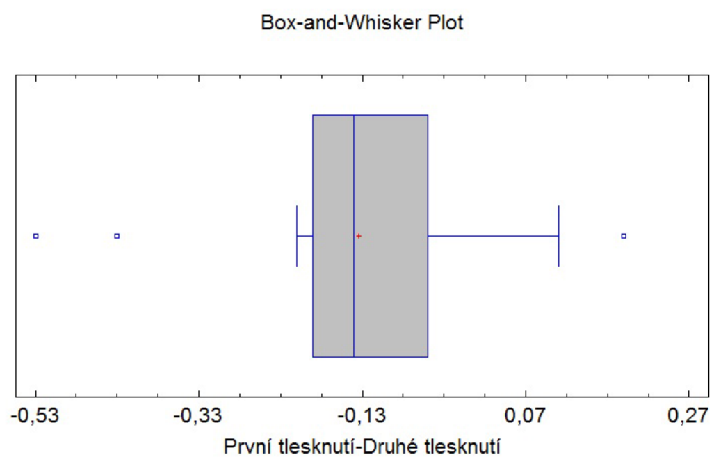
měla delší reakční dobu, což je způsobené očekáváním dobrovolníka, že přijde další vyrušení, i když o něm nebyli dopředu informováni.

Na obrázcích níže jsou porovnány reakce nejprve na tlesknutí - obrázek 6.12, poté následuje porovnání prvního a druhého zakřivení, obrázek 6.13. Na grafech jsou vidět odlehlá pozorování, horní a dolní kvartily, průměry, znázorněny červeným znakem +, mediány, horní a dolní meze vnitřních hradeb. S těmito grafy souvisí obrázek 6.14, na němž jsou časové hodnoty pro reakce, zvláště pro tlesknutí a zvláště pro zakřivení.

Jednotlivé histogramy, znázorňující průměrné výsledky u každé reakce jsou zobrazeny v příloze D E

## 6.2.2 Výhody a nevýhody

V tomto měření mohly být ověřeny dobrovolníkovy reflexy. Za nevýhody lze považovat pohybové artefakty, vznikající po vyvolání podnětů. Jednalo se o spontánní pohyby v důsledku zleknutí se a následného smíchu dobrovolníka, například na již zmíněné "Bu, bu, bu!".



Obr. 6.12: Porovnání reakcí na tlesknutí



Obr. 6.13: Porovnání reakcí na zakřičení

1. tlesknutí		2. tlesknutí		1. zakřičení		2. zakřičení	
rozptyl	0,07	rozptyl	0,11	rozptyl	0,08	rozptyl	0,04
sm. odchylka	0,26	sm. odchylka	0,34	sm. odchylka	0,29	sm. odchylka	0,20
median	0,97	median	1,03	median	0,47	median	0,59
průměr	0,97	průměr	1,10	průměr	0,58	průměr	0,62

Obr. 6.14: Statistika reakcí [s]

## 6.3 3. úkol - testování paměti

### 6.3.1 Návod

Ve třetím, posledním úkolu, se testovala paměť dobrovolníka. Měřený byl uložen do stejné pozice jako v prvním úkolu – ležel uvolněně v křesle se zavřenýma očima. Po třiceti sekundách klidu byl dobrovolník vyzván k otevření očí a zapamatování si čísla. Byl mu ponechán čas na dvě až tři přečtení daného numerického symbolu. Poté musel oči zavřít a správně jej zopakovat. Čísel bylo pět, jejich obtížnost se postupně zvyšovala. Pro toto měření byla použita čísla 138, 3529, 52703, 462714 a 7491572. Následovala další půl minuta odpočinku, po které byl měřený opět vyzván k otevření očí. Nyní měl 30 sekund na zapamatování patnácti věcí, které byly nakreslené a popsáné na velké tabuli, umístěné před ním. Po vypršení časové lhůty si musel vzpomenout na co nejvíce věcí z dané tabule. Na rozmýšlení měl celou minutu. Po minutě byl ze vzpomínání vyrušen, třicet vteřin odpočíval a následně řešil početní příklady. Měřila se doba od zadání příkladu, až po vyřčení správného výsledku. Příkladů bylo pět –  $4 \cdot 8$ ,  $7 \cdot 6$ ,  $12 \cdot 8$ ,  $14 \cdot 5$  a  $17 \cdot 3$ . Po šedesáti sekundách byl dobrovolník opět vyzván k vyjmenování co nejvíce věcí z tabule, aniž by ji znovu viděl. Opět mu byla ponechána minuta na vzpomínání, následovalo třicet vteřin klidu a měření bylo ukončeno.

Za každou část z 3. úkolu byl dobrovolník odměněn body a na konci měření obdržel známku – uvedeno v tabulce 6.3.

### 6.3.2 Výsledky měření

Pokud měřený subjekt správně odpověděl na všechny úkoly, mohl být ohodnocen až 100 body. Za první úkol bylo možné získat maximálně pět bodů - za každé správně zopakované číslo dobrovolník obdržel jeden bod. Za druhý úkol, v němž si měl měřený zapamatovat a následně zopakovat co nejvíce z patnácti věcí na tabuli (uvedena v příloze F, mohl získat až třicet bodů. Jednotlivé obrázky byly za dva body. V následující části měl dobrovolník vypočítat pět příkladů z malé a velké násobilky po třech bodech, dohromady tedy patnáct bodů. V posledním z úkolů si měl měřený subjekt vzpomenout zase na co nejvíce věcí z tabule, tentokrát však byl každý vzpomenující obrázek za tři body. Což dohromady za patnáct obrázků dělá čtyřicet pět bodů. Posledních zbývajících pět bodů do sta uděloval měřící pracovník subjektivně za svižnost dobrovolníka při plnění úkolů. Aby pokusná osoba získala posledních pět bodů, musela odpovědět na všechny úkoly správně a poměrně svižně. Pokud jedinec odpovídal středně rychle, obdržel tři body, pokud váhal s odpověďmi, ale přesto odpovídal správně, dostal bod pouze jeden. Následující odstavec je zrekapitulován v tabulce 6.2.

	MAXIMUM BODŮ
ČÍSLA	5
TABULE	30
NÁSOBILKA	15
TABULE (2)	45
SVIŽNOST	5

Tab. 6.2: Testování paměti

BODY	ZNÁMKA	OSOB	DOSAŽENÉ BODY
100 – 86	1	1	87
85 – 66	2	8	82, 80, 77, 72 71, 70, 69, 66
65 – 51	3	5	65, 63, 63, 59, 57
50 – 36	4	1	43
35 – 0	5	0	0

Tab. 6.3: Hodnocení 3. úkolu

Během měření bylo dosaženo velmi zajímavého poznatku. Studenti s vyšším prospěchovým průměrem dopadli při počítání příkladů z malé a velké násobilky podstatně hůř, než jedinci s průměrem nižším. Například průměrná doba vypočítání příkladu  $7 \cdot 6 = 42$  se pohybovala kolem 7,92 sekund. Mezi extrémy patří rekordní čas 27,61 vteřin, patřící studentovi s vyšším prospěchem. Nejkratší doba pro tento příklad byla 1,90 sekund. V následující tabulce 6.4 jsou zapsány příklady a jejich průměrná doba výpočtu.

PŘÍKLAD	ČAS [s]
$4 \cdot 8 = 32$	6,42
$7 \cdot 6 = 42$	7,92
$12 \cdot 8 = 96$	6,15
$14 \cdot 5 = 70$	6,98
$17 \cdot 3 = 51$	7,94

Tab. 6.4: Počítání příkladů

V příloze B.1 je tabulka se sloupci označenými 1. - 5. příklad. Zde jsou zapsány procentuální hodnoty, kterých bylo dosaženo na jednotlivých elektrodách. Největší nárůst hodnot byl zpozorován na elektrodách zachycujících aktivitu frontálních laloků. Frontální laloky jsou zodpovědné za tvorbu nových slov a rozvoj řeči [24]. Stejný nárůst byl zaznamenán i při opakování zadaných čísel - sloupce označené 1. -

5. číslo. Dobrovolníci si pro sebe opakovali numerické symboly, resp. početní příklad, což se projevilo zvýšenou elektrickou aktivitou v dané lokalitě mozku a tím i zvýšení procentuální hodnoty na elektrodách.

S ní souvisí tabulka na obrázku 6.15 uvedená níže, která je její zkrácenou verzí. Nachází se zde průměr ze všech čísel i průměr ze všech příkladů. Je porovnáván nárůst procent oproti klidové hodnotě (opět zvýrazněná políčka).

Obrázek s tabulkou 6.16 nahoře představuje průměrné reakce dobrovolníků na již zmíněnou tabuli. Tabulka je rozdělená do tří sloupců. V prvním sloupci jsou procentuální hodnoty získané na příslušných elektrodách při prvních třiceti sekundách pozorování objektů na tabuli. Ve druhém sloupci jsou zobrazeny hodnoty v procentech pro následné vzpomínání symbolů a obrázků. V posledním sloupci jsou pak znovu hodnoty značící vzpomínání na tabuli - opět procenta - s časovým odstupem, avšak s tím rozdílem, že dobrovolníkům po prvním vzpomínání nebyla tabule již znovu ukázána, nebylo jim prozrazeno, které objekty neřekli a ani nebyli předem informováni, že budou znovu vyzváni k vyjmenování co nejvíce věci z tabule.

Při porovnání prvního a druhého sloupce lze zpozorovat pokles i nárůst hodnot. Výrazný pokles v průměru 4,93% nastal z velké míry u frontálních laloků. Na temenním a tylním laloku byl zaznamenán nárůst o 1,12%. Při zaměření se na druhý a třetí sloupec, kdy došlo k časové prodlevě, zhruba tříminutové, je vidět nárůst procent na většině elektrod o 1,79%, obzvláště na čelních lalocích.

### 6.3.3 Výhody a nevýhody

Zjištění, která část mozku je zapojována při plnění konkrétního úkolu lze považovat za výhodu. Jako nevýhodu pak držení pomůcek k měření v ruce měřícího, aby nedocházelo k pohybovým artefaktům pacienta.

	klid	čísla	klid	příklady
Fp1	34,21	46,40	21,64	40,09
Fp2	31,71	43,94	19,14	37,96
F7	34,21	35,16	19,93	30,17
F3	23,00	24,09	15,00	22,44
Fz	24,86	21,96	14,57	23,31
F4	23,50	23,67	15,79	24,77
F8	26,79	30,14	18,57	28,29
T3	37,21	41,86	21,07	40,26
C3	25,64	27,49	16,64	25,89
Cz	22,79	20,47	13,86	20,06
C4	24,21	22,29	15,21	22,89
T4	32,00	34,56	22,36	36,03
T5	37,64	35,21	24,71	37,37
P3	24,64	22,09	15,86	21,67
Pz	31,57	26,03	16,29	25,76
P4	27,14	24,54	18,07	25,77
T6	38,36	37,93	22,71	37,67
O1	38,50	36,37	21,86	33,89
O2	40,57	35,39	24,79	37,20

Obr. 6.15: Porovnání úkolů oproti klidu [%]

	tabule - pozorování	tabule - vzpomínání	tabule2 - vzpomínání
Fp1	43,50	38,58	33,42
Fp2	40,14	36,92	36,00
F7	43,21	30,08	32,75
F3	24,86	22,42	23,25
Fz	19,86	21,08	20,17
F4	22,14	23,17	23,50
F8	36,43	26,42	29,75
T3	42,50	36,50	39,42
C3	26,00	24,00	27,50
Cz	20,14	19,33	20,08
C4	21,14	22,50	22,92
T4	32,21	34,83	35,42
T5	33,71	34,17	35,00
P3	22,29	23,00	20,42
Pz	28,79	29,83	28,83
P4	23,36	24,83	27,08
T6	35,21	33,42	32,75
O1	33,07	33,17	34,25
O2	33,14	34,17	37,92

Obr. 6.16: Porovnání reakcí na tabuli [%]

## 7 ZÁVĚR

Cílem této bakalářské práce bylo seznámení se s základními principy snímání elektroencefalografického signálu a navržení tří praktických úloh v dané oblasti. Práci jsem rozdělila do šesti základních kapitol, které splňují jednotlivé body zadání.

V první kapitole jsem se věnovala historii EEG jako takové.

Následovalo rozebrání aktivity mozku z lékařského hlediska, stanovení rozdílů mezi spontánní a evokovanou aktivitou mozku.

Ve třetí kapitole je popsán princip elektroencefalografie, zahrnující rytmy a tvary mozkových aktivit a jak vypadá záznam mozkových vln v daných věkových kategoriích. V další kapitole se nachází typy snímání signálu včetně popisu elektroencefalografu.

V předposlední kapitole jsem se věnovala metodám zpracování EEG signálu.

V poslední, šesté kapitole, jsem navrhla a následně prakticky ověřila tři úlohy pro elektroencefalografii.

V prvním úkole, zaměřeném na epilepsii, jsem zjistila, že záznamy epileptika jsou vyšší než záznamy od ostatních dobrovolníků. Měření jsem hodnotila pomocí spektrální analýzy záznamu, při použití referenční a relativní elektrody. Při čtení textu byl nárůst procent u dobrovolníků na frontálních (čelních) lalocích, zatímco u osoby trpící epilepsií byl nárůst ve větší míře u temporálních laloků.

Druhá úloha byla rozdělená na dvě části. V první jsem pozorovala dosažené skóre od dobrovolníků a zanesla je do tabulek a grafů pomocí programu STATGRAPHICS Centurion. Ve druhé části se měřily reakční doby na hlasitý podnět. Do výsledku byla zahrnuta i reakční doba mne jako testujícího, rovna 0,1 sekund, což je doba stisku funkční klávesy na klávesnici. Tento úkol byl statisticky vyhodnocen, byl vypočten medián, průměr, směrodatná odchylka, atd. Z naměřených výsledků je znát, že reakční doba u druhého podnětu je delší než u prvního, z důvodu očekávání dalšího vyrušení.

Při testování paměti ve třetí úloze, dobrovolníci dosahovali rozdílných výsledků. Je to dáno tím, že někdo má pravděpodobně fotografickou paměť, takže u vyjmenování věcí z tabule vyjmenoval během stanoveného časového limitu skoro vše, další byl rychlý v počítání matematických příkladů, na úkor jiných cvičení.

Byla bych ráda, kdyby výstupy této bakalářské práce mohly být eventuálně použity k reálnému měření.



## LITERATURA

- [1] KOLÁŘ, Radim. T6\_EEG [přednáška z předmětu Lékařská a diagnostická technika]. 2011 [cit. 2011-11-26]. Dostupné z WWW: <[https://www.vutbr.cz/elearning/file.php/111753/Prednasky/ALDT\\_T6\\_EEG.pdf](https://www.vutbr.cz/elearning/file.php/111753/Prednasky/ALDT_T6_EEG.pdf)>
- [2] MIŠUREC, Jiří a Milan CHMELAŘ. Elektroencefalografie: vybrané kapitoly z obecné elektroencefalografie, přístrojové a registrační techniky a technické minimum. 1. vyd. Brno: Institut pro další vzdělávání středních zdravotnických pracovníků, 1990, 194 s. ISBN 80-701-3065-2.
- [3] HRAZDÍRA, Ivo a Vojtěch MORNSTEIN. Lékařská biofyzika a přístrojová technika. 1. vyd. Brno: Neptun, 2001, 381 s. ISBN 80-902-8961-4.
- [4] Neurons\_1.png. Epilepsy Foundation [online]. [cit. 2012-01-02]. Dostupné z: <[http://old.epilepsyfoundation.org/local/massri/images/Neurons\\_1.png](http://old.epilepsyfoundation.org/local/massri/images/Neurons_1.png)>
- [5] KOZUMPLÍK, Jiří. AABS\_08\_EEG1 [přednášky z předmětu Analýza biologických signálů]. 2011 [cit. 2011-11-26].
- [6] JAN, Jiří. Diskrétní metody zpracování biosignálů: Principy metod předzpracování. 1. vyd. Brno: VUT, 1976, 108 s.
- [7] KOZUMPLÍK, Jiří. AABS\_09\_EEG2 [přednášky z předmětu Analýza biologických signálů]. 2011 [cit. 2011-11-26].
- [8] KOZUMPLÍK, Jiří. AABS\_10\_evokovaneEEG [přednášky z předmětu Analýza biologických signálů]. 2011 [cit. 2011-11-26].
- [9] VOJTĚCH, Z. a kol. Atlas elektroencefalografie dospělých, nakladatelství TRITON, 2005. ISBN-10: 80-7254-704-6
- [10] AAPF.org. American Academy Of Family Physicians [online]. [cit. 2011-12-06]. Dostupné z: <<http://www.aafp.org/afp/2001/0115/afp20010115p277-f1.gif>>
- [11] Medipidia Incorporation. [online]. [cit. 2012-01-01]. Dostupné z: <[http://www.e-medipia.co.kr/product/pro\\_13\\_2.asp](http://www.e-medipia.co.kr/product/pro_13_2.asp)>
- [12] NIEDERMEYER, Ernst a F LOPES DA SILVA. Electroencephalography: basic principles, clinical applications, and related fields. 5th ed. Philadelphia: Lippincott Williams , c2005, 1309 s. ISBN 07-817-5126-8.
- [13] POKORNÝ, Jan. EEG.pdf.[online]. [cit. 2011-12-16]. Dostupné z: <<http://fbmi.cvut.cz/files/nodes/657/public/EEG.pdf>>

- [14] HOVORKA, Jiří, Tomáš NEŽÁDAL a Michal BAJAČEK. EEG abnormita. 1. vyd. Praha: Maxdorf, c2006, 87 s. ISBN 80-734-5093-3
- [15] JAN, Jiří. AZSO\_cviceni\_04\_kumulace [cvičení z předmětu Číslíkové zpracování signálů a obrazů]. 2011 [cit. 2011-11-26]. Dostupné z WWW: <[https://www.vutbr.cz/elearning/file.php/111776/cviceni/AZSO\\_cviceni\\_04\\_kumulace.pdf](https://www.vutbr.cz/elearning/file.php/111776/cviceni/AZSO_cviceni_04_kumulace.pdf)>
- [16] ROZMAN, Jiří. Elektronické přístroje v lékařství. Vyd. 1. Praha: Academia, 2006, 406 s. ISBN 80-200-1308-3.
- [17] KRAJČA V., PRINCIPE J. C., PETRANEK S.: Extraction of principal components from biosignals by neural net, Technology and Health Care, 7, 1999, s. 137-141.
- [18] NIEDERMAYER E., Da SILVA F. L.: Electroencephalography. Fourth Edition. Wiliams & Wilkins, Baltimore 1999.
- [19] Alien.cz: TruScan32. Alien Technik s.r.o. [online]. [cit. 2012-01-02]. Dostupné z: <<http://www.alien.cz/down/letakeeg.pdf>>
- [20] MORÁŇ, Miroslav. Praktická epileptologie. 2. vyd. Praha: Triton, 2007. ISBN 978-807-3870-232.
- [21] Jazykolamy. [online]. [cit. 2012-05-03]. Dostupné z: <<http://jazykolamy.funsite.cz/>>
- [22] JAN, Jiří. Číslíková filtrace, analýza a restaurace signálů. 2. upr. a rozš. vyd. Brno: VUTIUM, 2002, 427 s. ISBN 80-214-2911-9.
- [23] ALLIEN TECHNIK S.R.O. 2/3: Průvodní dokumentace.
- [24] LOVE, Russell J a Wanda G WEBB. Mozek a řeč: neurologie nejen pro logopedy. Vyd. 1. Praha: Portál, 2009, 372 s. ISBN 978-807-3674-649.

## SEZNAM SYMBOLŮ, VELIČIN A ZKRATEK

EEG	Elektroencefalografie
AP	Akční potenciál
GABA	Gama-aminomáselná kyselina
DFT	Diskrétní Fourierova transformace
FFT	Fast Fourier transformation
POSTS	Positive occipital sharp transients of sleep
REM	Rapid eye movement
non-REM	Non Rapid eye movement
aEEG	amplitude integrated EEG
JIP	Jednotka intenzivní péče
Ag-AgC	Argentchloridová elektroda
EKG	Elektrokardiografie
A/D	Analogově/digitální převodník
HP	Horní propust
DP	Dolní propust
ÚZP	Úzkopásmová zadrž
PCA	Principal component analysis
ICA	Independent component analysis
BM	Brain mapping
CT	Computer tomography
AEP	Audio evocated potentials
VEP	Visual evocated potentials
$\mu\text{V}$	Mikrovolt
Hz	Hertz

ms	Milisekunda
$f_{vz}$	vzorkovací kmitočet
dB	Decibell
$\Omega$	Ohm
r20	Dobrovolník s epilepsií
Fp	Frontopolární
F	Frontální
P	Parietální
T	Temporální
O	Okcipitální
C	Centrální
input1	Vstup1

# SEZNAM PŘÍLOH

<b>A Příloha 1</b>	<b>56</b>
A.1 Parametry přístroje EEG . . . . .	56
<b>B Příloha 2</b>	<b>57</b>
<b>C Příloha 3</b>	<b>58</b>
<b>D Příloha 4</b>	<b>59</b>
<b>E Příloha 5</b>	<b>60</b>
<b>F Příloha 6</b>	<b>61</b>
<b>G Příloha 7</b>	<b>62</b>

# A PŘÍLOHA 1

## A.1 Parametry přístroje EEG

Technické parametry EEG přístroje TruScan32 od firmy Alien

Počet kanálů	24, 32, 64 nebo 128
Šířka pásma	0,16 – 450 Hz na kanál
Analogová časová konstanta	1 s, lze zadat hodnotu až 10 s
Ekvivalentní vlastní vstupní šumové napětí (kmitočtové pásmo 0,16 Hz – 100 Hz)	2 $\mu$ Vp-p
Vnitřní analogový vzorkovací kmitočet	4096 Hz na kanál
Izolační činitel	140 dB
Vzorkovací kmitočet	128, 256 nebo 1024 Hz na kanál
Vstupní rozdílová impedance	10 $G\Omega$ paralelně s 35 pF
Napájení	3,7 V 2200 mAh, LiPol baterie
Rozměry	90 mm x 35 mm x 140 mm

Tab. A.1: Parametry přístroje TruScan32, převzato z [19]

## B PŘÍLOHA 2

	klid	1. číslo	2. číslo	3. číslo	4. číslo	5. číslo	1. příklad	2 příklad	3. příklad	4. příklad	5. příklad	klid mezi	tabule - pozorování	tabule - vzpomínání	tabule 2 - vzpomínání
Fp1	34,21	43,29	40,07	49,43	50,71	48,50	47,36	41,57	35,86	35,93	39,71	21,64	43,50	38,58	33,42
Fp2	31,71	42,14	37,14	47,14	49,43	43,86	40,14	42,29	34,14	36,93	36,29	19,14	40,14	36,92	36,00
F7	34,21	35,79	32,14	32,43	37,29	38,14	30,71	32,21	30,29	29,57	28,07	19,93	43,21	30,08	32,75
F3	23,00	22,71	25,57	23,64	24,14	24,36	24,79	22,21	21,86	21,79	21,57	15,00	24,86	22,42	23,25
Fz	24,86	21,07	23,14	25,07	19,43	21,07	23,29	22,21	24,36	23,79	22,93	14,57	19,86	21,08	20,17
F4	23,50	24,29	24,43	25,21	22,00	22,43	27,50	23,36	26,00	24,71	22,29	15,79	22,14	23,17	23,50
F8	26,79	30,36	29,36	28,71	30,14	32,14	27,93	28,93	28,57	30,64	25,36	18,57	36,43	26,42	29,75
T3	37,21	41,36	42,50	42,36	41,36	41,71	39,79	45,64	41,14	38,50	36,21	21,07	42,50	36,50	39,42
C3	25,64	27,21	26,43	27,64	30,43	25,71	26,86	24,29	26,21	26,71	25,36	16,64	26,00	24,00	27,50
Cz	22,79	21,07	22,57	19,64	19,64	19,43	19,79	19,00	21,00	21,57	18,93	13,86	20,14	19,33	20,08
C4	24,21	21,71	22,21	22,43	22,79	22,29	23,29	23,43	23,29	23,29	21,14	15,21	21,14	22,50	22,92
I4	32,00	34,14	33,36	33,64	35,07	36,57	33,00	38,86	39,71	37,14	31,43	22,36	32,21	34,83	35,42
T5	37,64	35,21	37,29	34,79	33,71	35,07	39,43	35,07	38,86	38,79	34,71	24,71	33,71	34,17	35,00
P3	24,64	23,07	21,36	22,21	22,57	21,21	22,14	21,93	21,50	22,29	20,50	15,86	22,29	23,00	20,42
Pz	31,57	28,07	26,36	26,14	26,43	23,14	27,50	24,86	25,36	28,36	22,71	16,29	28,79	29,83	28,83
P4	27,14	24,57	26,00	23,21	22,43	26,50	28,29	25,50	23,14	27,86	24,07	18,07	23,36	24,83	27,08
T6	38,36	36,86	42,21	38,64	34,36	37,57	36,93	38,71	41,57	37,57	33,57	22,71	35,21	33,42	32,75
O1	38,50	38,00	37,21	36,36	35,57	34,71	34,86	32,64	37,43	34,64	29,86	21,86	33,07	33,17	34,25
O2	40,57	38,00	35,86	34,71	34,71	33,64	36,50	37,79	39,50	37,71	34,50	24,79	33,14	34,17	37,92

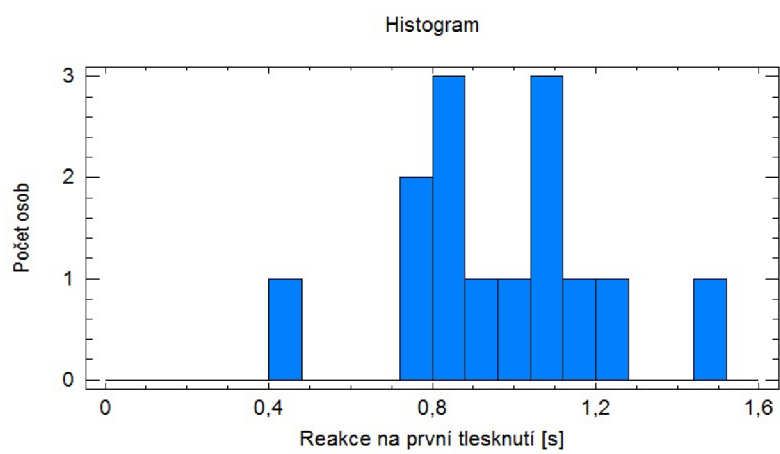
Obr. B.1: Souhrn hodnot k testování paměti, uvedeno v procentech

## C PŘÍLOHA 3

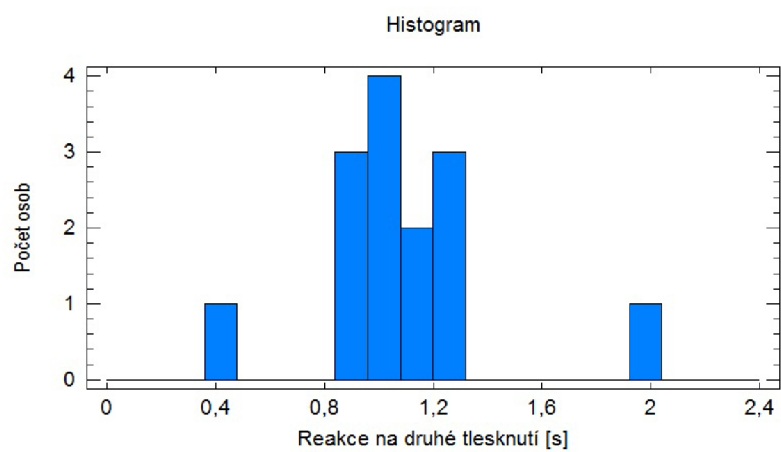
Drbu vrbu, drbu vrbu. Já mám dukát, tupldukát, já ti ten dukát tupldukát dám vytupldukátovati do té nejtupldukátovější barvy. Pan Šusta sušil šusták v sušárně. Kolouch, kohout s mouchou mnohou, s hloupou chloubou houpu nohou, plavou dlouhou strouhou ouzkou, chroupou oukrop s pouhou houskou. Zebru zebou zuby, zubr se zas zubí. Je připraveno psí šestispřeží? Na anesteziologickoresuscitačním oddělení resuscituje anesteziolog. Roli lorda Rolfa hrál Vladimír Leraus a na klavír hrála Klára Králová. Patří rododendron do čeledi rododendronovitých či nerododendronovitých?



## D PŘÍLOHA 4

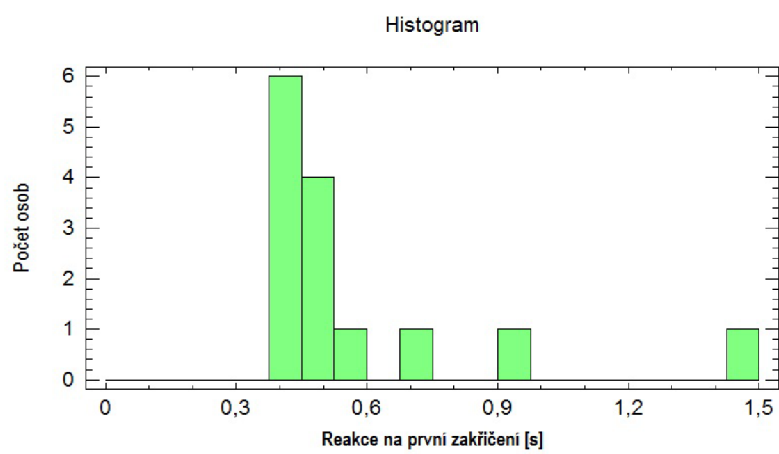


Obr. D.1: Histogram reakční doby na 1. tlesknutí

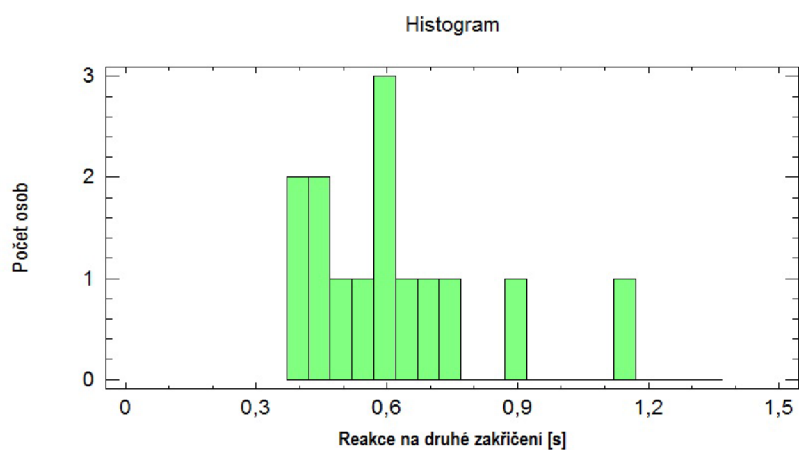


Obr. D.2: Histogram reakční doby na 2. tlesknutí

## E PŘÍLOHA 5

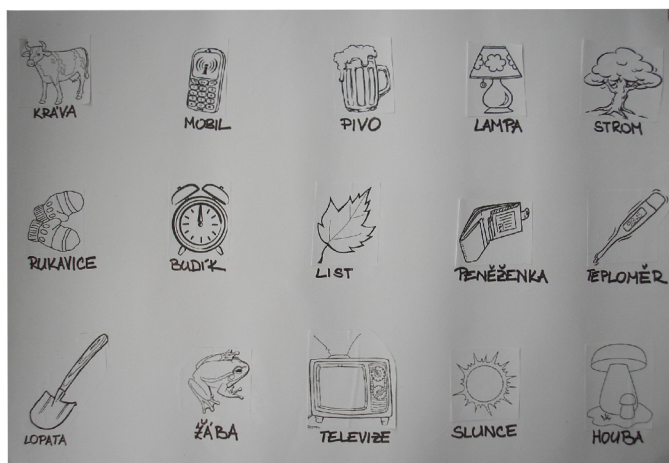


Obr. E.1: Histogram reakční doby na 1. zakřivení



Obr. E.2: Histogram reakční doby na 2. zakřivení

# F PŘÍLOHA 6



Obr. F.1: Tabule s patnácti zobrazenými a popsány objekty

JMÉNO: DOBROVOLNÍK č. 5

DATA: 7.3.2012

VÝSLEDNÁ ŽNÁMKA: 2

1. úkol: četba 1 - 30s  
četba 2 - 30s  
hudba 1 - 1 min  
hudba 2 - 1 min

2. úkol:  
SKÓRE 1: 24 (3 min)  
SKÓRE 2: 46 (2 min)

3. úkol:

úkol	MAXIMUM	DOSAŽENÉ
ČÍSLA	5	5
TABULE 1	30	22
NÁSOBILKA	15	15
TABULE 2	45	27
SNĚŽNOST	5	4
		<u>73</u>

TABULE:

KRAVA	✓	✓
MOBIL	✓	
PIVO	✓	
LAMPA		✓
STROM	✓	✓
RUKAVICE		
BUDÍK	✓	✓
LIST		✓
PENĚŽENKA	✓	
TEPLOMĚR	✓	✓
LOPATA	✓	✓
ŽÁBA		
TELEVIZE	✓	✓
SLUNCE	✓	
HOUBA	✓	✓

NÁSOBILKA:

- $4 \times 8 = 32$  ✓
- $7 \times 6 = 42$  ✓
- $12 \times 8 = 96$  ✓
- $14 \times 5 = 70$  ✓
- $17 \times 3 = 51$  ✓

ČÍSLO A DÉLKA PÁŽVAHU:

- 1)
- 2)
- 3)

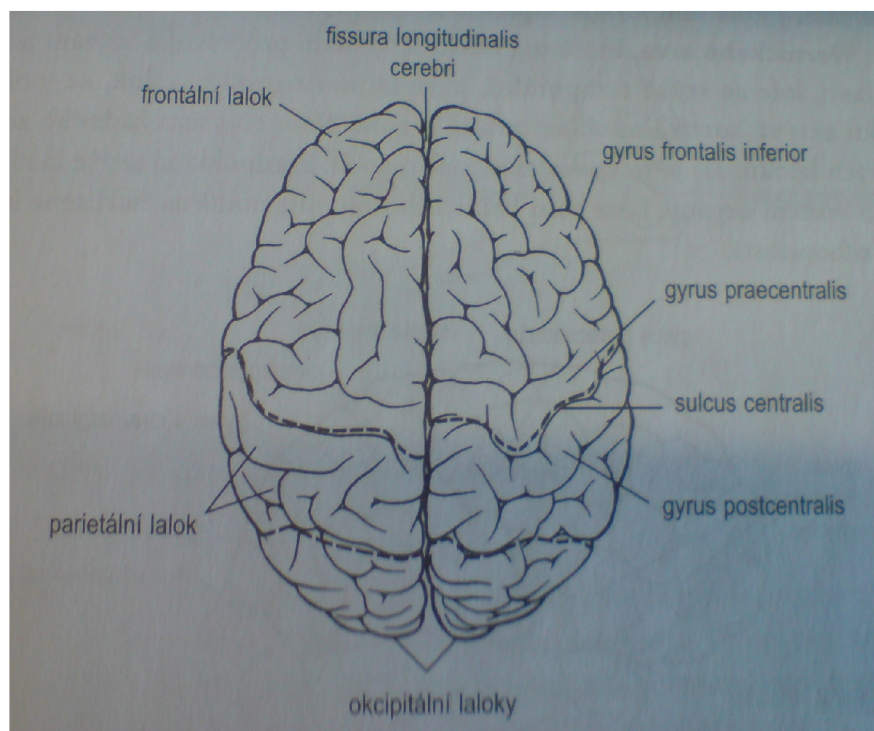
PŘIPOMÍNKY:

1. úkol: 3:20 - Postrábání se  
5:15 - Ruč na chodbě

2. úkol: B 1. Kalkuli - polky  
1. Kalkuli - swich

Obr. F.2: Záznamový arch

## G PŘÍLOHA 7



Obr. G.1: Mozkové laloky, převzato z [24]