

Stredná odborná škola elektrotechnická, Celiny 536, 033 15 Liptovský Hrádok

**PRAKTICKÁ ČASŤ ODBORNEJ ZLOŽKY**

**Forma: OBHAJOBA VLASTNÉHO PROJEKTU**

**Názov projektu:**

**EEG**

2017/2018

Autor práce: Damián Filo

Trieda: 4.D

---

Stredná odborná škola elektrotechnická, Celiny 536, 033 15 Liptovský Hrádok

**PRAKTICKÁ ČASŤ ODBORNEJ ZLOŽKY**

**Forma: OBHAJOBA VLASTNÉHO PROJEKTU**

**Názov projektu:**

**EEG**

2017/2018

Autor práce: Damián Filo

Trieda: 4.D

Konzultant: Ing. Jan Pluhař

---

## **Čestné vyhlásenie**

Vyhlasujem, že som túto prácu vypracoval samostatne a použil som iba uvedenú literatúru.

V Liptovskom Hrádku dňa \_\_\_\_\_.\_\_\_\_\_.\_\_\_\_\_ podpis:

# **Obsah**

Úvod.....	5
1 Súčasný stav riešenej problematiky .....	6
1.1 Ľudské telo (mozog).....	6
1.2 EEG .....	6
1.2.1 Umiestnenie elektród .....	8
1.2.2 EEG signál a jeho štruktúra .....	8
1.3 Hardvér .....	10
1.3.1 Elektródy .....	11
1.3.2 Zosilňovače s filtrom .....	11
1.3.3 A/D prevodník .....	12
1.3.4 Záznamové zariadenie .....	12
1.4 Softvér .....	13
2 Ciele práce.....	14
3 Metodika práce.....	15
3.1 Otvorený projekt a licencovanie.....	15
3.2 Výber súčiastok .....	15
3.3 Prototyp č. 1 .....	16
3.4 Elektródy .....	17
3.5 Prototyp č. 2 .....	18
3.6 Prototyp č. 3 .....	19
3.7 Postup a tipy .....	20
4 Výsledky práce a diskusia.....	22
Zhrnutie.....	23
Záver .....	24
Zoznam použitej literatúry .....	25
Prílohy.....	26

## Úvod

Každý z nás niekedy premýšľa nad tým, čo sa to deje v jeho hlave, ako funguje jeho mozog. Funkcia mozgu je veľmi fascinujúca a bolo by zaujímavé ju preskúmať. Ročníkový projekt nám poskytol priestor a pomohol pri realizácii nášho nápadu, postaviť elektroencefalogram. (skratkou EEG). Keďže EEG využíva neinvazívnu metódu snímania a môžeme ho relatívne jednoducho zstrojiť, bolo to jasné rozhodnutie. I keď náš odbor nemá primárne zameranie na elektrotechniku, naša fascinácia a záľuba k nej umožnila zstrojiť upravený a vylepšený open-source hardvér pre naše potreby. Aj keď rovnako fascinujúce môže byť vytváranie softvéru ovládanom pomocou EEG, rozhodli sme sa vytvoriť predovšetkým spoľahlivý a praktický samotný prístroj. Keďže open-source programov existuje široká škála a prvoradým bolo zaobstarať si hardvér.

Kúpa hotového EEG je možnosť, ako si zaobstarať spoľahlivý a overený prístroj, avšak zstrojiť ho je výzva a cenový pomer medzi zakúpeným a zstrojeným je priepravný. Cenová nedostupnosť EEG neumožňuje jeho jednoduché rozšírenie hlavne na vzdelávacie účely, nielen študentom medicíny. Jedným zo zámerov môjho projektu je, že je možné zstrojiť viac kanálové EEG aj s elektródami s cenovkou pod sto eur. Nehovoriac o tom, že pri klasickom medicínskom EEG sa využívajú pasívne elektródy, s potrebou použitia vodivého gélu na dokonalé pripojenie s pokožkou. To nie je moc príjemné, keď po každom použití treba ten gél zmyť... Rozhodli sme sa vytvoriť aktívne elektródy, ktoré s pomocou pinov dokážu prejsť cez vlasy a dotýkať sa pokožky hlavy a zároveň zosilňovať detegovaný signál. To všetko v kompaktných rozmeroch.

Pokiaľ nám to všetko vyjde vytvoríme rozšíriteľný, modulárny, kompaktný, spoľahlivý a relatívne lacný prístroj na meranie mozgových vĺn v školských podmienkach.

# 1 Súčasný stav riešenej problematiky

Elektroencefalograf je na prvý pohľad zložité zariadenie, avšak jeho princípy sú pomerne jednoduché. Obyčajný človek sa s tým nestretáva každý deň, preto je potrebné rozpísťať prislúchajúcemu teóriu dopodrobna. Začali by sme pekne od začiatku.

## 1.1 Ľudské telo (mozog)

Celé ľudské telo, ako je známe, je v podstate jeden veľký elektrochemický článok. Používa elektrické impulzy na pohyb svalov a prenos informácií. Aj keď ho vedci skúmajú už dlhé stáročia, stále nie je objasnené ako mnoho vecí funguje, môžeme sa niekedy len domnievať o funkcií niektorých súčastí tohto zložitého stroja.

Niekteré funkcie mozgu ako toho najdôležitejšieho orgánu nášho tela zostávajú naďalej nezistené. Mozog však nie je dôležitý „len“ v tom, aby udržiaval naše telo pri živote, nachádza sa v ňom naše vedomie, bez mozgu ako riadiaceho procesora by naše telo nevedelo čo má robiť a bolo by nečinné. Samozrejme udržiava dôležité životné funkcie, ale s pokrokmi medicíny je možné udržiavať človeka nažive dokonca už aj bez funkcie mozgu. Podľa môjho názoru neuplynne dlho času a svet bude svedkom prvých transplantácií mozgu alebo hlavy.

Tak ako celé telo pracuje na elektrochemickom princípe, takisto aj mozog uchováva naše spomienky, vníma pomocou zmyslov a spracováva všetky informácie tým spôsobom. Zakial' chemické reakcie by sa nám ľahko merali a zistovali ich účel, elektrickou energiou dokáže ľudstvo manipulovať pomerne pokročilo. Za to, že dokážeme zachytiť tieto elektrické impulzy neinvazívnym spôsobom vďačíme relatívnej vodivosti nášho tela.

Počet nervových buniek v mozgu sa odhaduje na  $10^{11}$ , kortikálne (kôrové) neuróny sú silne prepojené. Povrch neurónu môže byť pokrytý až 1000-100 000 synapsami (miesto spojenia s inými neurónmi). Napätie v klíide je okolo -70 mV a pri vrchole akcie je potenciál pozitívny. Amplitúda nervového impulzu je asi 100 mV a trvá asi 1 ms.

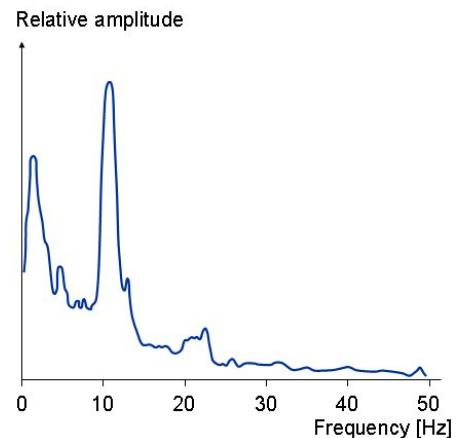
## 1.2 EEG

„Prvé zaznamenávanie elektrického pola ľudského mozgu predviedol nemecký psychiater Hans Berger v roku 1924 v Jene. Ten záznam pomenoval elektroencefalogram (EEG). Od roku 1929 do roku 1938 zverejnili 20 vedeckých prác o EEG pod rovnakým názvom „Über das Elektroenzephalogram des Menschen“.

Môžeme ním snímať tri druhy aktivity mozgu:

1. Spontánna aktivita.
2. Vybudené potenciály.
3. Bioelektrické udalosti jednotlivých neurónov.

**Spontánna aktivita** mozgu je tá, ktorú sa budeme snažiť odmerať pomocou nášho prístroja. Meria sa na pokožke hlavy „neinvazívne“ alebo na povrchu mozgu „invazívne“. Amplitúda EEG je približne  $100 \mu\text{V}$  pri meraní na pokožke hlavy a približne  $1$  až  $2 \text{ mV}$  pri meraní na povrchu mozgu. Šírka pásma tohto signálu je od  $1 \text{ Hz}$  do  $50 \text{ Hz}$ . Jednotlivé frekvencie však majú rôzne amplitúdy, na obrázku je znázornená relatívna amplitúda ku jednotlivým frekvenciám. Ako naznačuje fráza "spontánna aktivita", táto aktivita pokračuje nepretržite v živote človeka.



Obrázok 1-1 Amplitúda pri jednotlivých frekvenciách

**Vybudené potenciály** sú tie zložky EEG, ktoré vznikajú v reakcii na stimul (ktorý môže byť elektrický, sluchový, vizuálny atď.). Takéto signály sú zvyčajne pod úrovňou šumu, a preto nie sú ľahko rozlíšiteľné a je nutné používať veľké množstvo stimulov a priemerovanie signálu na zlepšenie pomery signálu k šumu.

**Udalosti jedného neurónu** sa môžu skúmať pomocou mikroelektród, ktoré sa vpichnú do buniek, ktoré sú predmetom záujmu. Prostredníctvom štúdií jednotlivých buniek dúfame, že budeme vytvárať modely bunkových sietí, ktoré odrážajú skutočné vlastnosti tkanív mozgu.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Malmivuo, J.; Plonsey, R.: *Bioelectromagnetism*. 1995 Dostupné na internete v angličtine: <[https://www.researchgate.net/publication/321094865\\_Bioelectromagnetism\\_13\\_Electroencephalography](https://www.researchgate.net/publication/321094865_Bioelectromagnetism_13_Electroencephalography)> s.365

### 1.2.1 Umiestnenie elektród

Na zaznamenávanie spontánnej aktivity obvykle používame medzinárodne štandardizovaný systém 10-20. V tomto systéme je 21 elektród umiestnených na povrchu pokožky hlavy, ako je znázornené na obrázkoch. Pozicie sa určujú nasledovne: Referenčné body sú „nasion“, ktorý sa nachádza v hornej časti nosa, na úrovni s očami; a „inion“, ktorý je v podstate kostná hrudka v spodnej časti lebky na stredovej čiare zadnej strany hlavy.

Z týchto bodov sa meria obvod lebky v priečnych a stredných rovinách. Umiestnenie elektród sa určuje tak, že tieto obvody sa delia na úseky 10% a 20%. Tri ďalšie elektródy sú umiestnené na každej strane rovnomerne od susediacich bodov, ako je taktiež znázornené na obrázkoch.

Okrem 21 elektród z medzinárodného systému 10-20 sa používa taktiež systém 5-10, ktorý používa hustejšie rozpoloženie. Ďalej existuje aj mnoho ďalších elektródových systémov pre zaznamenávanie elektrických potenciálov na pokožke hlavy. Systém umiestnenia elektród „Queen Square“ bol navrhnutý ako štandard pri zaznamenávaní vybudených potenciálov v klinických testoch.

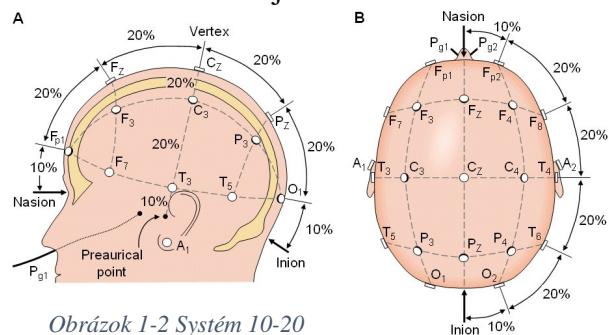
V meraní EEG sa môžu použiť bipolárne alebo unipolárne elektródy. Pri bipolárnych sa rozoznáva rozdiel potenciálov medzi dvomi elektródami. Pri druhej metóde potenciál každej elektródy sa porovnáva buď s neutrálnou elektródou, alebo s priemerom všetkých elektród.

### 1.2.2 EEG signál a jeho štruktúra

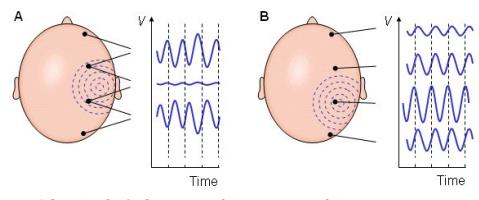
Ked' EEG sníma časový priebeh elektrickej aktivity generovanej mozgom, môžeme zachytávať konkrétnie vlny nášho záujmu, pretože približne vieme, ktoré oblasti mozgu sú zodpovedné za spracovanie informácií v danom čase:

a) Záhlavný lalok (Occipital lobe)

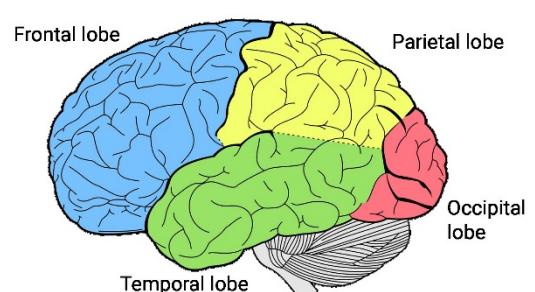
Táto časť mozgu je hlavne zodpovedná za spracovávanie vizuálnych informácií. Meríame na nej obvykle príjem vizuálnych stimulov (video, obrázky).



Obrázok 1-2 Systém 10-20



Obrázok 1-3 Unipolárne-Bipolárne



b) Temenný lalok (Parietal lobe)

Obrázok 1-4 Laloky mozgu

Temenný lalok je veľmi dôležitý pri spracovávaní senzorických informácií z rôznych časťí tela, znalosti čísel a ich vzťahov a manipulácie s predmetmi. Jeho funkciou je taktiež aj spracovávanie informácií týkajúcich sa dotykového zmyslu. Časť temenného laloku sa zaobrá priestorovým videním.

c) Spánkový lalok (Temporal lobe)

Spánkový lalok má vonkajšie časti, ktoré sú zodpovedné za spracovanie jazyka a produkciu reči. Vnútorné oblasti sú aktívnejšie počas priestorovej navigácie. Možno ste počuli o hipokampe: Toto je mozgová oblasť v spánkovom laloku, kde tvoríme priestorové a autobiografické spomienky napríklad z raných detských dní. Je taktiež označovaný ako primárna oblasť pre spracovanie sluchu.

d) Čelný lalok (Frontal lobe)

Predná časť ľudského mozgu je zväčšená v porovnaní s inými cicavcami. V podstate čelná kôra má na starosti kognitívnu kontrolu: udržiava nás od behania za blikajúcimi svetielkami, núti nás absolvovať štúdium a spája rôzne spomienky a skúsenosti do konzistentného celku. Inak povedané, dokážeme sa vďaka nemu dobrovoľne pohybovať, robiť simulácie budúcnosti a simulácie následkov našich akcii (rozhodovať medzi dobrom a zlom).

Okrem oblastných charakteristík, z ktorých pochádza určitá elektrická aktivita, môžeme tiež analyzovať, ktoré frekvencie riadia prebiehajúcu činnosť.

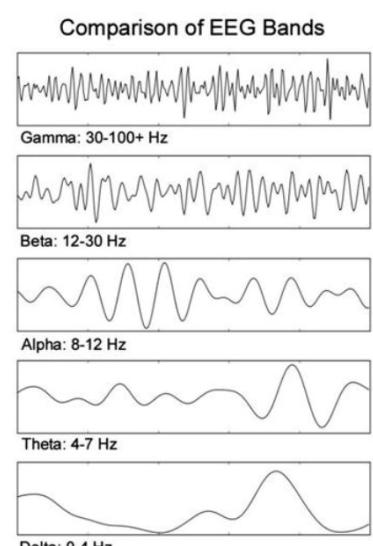
Kedykoľvek je náš mozog v určitom stave, frekvenčné vzorce sa menia.

- Delta  $\delta$  (1 - 4 Hz)

V laboratóriách spánku sa skúmajú delta vlny s cieľom posúdiť hlbku spánku. Čím silnejší je delta rytmus, tým hlbší je spánok. Zaujímavé je, že delta vlny sú prítomné len vo fázach, ktoré nie sú v REM (Rapid Eye Movement – Rýchle Pohyby Očí) - keď napríklad nesnívame.

- Theta  $\theta$  (4 - 8 Hz)

Theta je spojená so širokým spektrom kognitívnych procesov, ako je kódovanie a vyhľadávanie pamäti, avšak závisí to od oblasti.



Obrázok 1-5 Príklady priebehov jednotlivých typov vĺn

- Alfa  $\alpha$  (8 - 12 Hz)

Alfa vlny môžeme pozorovať hlavne pri relaxovaní so zavretými očami. Tréning pomocou EEG často používa alfa vlny na monitorovanie relaxácie.

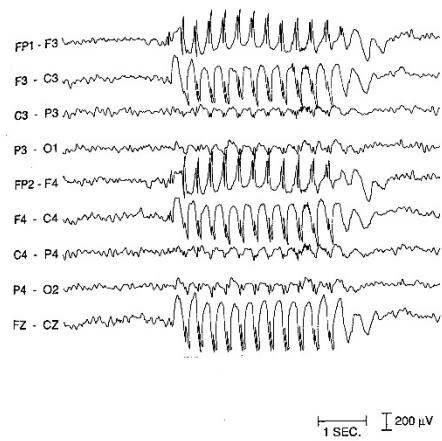
- Beta  $\beta$  (12 - 25 Hz)

Pri motorických oblastiach sa beta frekvencie stávajú silnejšími, ak vykonávame, alebo plánujeme vykonať pohyby ktorejkoľvek časti tela. Zaujímavé je to, že toto zvýšenie beta je tiež viditeľné, keď pozorujeme telesné pohyby iných ľudí. Náš mozog zdanlivo napodobňuje pohyby ich končatín, čo naznačuje, že v našom mozgu je zložitý "zrkadlový neurónový systém", ktorý je koordinovaný beta frekvenciami. Bežne viditeľné u ľudí s normálnym prebudeným vedomím.

- Gama  $\gamma$  (>25 Hz, typicky 40 Hz)

V súčasnosti sú frekvencie gama čierne diery výskumu EEG. Niektorí vedci tvrdia, že gama odráža silnú koncentráciu a slúži ako nosná frekvencia pre uľahčenie výmeny údajov medzi oblasťami mozgu. Ostatní spájajú gama s rýchlymi pohybmi očí, takzvanými „microsaccade“, ktoré sa považujú za základné časti pre senzorické spracovávanie a zachytávanie informácií.

EEG má taktiež veľké využitie v medicíne, hlavne kvôli tomu, že dokáže detegovať epileptické záchvaty, že či človek je náchylný. EEG pri epileptickom záchvate zaznamenáva jednoznačné pravidelné impulzy s vysokou amplitúdou, ako môžete vidieť na obrázku. Avšak poznáme mnoho druhov epilepsie a ich EEG môže vyzerat' inak, však väčšinou je to ľahko detektovateľné.



Obrázok 1-6 Priebeh pri epileptickom záchvate

### 1.3 Hardvér

Elektroencefalografické merania využívajú záznamový systém pozostávajúci z:

- elektród s vodivými médiami
- zosilňovače s filtromi
- A/D prevodník
- záznamové zariadenie

Elektródy čítajú signál z povrchu hlavy, zosilňovače prenášajú mikrovoltové signály do rozsahu, v ktorom môžu byť presne digitalizované, menič mení signály z analógovej na

digitálnu podobu a osobné počítače (alebo iné relevantné zariadenie) ukladajú, spracovávajú a zobrazujú získané údaje. Zosilňovače s filtromi a A/D prevodník sú obvykle umiestnené v jednom zariadení, nazývanom ako BCI (Brain-Computer Interface, Interface mozgu s počítačom). Zámerom tejto práce je hlavne vytvorenie tohto prístroja.

Najlepšie to vysvetlíme na vlastnom zariadení, preto uvádzam príklady súčasťí aké budeme používať my, i keď existuje mnoho iných variant.

### 1.3.1 Elektródy

V našom zariadení budeme používať tzv. aktívne elektródy, ktoré vďaka tomu, že signál zosilnia hned po jeho zaznamenaní, nebudú tak náhylné na zarušenie signálu pri ceste do zosilňovača. Netreba sa však báť, že elektródy budú kvôli tomu veľké, samozrejme budú väčšie ako pasívne ale pri nízkom počte kanálov to vôbec nevadí. Naše EEG bude rozšíriteľné až na 6 kanálov pri bipolárnom zapojení, to znamená 12 elektród plus 1 DRL pre pripojenie. To je podľa nášho názoru slušná rozšíriteľnosť. Aktívne elektródy, ktoré vyrobíme budú mať rozmery, len 14x22mm, budú schopné preniknúť cez vlasy priamo na pokožku pomocou pinov a taktiež je ich možné upnúť na gumičku pre upevnenie na hlave.

DRL (Driven Right Leg) elektróda je veľmi dôležitá, lebo zachytáva referenčný signál z nejakého neutrálneho miesta nášho tela a odpočítava zaznamenaný signál od všetkých kanálov. Tým pádom do veľkej miery eliminujeme rušenie okolia a vlastného tela. DRL elektróda musí byť pasívna, lebo použitie aktívnej elektródy by neumožnilo jej správne fungovanie.

Dĺžka kábla elektródy je kritická pri takýchto malých napätiach, všeobecne sa odporúča pre zariadenie ktoré vyrobíme dĺžka okolo jedného metra. Pre pripojenie elektród k BCI používame 3,5mm jack-y, avšak toto je špecifické pre každý typ zariadenia zvlášť.

### 1.3.2 Zosilňovače s filtrom

Prvý stupeň zosilnenia v našom zariadení sa nachádza na aktívnych elektródach. Zachytený a mierne zosilnený signál ďalej putuje do samotného prístroja, kde prichádza na rad inštrumentačný zosilňovač, ktorý je v podstate niekoľko operačných zosilňovačov špeciálne poprepájaných medzi sebou v jednom balení. Má dvojakú funkciu, odčítať zachytený signál DRL elektródy a presne zosilniť zatiaľ veľmi slabý signál.

Ďalej príde na rad dvojitý operačný zosilňovač, ktorý taktiež plní dvojakú funkciu. Prvý slúži ako nastaviteľné zosilnenie upravované trimmerom pre kalibráciu amplitúdy signálu. Druhý slúži ako dolnopriepustný filter typu Bessel tretieho rádu, t. j. „odsekne“

všetky frekvencie nad 152Hz. To je veľmi priaznivý efekt, keďže my potrebujeme frekvencie v rozsahu 1-40Hz a všetky ostatné frekvencie sú jednoducho rušenie. Rušenie či už elektrickej siete alebo iných elektronických zariadení sa väčšinou odstráni alebo utlmí pomocou už použitého DRL systému.

Základné zosilnenie po všetkých týchto stupňoch by malo dosahovať hodnotu  $G=7812.5$ , ktoré sa dá ďalej dolaďovať. Prepustené pásmo frekvencií by tým pádom malo byť v rozsahu 0,16-152Hz.

### 1.3.3 A/D prevodník

Je to integrálna časť celého zariadenia, ktorá nám umožňuje zobraziť, zaznamenať a upravovať signál na digitálnych zariadeniach, nielen na osciloskopе. Výstup zo zosilňovacej kaskády sa zakončí na jednom z pinov A/D prevodníka, v tomto prípade v podobe mikroprocesora ATMega16. Používame rozlíšenie vzorkovania 10 bitové t. j. 1024 možných hodnôt na škále 0-4V. To po odpočítaní zosilnenia činí rozsah na vstupe  $512\mu\text{V}$  v rozlíšení  $0,5\mu\text{V}$ . Keďže zachytený signál sa pohybuje v oblasti  $100\mu\text{V}$  je to adekvátne.

### 1.3.4 Záznamové zariadenie

Po úspešnej digitalizácii signálu potrebujeme tie dátá poslať ďalej na spracovanie. Najlepšie by na to bolo použiť univerzálnu formu pripojenia ku výpočtovej technike a čo je univerzálnejšie ako univerzálna sériová zbernice (USB).

Mikroprocesor ATMega16 ako-taký nepodporuje pripojenie pomocou USB, avšak dokáže posielat dátá prostredníctvom UART (univerzálnej sériovej komunikácie). Aj keď UART nie je priamo kompatibilné s USB, existuje množstvo čipov od rôznych výrobcov, ktoré ich dokážu medzi sebou prepojiť. Rozhodol som sa ísť modernou cestou a využiť najnovšie čipy od spoločnosti Silicon Labs. Čip CP2102N ponúka viac než dostatočnú prieplustnosť dát, širokú škálu funkcií v malom formáte a za priaznivú cenu. Spoľahlivosť bola taktiež rozhodujúcim faktorom.

Keďže sme sa však rozhodli použiť napájanie priamo z rozhrania USB, je potrebné aby sme naše zariadenie kvôli bezpečnosti odizolovali od okolitého prostredia. Toho sme dosiahli použitím izolačného 5V-5V DC-DC konvertora pre napájanie a čipu pre izoláciu dátového pripojenia taktiež od Silicon Labs.

Vďaka modularite nášho zariadenia bude možné tento USB/UART prevodník použiť aj v iných aplikáciách, ako len pri EEG. Taktiež to platí aj opačne, je možné vytvoriť

Ľubovoľné rozhrania využívajúce napr. technológiu Bluetooth, kedy pri napájaní z batérie zabezpečíme komplettnú izoláciu od okolia.

Vďaka použitým konektorom IDC je modularita jednoduchá, žiadne špeciálne konektory, všetko čo človek potrebuje vedieť je rozloženie pinov.

## 1.4 Softvér

Rozhodli sme sa nevenovať veľa času softvéru, kvôli už existujúcim open-source riešeniam. Avšak to neznamená, že tomu netreba venovať čas vôbec. Plánujeme v budúcnosti vytvoriť jednoduchý softvér určený na ovládanie napájania EEG.

Ako hlavný program na zobrazovanie a spracovávanie údajov z EEG budeme používať „BrainBay“. Ale vo všeobecnosti môžeme použiť ľubovoľný program podporujúci skladbu paketov OpenEEG verzie 2. Rozhranie tohto programu je pomerne jednoduché a užívateľsky prívetivé. Podporuje získavanie signálu z viacerých zdrojov a širokú škálu úprav týchto signálov. Na výstupe môžeme zobraziť digitálny osciloskop, frekvenčný analyzér, MIDI syntetizér, vizualizáciu, rôzne grafy, stĺpce a mnoho ďalšieho. Tento program taktiež podporuje aj zaznamenávanie získaných údajov.

## 2 Ciele práce

Primárnym cieľom je to najdôležitejšie, zstrojiť funkčný EEG hardvér (BCI). Vedie k tomu však pomerne dlhá cesta. Predovšetkým je potrebné si nájsť buď celú potrebnú teóriu a vymyslieť zapojenie úplne od základov, alebo nájsť otvorený projekt, ktorý si upravíme podľa svojich potrieb. Pokiaľ zoženieme jedno alebo druhé, môžeme začať robiť prvý prototyp na ktorom si odskúšame funkčnosť, poprípade doladenie určitých parametrov. Cesta ku prvému prototypu je kľukatá, je potrebné si najskôr rozmyslieť, čo to vlastne všetko budeme potrebovať, aké spôsoby pripojenia, počet elektród, prispôsobiteľnosť...

Pokiaľ si všetky tieto parametre premyslíme, môžeme začať robiť schému v nejakom CAD programe, v ktorom budeme môcť priamo vytvoriť aj návrh plošného spoja. Logickým krokom po návrhu plošného spoja a výbere vhodných súčiastok je zakúpenie týchto súčiastok a výroba plošného spoja.

Nasleduje tá najstresujúcejšia časť, testovanie funkčnosti. Pokiaľ prvý prototyp bude funkčný, nebude toho treba už veľa meniť, avšak vždy sa vyskytne nejaká chybička krásy alebo zmena veľkosti súčiastok.

Tým pádom už nastáva ten čas pre prototyp číslo 2 a zároveň možnú finálnu verziu. Úprava plošného spoja, lepšia selekcia súčiastok... Po absolvovaní tejto cesty sa bude však treba postarať taktiež o estetickú stránku tohto výrobku. Zaobstaranie si krabičky adekvátnych rozmerov, pri spájkovaní uprednostniť úhladnosť pred rýchlosťou, vyrobenie potlače a správne označenie pre jednoduché použíte. To všetko dodá efekt dokonalosti tomu výrobku.

Následuje už len návrh a výroba modulov určených pre pripojenie k záznamovému zariadeniu. U ktorých treba myslieť na izoláciu od okolitého prostredia a dodávanie energie.

### **3 Metodika práce**

Metodika práce bude písaná spôsobom, aby jej dokázal porozumieť každý nadšenec elektroniky s pokročilejšími znalosťami a skúsenosťami výroby plošných spojov a osádzaní súčiastok.

#### **3.1 Otvorený projekt a licencovanie**

Rozhodli sme sa íst' cestou otvoreného projektu, keďže vytvorenie schémy od základov a testovanie zapojení by nám zabralo mesiace ak nie roky sústredenia sa na tento projekt.

Projekt OpenEEG bol presne to čo sme hľadali. Nielenže skupina nadšencov vytvorila schému a spôsob zapojenia, ale taktiež vytvorila komunitu. Síce je pravda, že tento projekt už je staršieho dátu (~2005) a čím ďalej tým menej ľudí odkazuje na tento projekt, avšak pokial' sme mali nejaký dotaz k projektu, vždy sa našiel niekto, kto nám vedel pomôcť cez e-mail.

Tento projekt je pod licenciou Creative Commons Attribution – ShareAlike. To znamená, že tento projekt sa môže použiť a zdieľať neobmedzene, pokial' sa uvedie zdroj a bude sa používať rovnaká licencia. Plánujem túto iteráciu projektu zdieľať akonáhle skompletizujem návrh a schému. Rozhodne znie zaujímavo prispiet' do tak skvelej komunity nadšencov. Dúfajúc, že naša práca pomôže niekomu, kto bude možno robiť podobný ročníkový projekt, nuž to je budúcnosť...

I keď nepoužívame pôvodný projekt ModularEEG, ale jeho iteráciu optimalizovanú pre priame pripojenie k USB, kompaktné rozmery a použitie SMD súčiastok nazvanú EEG-SMT. Môžem a musím sa držať pôvodnej licencie. O túto iteráciu sa pričinila bulharská spoločnosť Olimex Ltd. sídliača v Plodive, druhom najväčšom meste Bulharska. Táto firma predáva súčiastky a hotové elektronické projekty. A vďaka tej licencii bolo potrebné aby aj oni zdieľali svoje schémy a návrhy plošných spojov, ktoré sme si upravili.

#### **3.2 Výber súčiastok**

Kedže Olimex má prístup ku kvázi neobmedzenému množstvu tých špecifických súčiastok, my sme tú možnosť nemali. Ako zdroje súčiastok sme použili rôzne stránky, napríklad AliExpress pre konektory a káble, kde sa dajú takéto súčiastky zohnať kvalitné a lacné. Pre zvyšok funkčných súčiastok (rezistory, kondenzátory, integrované obvody...) sme použili stránku Mouser, kde majú veľmi široký výber a poštovné pri objednávke nad

50\$ zadarmo. Neskôr sme museli doobjednať nejaké súčiastky cez kamaráta, pretože sme urobili nejaké zmeny v návrhu. Poučenie znie: Objednávať až finálny výber súčiastok, dôkladne si to premysliť.

### 3.3 Prototyp č. 1

Toto bol náš prvý experimentálny návrh, na ktorom sme si zdokonalili svoje zručnosti s programom Eagle. Úprava schémy a návrh plošného spoja nám bezmála trvali aspoň 3 týždne. To nerátam už vyhotovenie samotného výrobku. Sprevádzalo ho však niekoľko komplikácií, ktoré sa našťastie podarilo vyriešiť „bezbolestne“.

Prvou komplikáciou bolo nedostatočné postriebrenie plošného spoja, to sa pretavilo do nedostatočnej prilnavosti cínu na med', ktorá vplyvom okolia skorodovala. Byť postriebrená, cín sa rozleje bezproblémovo. Síce vzniklo vyššie riziko vytvorenia studeného spoja (elektricky nevodivého), avšak podarilo sa pospájkovať všetky súčiastky.

Druhou nie až tak veľkou komplikáciou bolo použitie menších SMD súčiastok (0603) ako som použil v návrhu (0805). To malo za následok zmenšenie úhladnosti plošného spoja a náročnejšie ukladanie a spájkovanie súčiastok.

Treťou, pomerne nepríjemnou komplikáciou bolo veľmi nedokonalé vyleptanie, spájkovanie a upevnenie MicroUSB konektora nachádzajúceho sa ten krát ešte priamo na doske. Musel sa nachádzať v špecifickej polohe pre jeho vôbec možné používanie. Ked'že prototyp 1 mal taktiež aj IDC konektor pre napájanie a komunikáciu, bolo to vtedy mysené len ako vstup/výstup pre dátu a výstup pre napájanie. Tým pádom MicroUSB zastávalo hlavnú rolu napájania obvodov a dátové piny nemalo pripojené. Neskôr po prehodnotení výhod/nevýhod sme sa rozhodli zlúčiť s IDC konektorom a nazvali sme ho tým pádom Power/Communication Connector (P/C CON) ku ktorému sa pripája P/C Modul. Zastáva funkciu prívodu napájania do EEG a komunikáciu s okolitými zariadeniami (závisí to od požitého modulu).

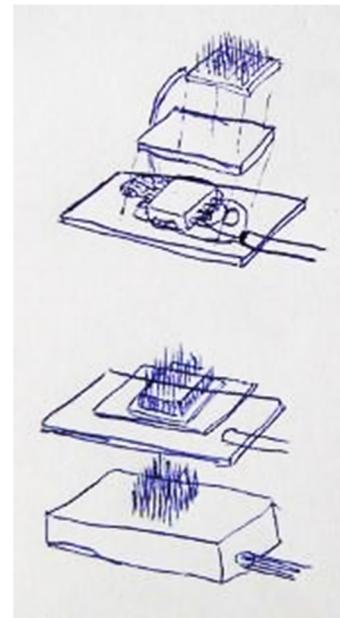
Štvrtou komplikáciou bola neskúsenosť programovania ATmega mikroprocesorov. Po prvom naprogramovaní a po pripojení do počítača posielalo EEG nezmyselné údaje. Po neskoršom zistení sme prišli na to, že pracoval len na vnútornom takte o frekvencií 1MHz. To spôsobilo nedostatočnú rýchlosť spracovania údajov a pomalé odosielanie dát. Ked'že používame technológiu UART a v rámci nej si je potrebné zvoliť fixnú prenosovú rýchlosť ako požiadavku pre korektnú komunikáciu medzi zariadeniami. Kryštál o netradičnej frekvencií 7,3728MHz zaručuje správnu frekvenciu odosielania dát cez UART, kde je umožnené násobiť/deliť túto frekvenciu pre naše požiadavky. Jednoduchým riešením tejto

nepríjemnej situácie bolo správne nastavenie konfiguračných poistiek pri programovaní. To nám umožnilo aktivovať externý kryštál a používať jeho frekvenciu.

I keď sme nemohli odskúšať prototyp 1 aj s elektródami, kvôli prehodeniu napájacieho a signálového pinu v jacku použitého pri zapojení v prototype 2, celkovo sa dá však prototyp 1 nazvať úspechom. Jeho schému, fotky a návrh nájdete ako prílohy.

### 3.4 Elektródy

Najväčšou výzvou pri návrhu elektród bolo vymyslenie ich konštrukcie. Veľmi nás zaujala a inšpirovala práca Jima Petersa, ktorý vymyslel konštrukciu elektród s kontaktnou plochou pozostávajúcou z pinov. Piny umožňujú pripojenie elektród ku hlave aj cez vlasy a to, že sú ešte k tomu aj aktívne umožňuje nepoužiť vodivý gél, ktorý však môže byť aj tak prospešný. Olimex poskytol spoľahlivé a bezpečné zapojenie týchto elektród avšak predávajú len elektródy s kontaktnou plochou priamo na pozlatenom plošnom spoji, t. j. je nutné použiť vodivý gél pre kontakt s pokožkou cez vlasy. Schému elektród sme nijak neupravili, avšak návrh sme si urobili vlastný a vymysleli sme spôsob pevného pripojenia pinov s možnosťou upnutia elektród na prádlovú gumu so suchým zipsom pre jednoduché a pevné nasádzanie elektród na hlavu.



Obrázok 3-1 Jimov Petersov  
návrh elektród

Náš návrh aktívnych elektród pozostáva z dvoch plošných spojov, jeden je určený explicitne pre pripojenie pinov a na druhom sa nachádzajú všetky elektronické komponenty a plôšky pre pripojenie audio kábla na prívod napájania pre operačný zosilňovač a prenos signálu do samotného EEG. Tieto dva plošné spoje sú pevne naspájkované k sebe pomocou štyroch pevných mosadzných pinov nachádzajúcich sa po rohoch týchto plošných spojov o totožnej veľkosti 14x22mm. Z toho jeden pin prenáša signál z pinov pripájajúcich sa na pokožku na druhý plošný spoj, kde sa zosilní a pošle sa ďalej.

Pre jednoduché umiestnenie na prádlovú gumu, taktiež jednoduchý pohyb po nej a ochranu elektrických súčiastok (kábla) zabezpečuje ich zaliatie lepidlom z tavnej pištole. Tým pádom sa tieto elektródy stávajú finálnym výrobkom a sú vhodné pre použitie v akomkoľvek EEG typu ModularEEG so správnym pripojením jednotlivých vodičov v kábli. Nemusí byť použitý 3,5mm jack, ale na tento účel je veľmi vhodný, vďaka jeho rozšírenosti, prenositeľnosti, spoľahlivosti a predovšetkým päť pinovému spôsobu

pripojenia samice, ktoré som využil až v treťom prototype. V skratke umožňuje nepoužiť všetky elektródy so zachovaním správnej funkčnosti DRL, keďže DRL potrebuje mať pripojené všetky elektródy na tele, nemôžu zostať nepripojené (tzv. plávať, float). Obvyklý spôsob je pripájanie ďalších prepojovacích kálov signálu ku virtuálnej zemi V\_REF, avšak tieto samice jackov umožňujú automatické pripojenie ku tejto zemi. Tým pádom pripojenie ked' elektróda nie je pripojená a samozrejme aj odpojenie pri pripojení elektródy. Nápad na takéto zapojenie nám vnukol Stefan Jung, ktorý nám odpísal na e-mail s požiadavkou na riešenie problémov a pochopenie funkcií jednotlivých komponentov tohto konkrétneho EEG.

Postup ich výroby je pomerne jednoznačný a nachádza sa v obrázkovej podobe ako príloha. Poznamenali by sme len, že si treba dať pozor na rotáciu súčiastok, ako aj plošných spojov, lebo nie sú symetrické a je ich možné spojiť dohromady len jednou stranou, jedným smerom. Dĺžku kábla by sme nedávali však väčšiu ako 1,2m, pretože pri podobných návrhoch káble dlhé okolo 2m vykazovali neduhy, ktoré nie sú zlúčitelné so správnou funkciovou zariadenia.

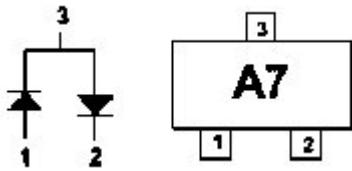
### 3.5 Prototyp č. 2

Celkovo prototyp 2 je veľmi úhladne a profesionálne urobený návrh. Okrem diametrálne odlišného umiestnenia súčiastok, zámenu pinov v elektródach a odstránenia MicroUSB konektora nastali zmeny ako napríklad vyvedenie kontrolných pinov pre kalibráciu elektród a pre konfiguráciu a diagnózu DRL pripojenia. Ďalej rozmery plôšok presne na použité súčiastky, lepšia napájacia kaskáda a uzemňovací polygón, náписy pre jednoduchú identifikáciu vyvedených pinov, samíc jackov a trimrov na doske, zmenšenie počtu prepojov skrz plošný spoj, názov výrobku zmenený z pôvodného EEG-SMT na EEG-RM (ReMake) a pridané jednoduché sériové číslo pozostávajúce z dátumu a verzie prototypu.

Veľkou zmenou bolo spojenie funkcie napájania a komunikácie pod jeden konektor, P/C konektor. Toto originálne pripojenie využívajúce IDC 6pinový konektor umožňuje vytvoriť sadu P/C modulov líšiacich sa použitými technológiami, možnosťami napájania a izolácie pod jedným univerzálnym spôsobom pripojenia. Kládli sme dôraz na to, aby v budúcnosti nevznikala nekompatibilita. Týmto spôsobom kompatibilita je viac-menej zaručená. Či už človek použije bezdrôtové alebo klasické technológie, pokial' vie tá technológia interpretovať UART, čo je veľmi rozšírené a univerzálné pripojenie, tak nebude problém s pripojením a vývojom aplikácií.

Toto vydanie malo vyriešiť všetky nedostatky prototypu 1, avšak nastali komplikácie a kvôli našej nepozornosti neboli zo začiatku funkčný. (Verzia 110118P02)

Prvá chyba nastala v programe Eagle, kde sme potrebovali aktualizovať knižnice a nanešťastie nám tá aktualizácia prehodila plôšky u ochranných diód BAV199 a tým pádom spôsobila skrat. Pretože dióda BAV199 má tri plôšky na ktoré má vyvedené spojené dve diódy v jednom smere: prieplustný smer, stred a záverny smer, respektíve. Zámena plôšky 1 a 2 spôsobila teoretický skrat medzi 5V a GND. Vďaka vedeniu 5V napájania cez jednotlivé prepoje, bolo možné jednoducho identifikovať zdroj problému, avšak nečakane sme objavili aj ďalší problém. Otočenie integrovaného obvodu IC3, ktorý viac-menej bol v skrate tiež. Riešením tohto problému bolo diódy odpájkovať a integrovaný obvod odpájkovať, otočiť a znova napájkovať.



Obrázok 3-2 Vývody diód BAV199

Komunikácia s počítačom bola bezchybná, problém však nastal až po pripojení elektród ku hlave a obzvlášť pripojení DRL elektródy. Náš signál, ktorý pozostával (aspoň) z rušeného signálu po pripojení DRL úplne zmizol alebo nedával zmysel. Podozrievali sme integrovaný obvod IC3 (súčasť DRL obvodu), kvôli tomu, že sme ho nedopatrením obrátili a tieklo cez neho veľmi veľký prúd. Nakoniec sa však ukázalo, že sme len zabudli prepojiť dva vývody na to určené v prípade nepoužitia doladovacieho trimmera pre DRL. Po prepojení tých vývodov EEG fungovalo ako má.

Ďalším logickým krokom je poupravenie tohto návrhu kvôli oprave neduhov, ktoré vznikli a poprípade ešte raz prehodnotiť rozloženie súčiastok. Vo verzii 170118P02 sme opravili zapojenie diód, avšak rozhodli sme sa pre ďalšie, hlavne kozmetické úpravy, čo sa pretavilo do prototypu 3.

### 3.6 Prototyp č. 3

Táto verzia nie je až tak odlišná od prototypu 2, avšak prináša niekoľko hlavne kozmetických úprav a úprav niekoľkých ciest. Väčšina zmien sa týka IC4 a súčiastok okolo. Trimmre sú posunuté. Kryštál je otočený o 90°, pre jednoduchšie osádzanie. Pomenovania a názvy sú premiestnené, optimalizované pre ich krajšie vyleptanie. Toto sa nachádza vo verzii 180118P03.

Verzia 040218P03 má ešte k tomu navyše už spomínané automatické odpojenie/pripojenie vstupov signálu do zosilňovača ku zemi, potrebné pre správne

fungovanie DRL. Toto je v podstate najnovšia verzia EEG-RM, ktorá má ašpirácie stať sa finálnou verziou.

### 3.7 Postup a tipy

Postup reprodukcie našich výsledkov je veľmi priamočiary: Vyrobiť plošný spoj, zaspájkovať, naprogramovať, vyrobiť ľubovoľný P/C Modul, otestovať komunikáciu, vyrobiť elektródy, doladiť zosilnenia a spokojne používať.

Na jednej strane potrebujeme dobré zručnosti so spájkovaním SMD súčiastok, ale na druhej strane je to všetko dobre rozmiestnené s dostatkom priestoru, pokiaľ sa dodržia určité zásady.

Každý človek má rôzne metódy a know-how, preto by bolo zbytočné tu napísať nejaký univerzálny postup. Môžeme však napísať zopár tipov a zásad, ktorých sa treba držať.

1. Uistíť sa, že objednávame všetky súčiastky. Pokiaľ je to možné, tak aj do rezervy.
2. Pri výrobe obojstranného plošného spoja treba dávať pozor na správnu rotáciu, umiestnenie a prevrátenie. Nikdy nie je na škodu si to viac krát prekontrolovať.
3. Pokiaľ robíme masku, je potrebné kontakty pred tým postriebriť, tým umožníme cínu lepšie priťnúť a medi neskorodovať
4. Je žiaduce odmašťovať plošný spoj pred každým ďalším krokom jeho výroby, iba ak by to nespôsobilo nežiadúcu chemickú reakciu.
5. Opracovanie hrán a okrajov plošných spojov dodá výrazný estetický a pocitový efekt pri práci s ním, každopádne to znižuje aj riziko úrazu. Je to však žiaduce robiť pred spájkovaním, keďže súčiastky by nám tým pádom zavadzali.
6. Pri spájkovaní súčiastok postupujeme od tých najmenších a najzložitejších až po tie najväčšie najjednoduchšie. Hlavne musíme používať priestorové videnie a logiku pri postupe osádzania súčiastok, lebo prvé spájkovanie súčiastky je vždy to najjednoduchšie. Nesmie sa nám stať, že by sme si bránili nejakou už naspájkovanou súčiastkou možnosť naspájkovania ďalšej.
7. Pri spájkovaní zložitých SMD súčiastok, ako napr. mikroprocesor, používame veľké množstvo spájkovej pasty, ktorá umožní cínu zostať len na pozícii preň určenej
8. Pri finalizácii spájkovania je vhodné očistiť plošný spoj od zvyškov tavidiel, ktoré umožňovali lepšie priťnutie cínu (napr. kolofónia)
9. Pri programovaní mikroprocesoru je potrebné sa oboznámiť s tým konkrétnym typom programátora a jeho programovacím softvérom. Napr. aké nastavenia použiť, kde sa nastavujú poistiky pri procesoroch ATmega, taktiež aj ako ich vôbec nastaviť.

**Upozorňujeme** však, že nesprávne nastavenie poistiek môže viest' ku zablokovaniu a znefunkčneniu mikroprocesora!

10. Konštrukciu elektród neunáhlit' a overiť si správnosť zapojenia, lebo po zaliatí lepidlom z tavnej pištole (dôrazne odporúčam) sa stanú elektródy nerozoberateľné alebo ťažko rozoberateľné.
11. Diery určené pre štyri rohové podpery navŕtať o kúsok menšie, aby ich bolo možné tam jemne natlačiť. Tým pádom si zabezpečíme ich polohu pri spájkovaní a vieme jemne doladiť náklon, aby obidva plošné spoje boli rovnobežne.

## 4 Výsledky práce a diskusia

V priebehu vynakladania psychickej aj fyzickej práce do tohto projektu sa vyskytli menšie aj väčšie problémy. Môžeme však s kľudným svedomím povedať, že sme odviedli skvelú prácu. Nebolo to jednoduché ako obyčajné a veľa-ráz už robené ročníkové projekty. Teóriu a použité metódy metódy sme museli častokrát hľadať sami na zahraničných zdrojoch v angličtine. Preto je aj táto práca písaná najmä z vlastných skúseností nadobudnutých za posledný pol rok. Aj keď je ku téme EEG možné napísať obrovské množstvo teórie, rozhodli sme sa ísť stručnejšou a výstižnejšou cestou.

Čo sa týka samotného prístroja, ako už bolo písané, ani my sme sa nevyhli komplikáciám. Prvý prototyp I keď nie kompletne odskúšaný javil známky funkčnosti ako napríklad komunikácia s počítačom a zachytávanie rušeného signálu. Najväčším jeho problémom bolo však nedostatočne premyslené napájanie a neúhladný návrh. V druhom prototype prvej verzie sme sa snažili ho vyšperkovať, zjednodušiť a zúhľadniť. Pretavilo sa to však do ešte závažnejších problémov. Diódy v skrate a otočený operačný zosilňovač. Preto sme začali uvažovať, že či neurobíme rovno už aj tretí prototyp, keďže sme tých problémov našli o dosť viac ako sme predpokladali. Aktualizovaný druhý prototyp však opravil návrh diód a mal by byť bezproblémovo funkčný. Aj napriek tomu sme sa rozhodli investovať trochu času vylepšeniu a celkovému zúhľadneniu návrhu. Tretí prototyp integruje bezproblémové používanie menšieho počtu kanálov pri zachovaní funkčnosti DRL. Toto je vynikajúce vylepšenie oproti druhému prototypu. Ďalej sa zameriava na kozmetické a funkčné úpravy rozloženia súčiastok.

Dúfajúc, že tretí prototyp bude už finálna verzia, rozhodli sme sa vyrobiť P/C modul pre izolovanú komunikáciu a napájanie cez USB. Modul sa nám podarilo vyrobiť bez problémov a ďalším logickým krokom je vytvorenie 3D vytlačiteľnej krabičky preň.

Elektródy sme vyrábali ešte pred samotnou výrobou druhého prototypu s nekompatibilným zapojením pre prvý prototyp. Preto sme museli urýchlene vyrobiť druhý.

## Zhrnutie

Cieľom tejto práce bolo vytvoriť rozšíriteľný, modulárny, kompaktný, spoľahlivý a relatívne lacný prístroj na meranie mozgových vĺn v školských podmienkach. V jednotlivých kapitolách sme sa venovali všetkému potrebnému od teórie až po samotné zstrojenie.

V súčasnom stave riešenej problematiky sme písali o teoretických základoch funkcie ľudského mozgu, typoch mozgových vín a základoch funkcie EEG.

V cieľoch práce sme približovali a ujasňovali ciele tejto práce ako aj jej hrubý postup realizácie.

V metodike práce sme si dopodrobna priblížili funkcie jednotlivých komponentov tohto konkrétneho zariadenia, ale aj problémy, ktoré sa vyskytli počas realizácie či už prvého alebo druhého prototypu. Ponúkli sme taktiež aj rady a tipy pre čitateľov.

Vo výsledkoch práce a diskusii sme zhrnuli problémy a riešenia, ako aj aké sme mali z tohto projektu pocity.

## Záver

Aj po určitých komplikáciách môžeme povedať, že priebeh bol hladký. Splnili sme všetky ciele stanovené, i keď sa nám podarila finálna verzia až ako tretí prototyp. Berieme to však s nadhľadom, lebo vieme, že nikdy nejde všetko podľa predstáv. Práveže, keby všetko išlo hladko, vtedy by to bolo podozrivé.

Rozšíriteľnosť a modulárnosť tohto projektu boli naše hlavné zámery. Vytvorili sme nové špecifické rozhrania, ktorým ak sa vytvorí bohatý ekosystém, bude to veľmi zaujímavé pre aspoň zopár študentov a kutilov po celom svete. Plánujeme tento projekt zdieľať ďalej a už to bude len na ľud'och, že či sa ujme.

Je možné, že tento projekt využijeme aj pri ďalšom štúdiu. Keďže tento projekt, ak plne pochopený má hodnotu aj bakalárskej práce. A vždy je čo vylepšovať a učiť sa, lebo biotechnológie a prepájanie biologického materiálu s prístrojmi je budúcnosť. Pravdepodobne sa neodvážime ísť študovať toto odvetvie, ale človek musí uznať, že mat' širší rozhľad sa vyplatí.

Tento projekt nás obohatil viac ako všetky absolvované odborné výcviky dohromady, študenti by mali byť viac a skoršie angažovaní do hlavne správneho výberu nejednotvárnych projektov. Pretože len diverzita a iné „zvláštne“ postupy prinášajú inováciu.

## **Zoznam použitej literatúry**

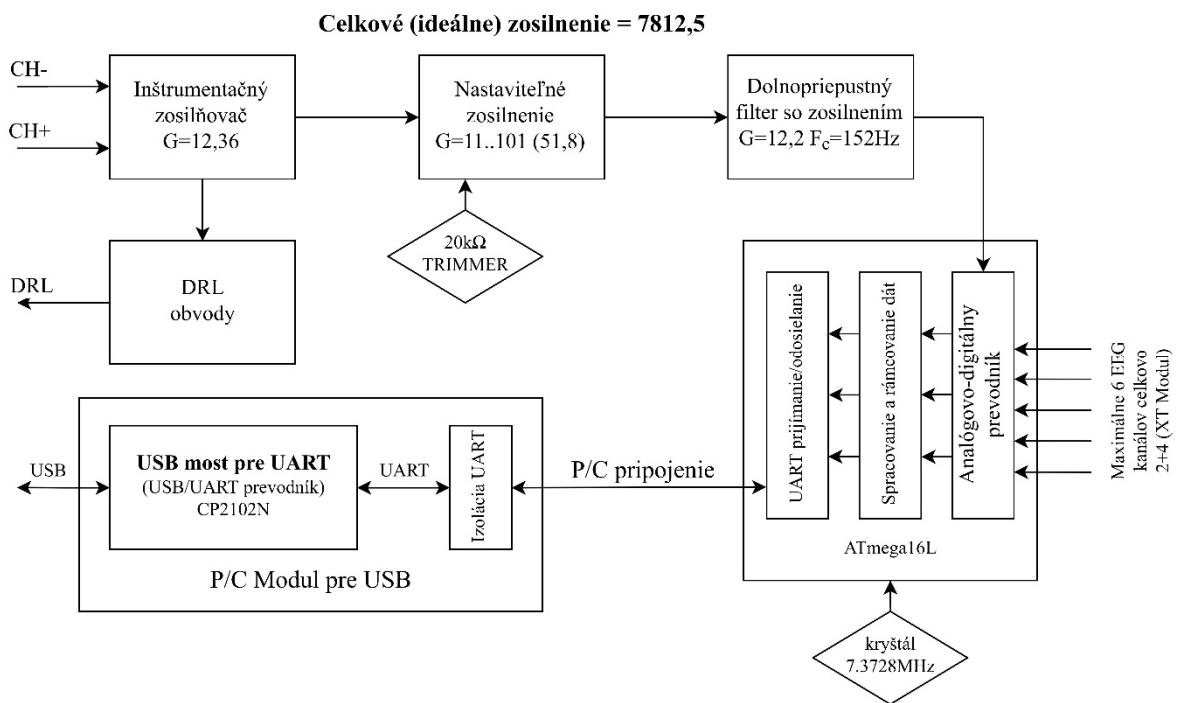
TEPLAN, M. 2002. Fundamentals of EEG Measurement. In: Measurement Science Review Vol. 2 Miesto vydania: Ústav merania, Slovenská Akadémia Vied, 2002. Dostupné na internete: <http://www.measurement.sk/2002/S2/Teplan.pdf>

MALMIVUO, Jaakko. PLONSEY, Robert. 1995. Bioelectromagnetism: Principles and Application of Bioelectric and Biomagnetic Fields. Miesto vydania: New York/Oxford, Oxford University Press, 1995. Dostupné na internete: [https://www.researchgate.net/publication/321094865\\_Bioelectromagnetism\\_13\\_Electroencephalography](https://www.researchgate.net/publication/321094865_Bioelectromagnetism_13_Electroencephalography)

What is EEG (Electroencephalography) and how does it work? In: Imotions [online]. 16.2.2016 Dostupné na internete: <https://imotions.com/blog/what-is-eeg/>

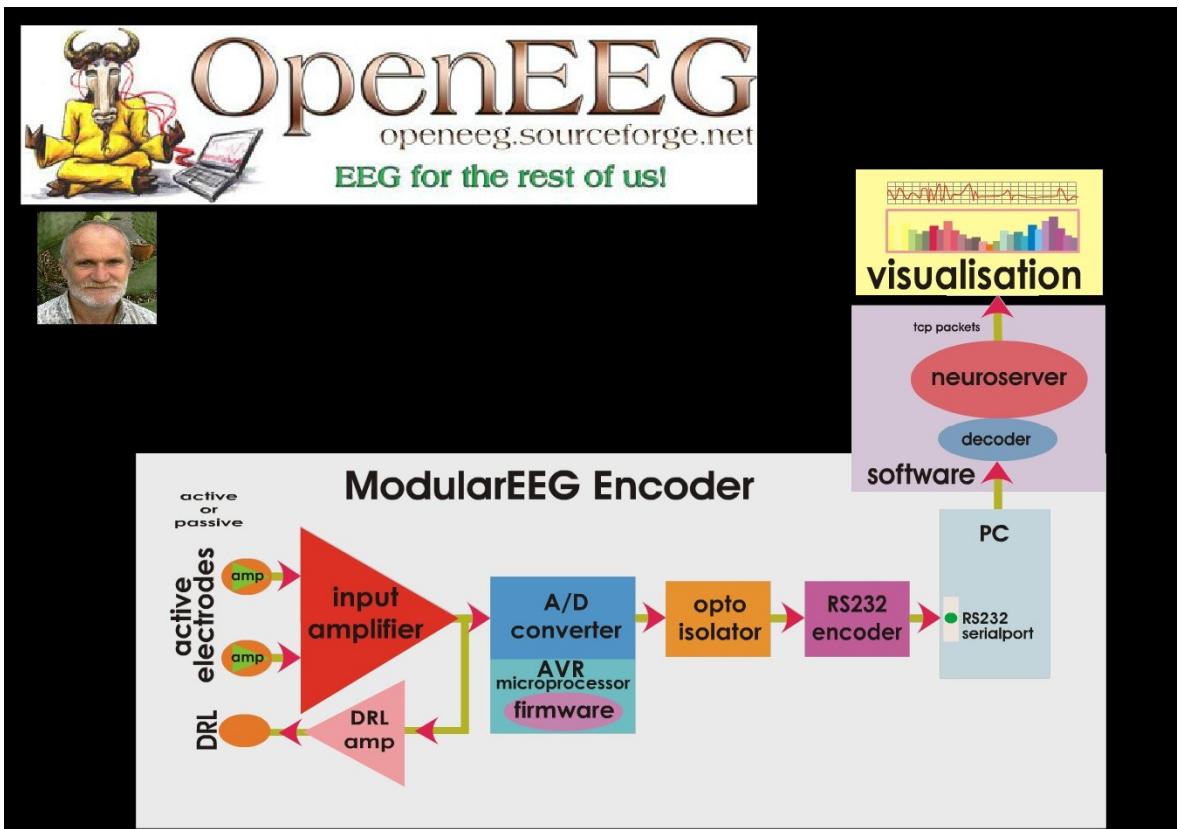
## Prílohy

### Príloha A



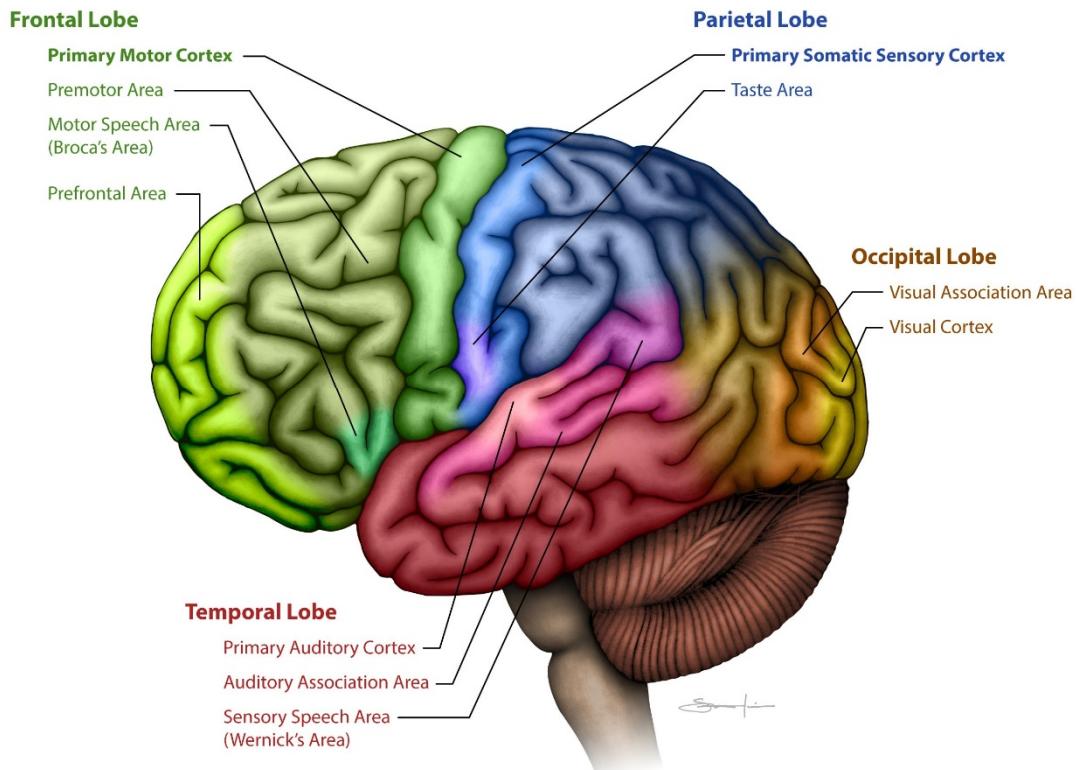
Obrázok 0-1 Bloková schéma.

### Príloha B



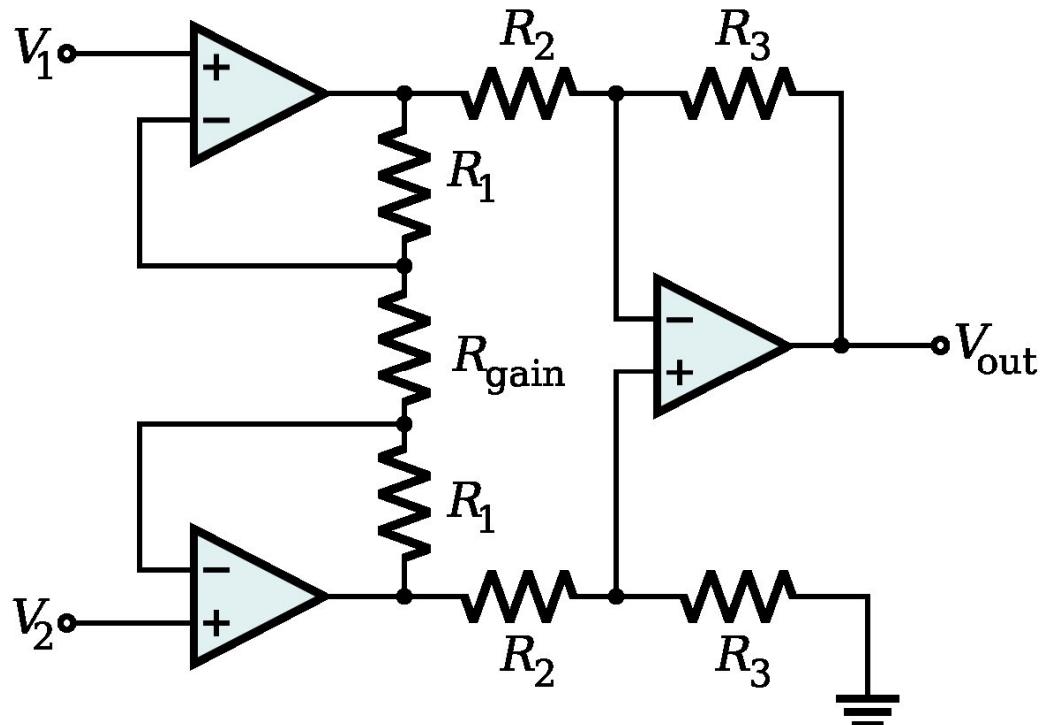
Obrázok 0-2 Bloková schéma ModularEEG.

## Príloha C



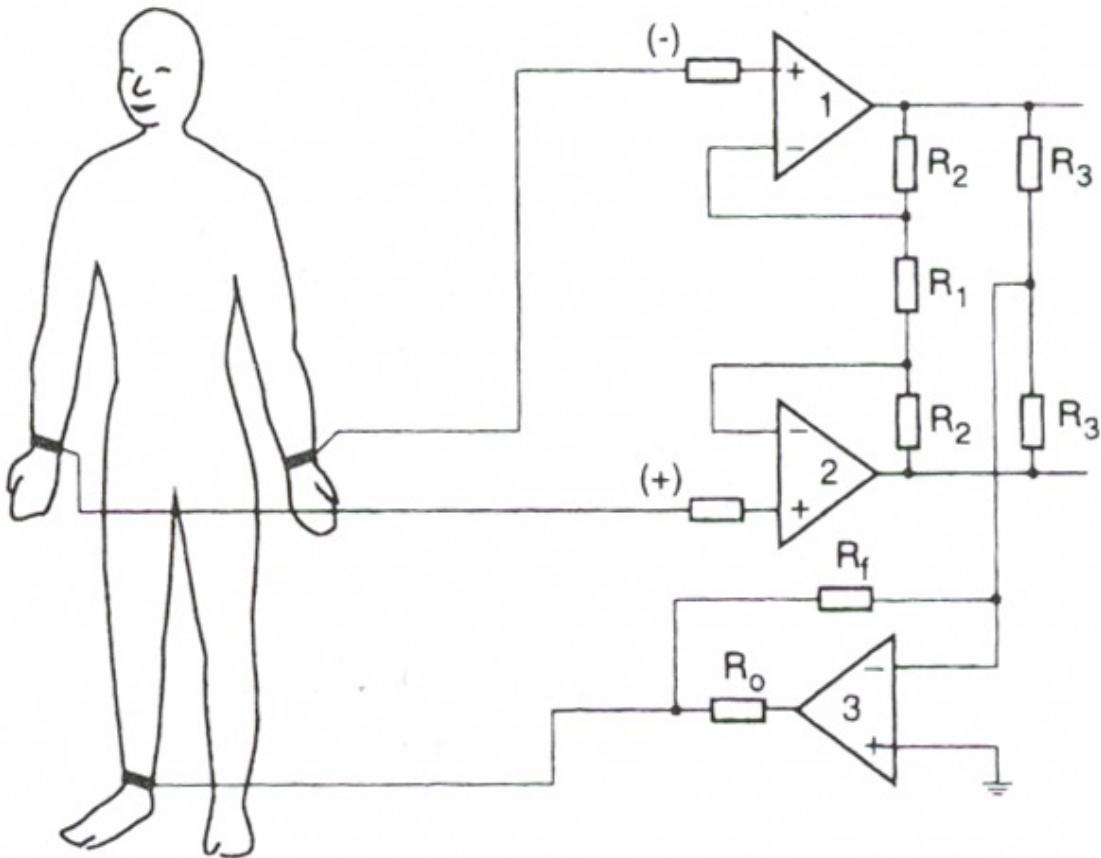
Obrázok 0-3 Mozgové laloky.

## Príloha D



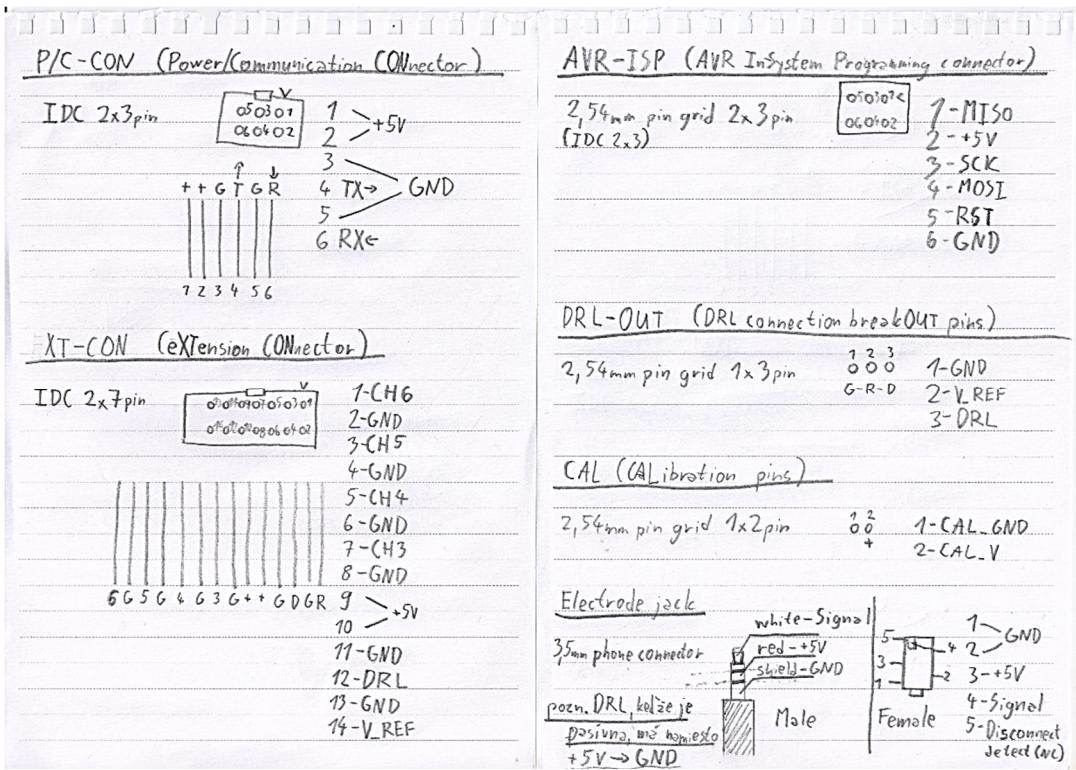
Obrázok 0-4 Vnútorné zapojenie inštrumentačného zosilňovača.

## Príloha E



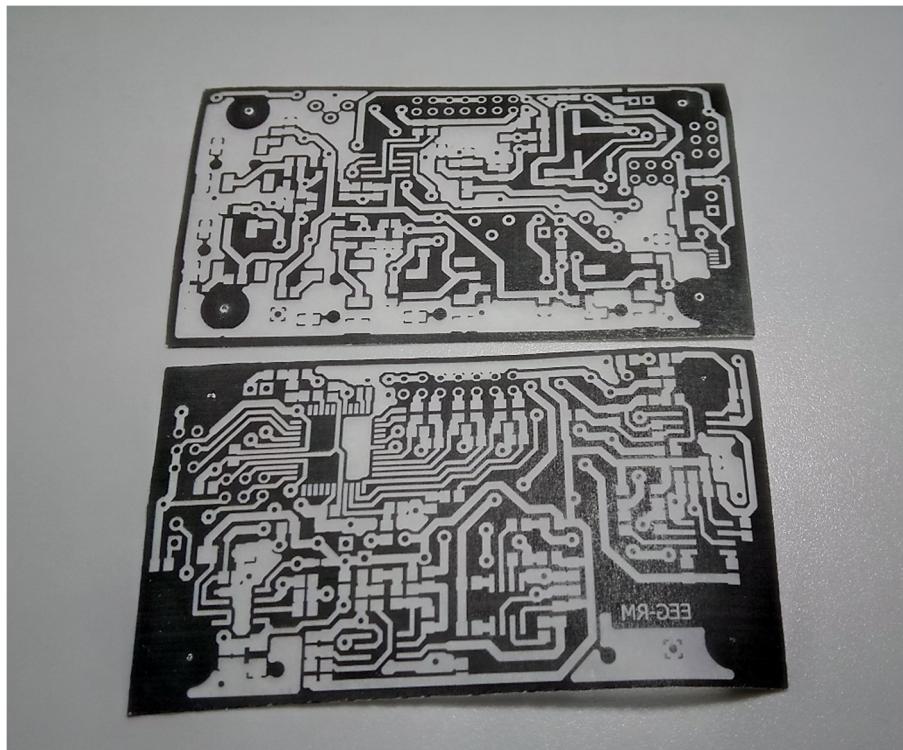
Obrázok 0-5 Zapojenie DRL elektródy pri EKG.

## Príloha F



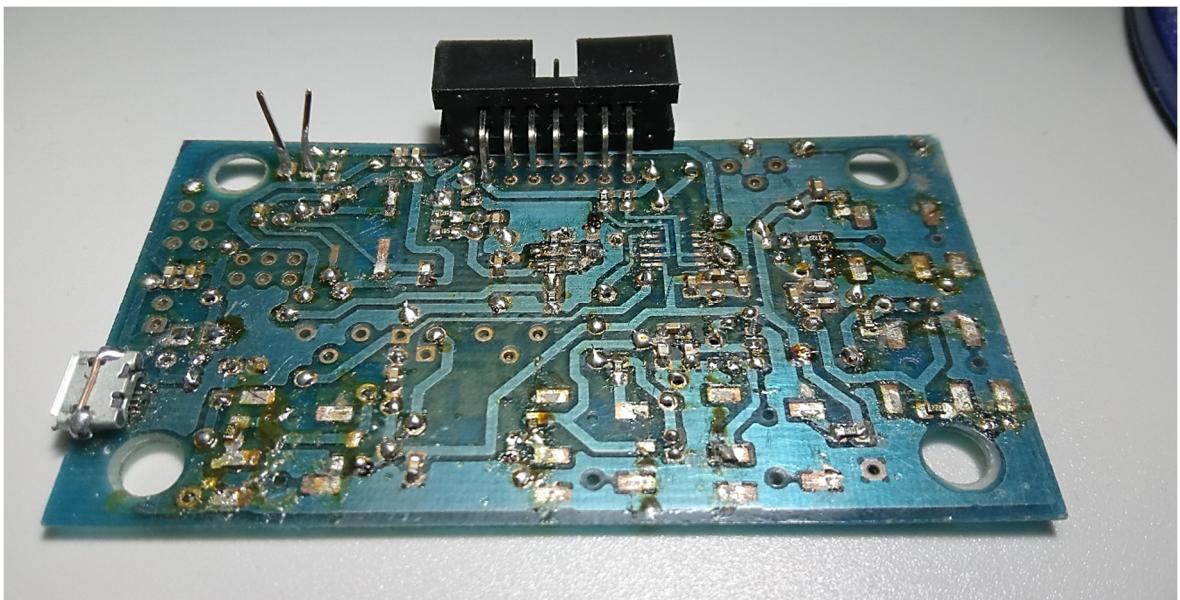
Obrázok 0-6 Ručne písané poznámky ku zapojeniu konektorov.

## Príloha G



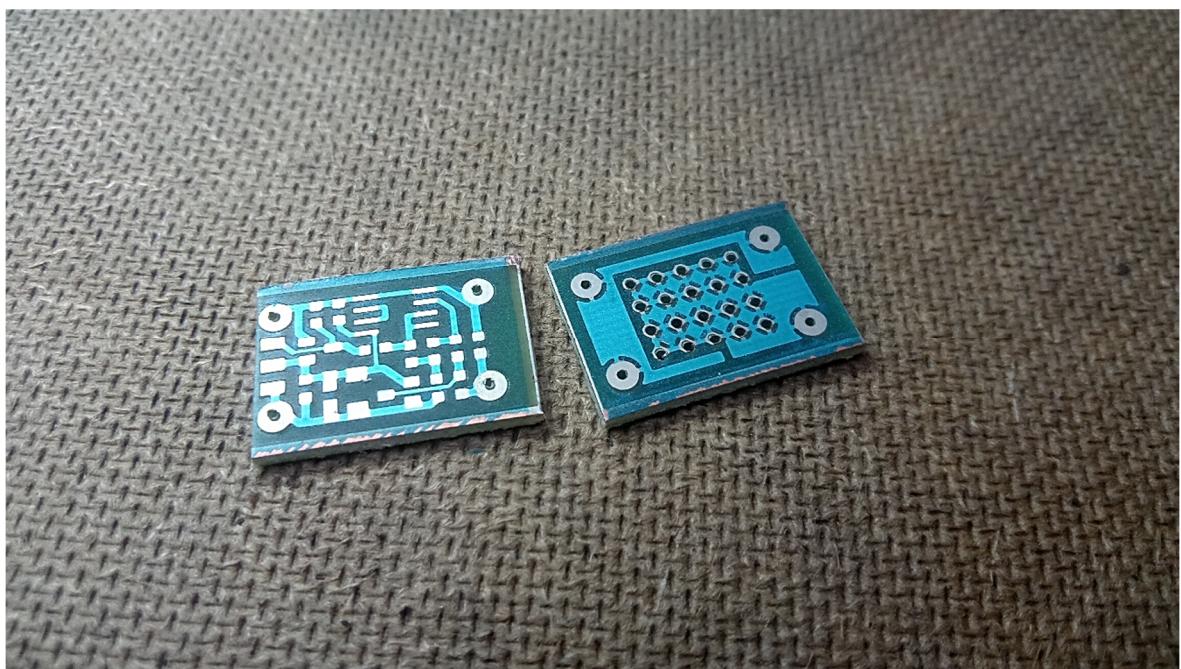
Obrázok 0-7 Návrh prvého prototypu vytlačený na pauzovacom papieri.

## Príloha H



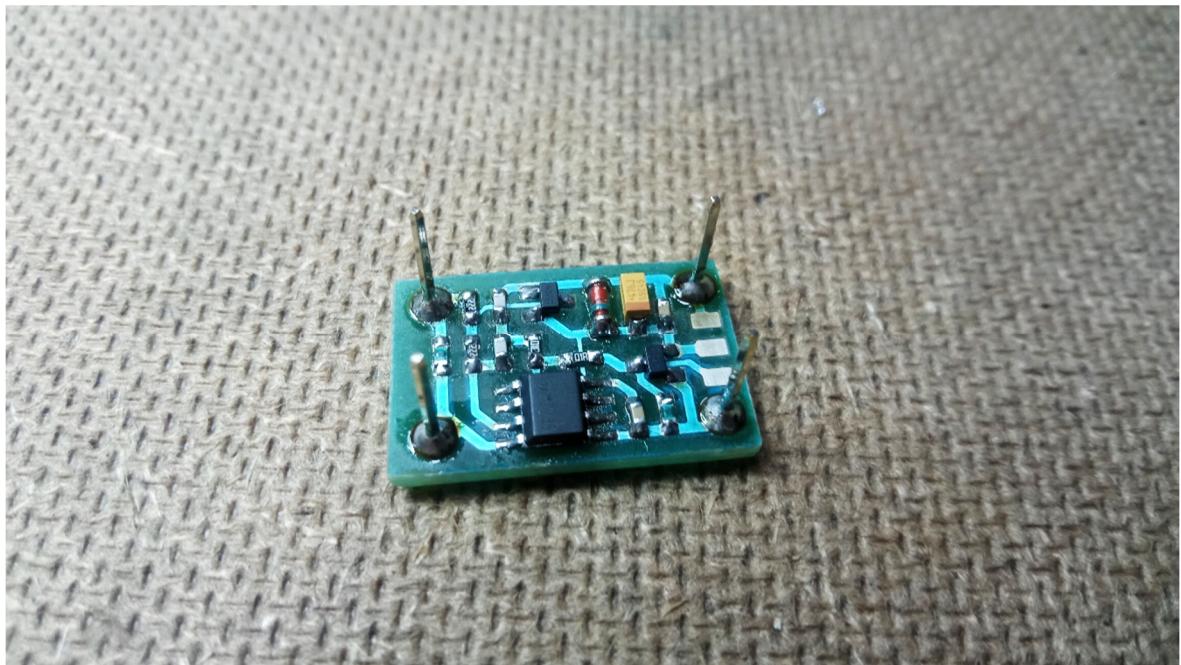
Obrázok 0-8 Plošný spoj prvého prototypu s už odpájkovanými súčiastkami.

## **Príloha I**



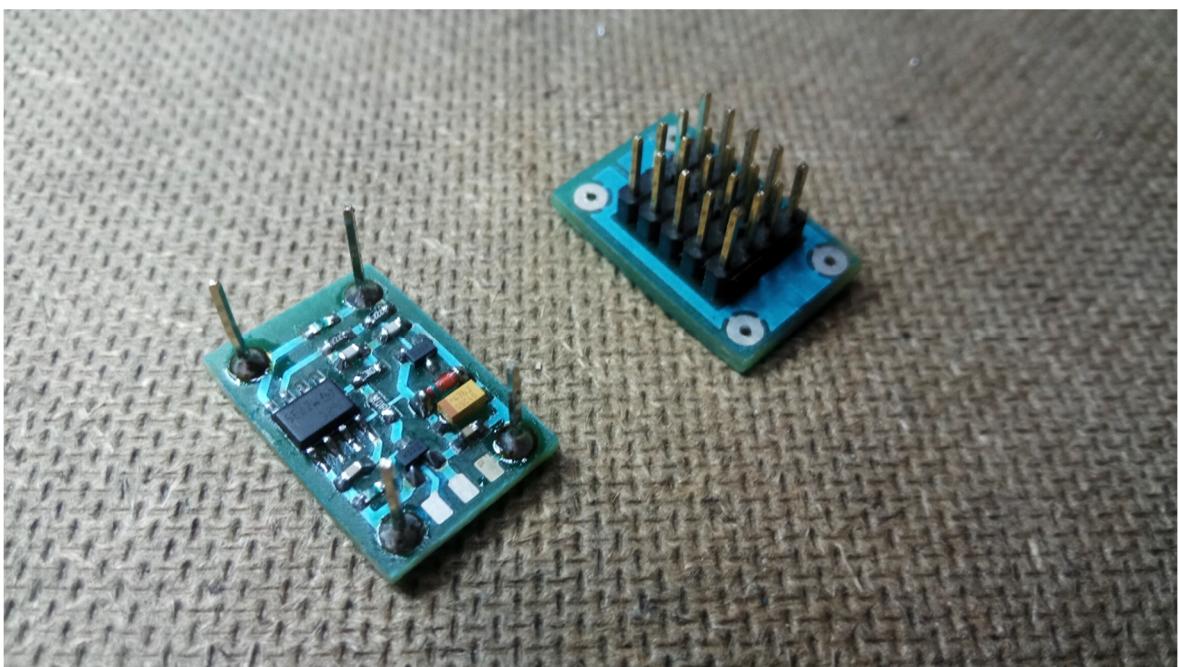
*Obrázok 0-9 Už urobené plošné spoje elektródy.*

## **Príloha J**



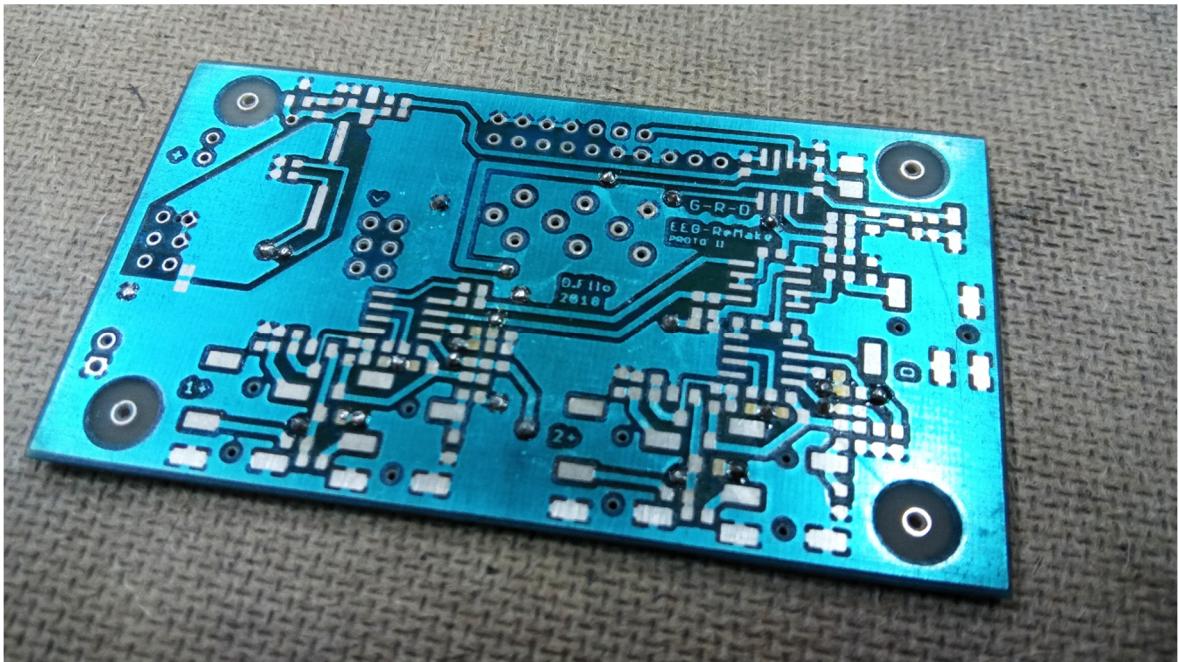
*Obrázok 0-10 Aktívna časť elektródy so súčiaskami.*

## Príloha K



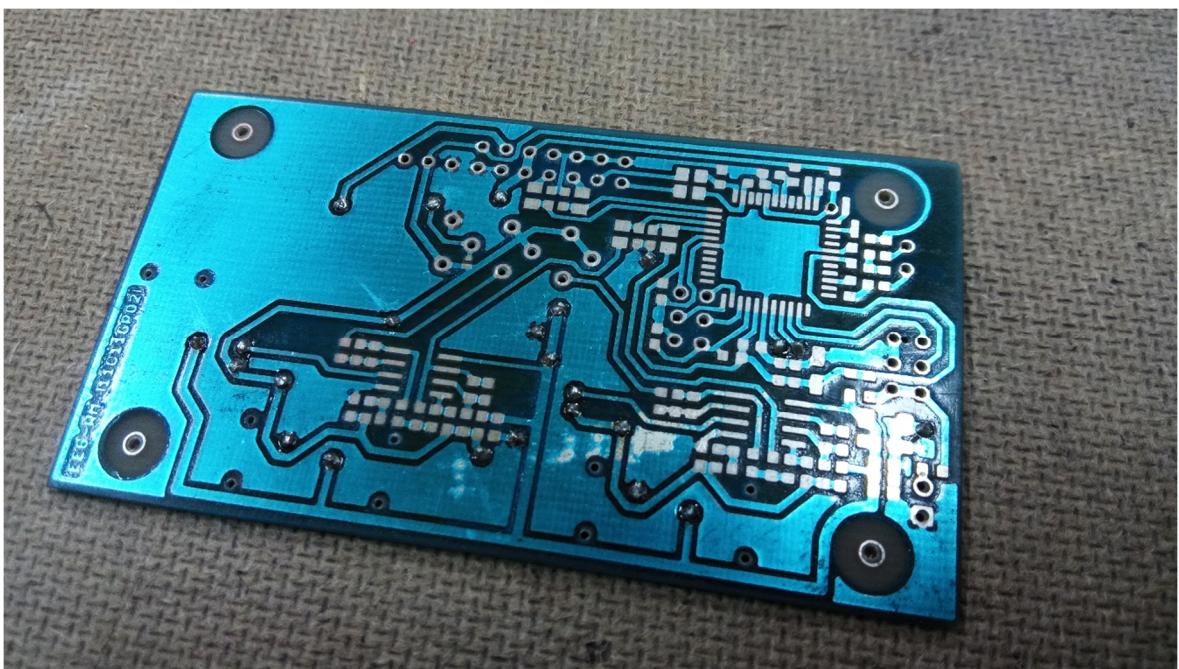
Obrázok 0-11 Oba elektródové osadené plošné spoje pripravené na ich spojenie.

## Príloha L



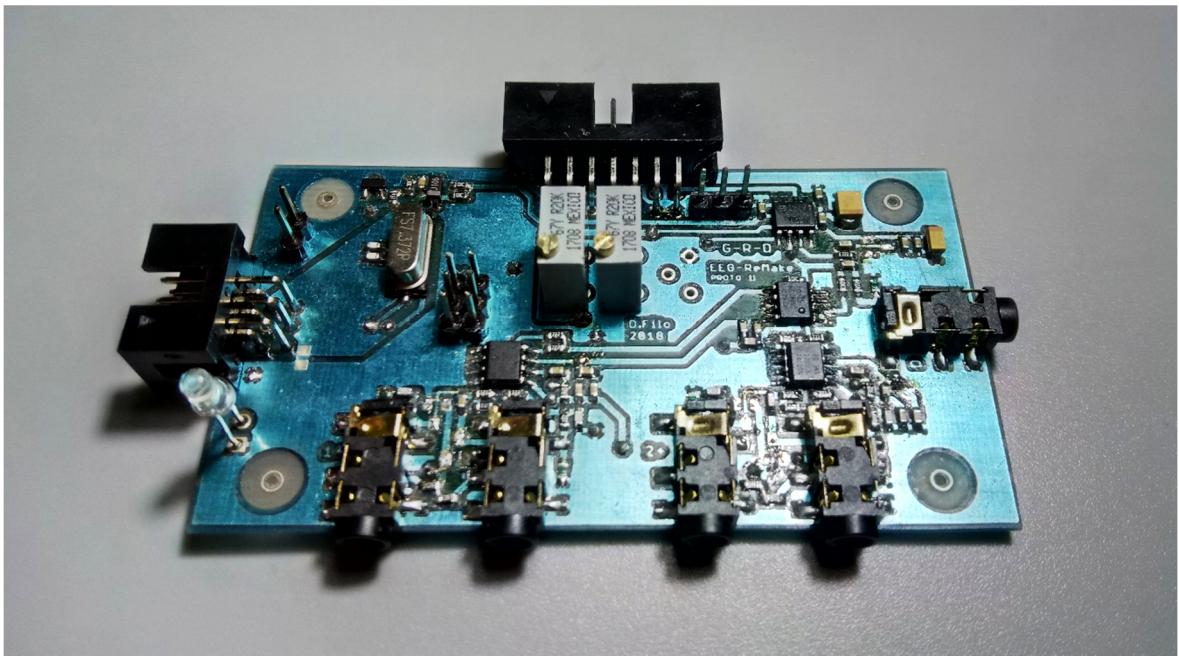
Obrázok 0-12 Horná strana plošného spoja druhého prototypu. Verzia 110118p02.

## Príloha M



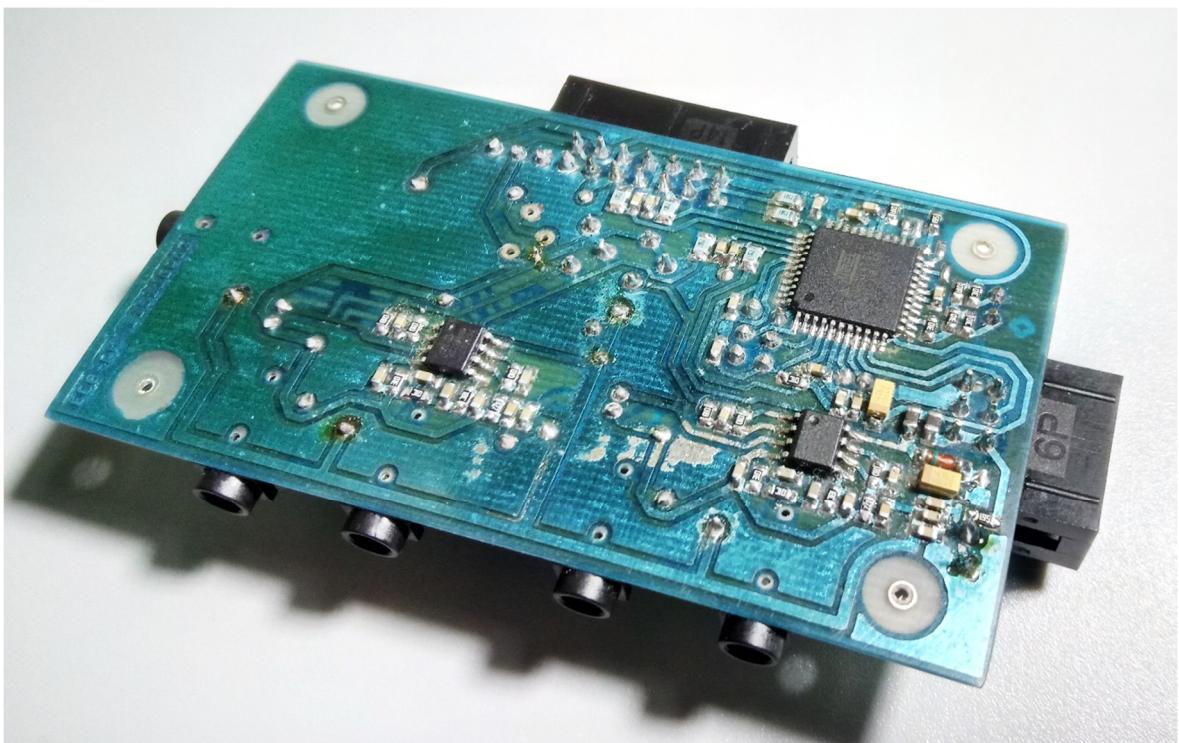
Obrázok 0-13 Spodná strana plošného spoja druhého prototypu. Verzia 110118p02.

## Príloha N



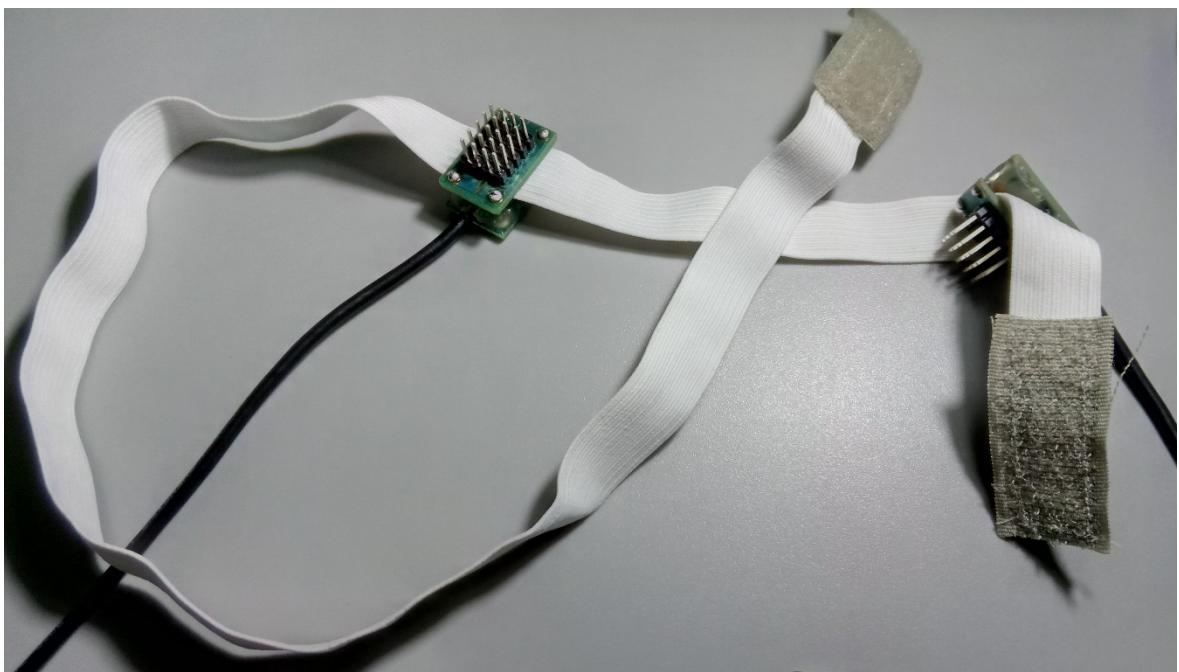
Obrázok 0-14 Už osadený druhý prototyp. Vrchný pohľad.

## Príloha O



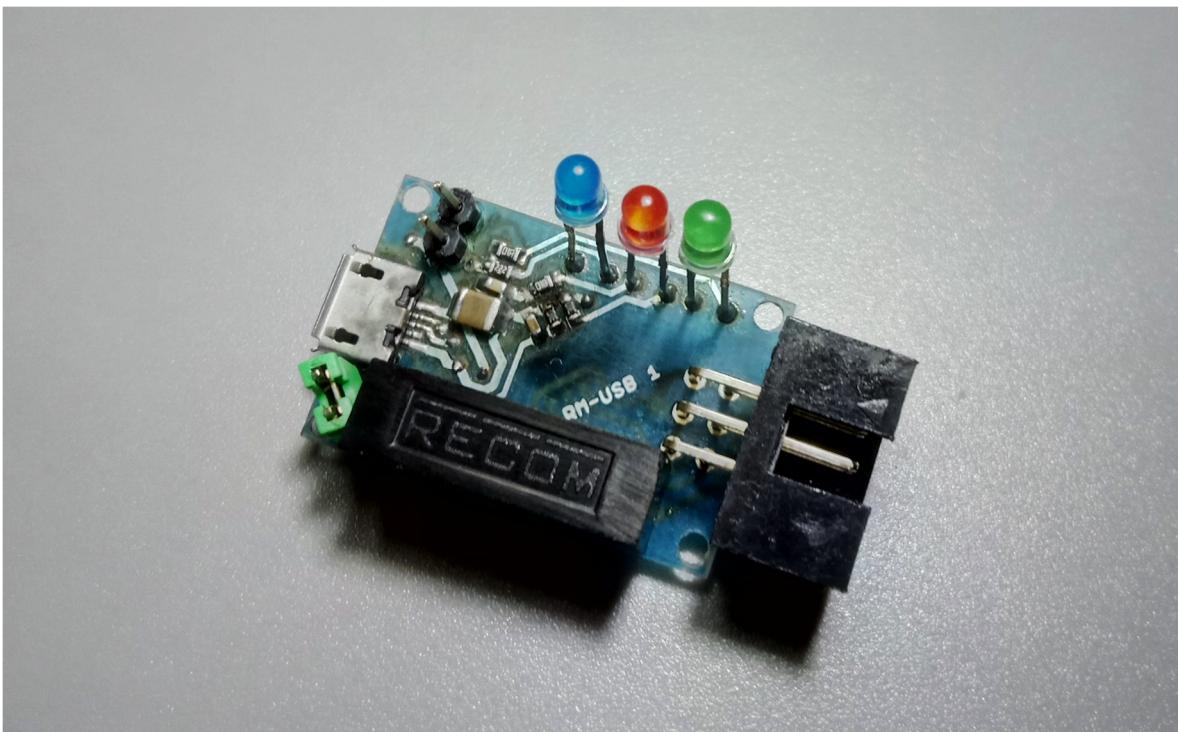
Obrázok 0-15 Už osadený druhý prototyp. Spodný pohľad.

## Príloha P



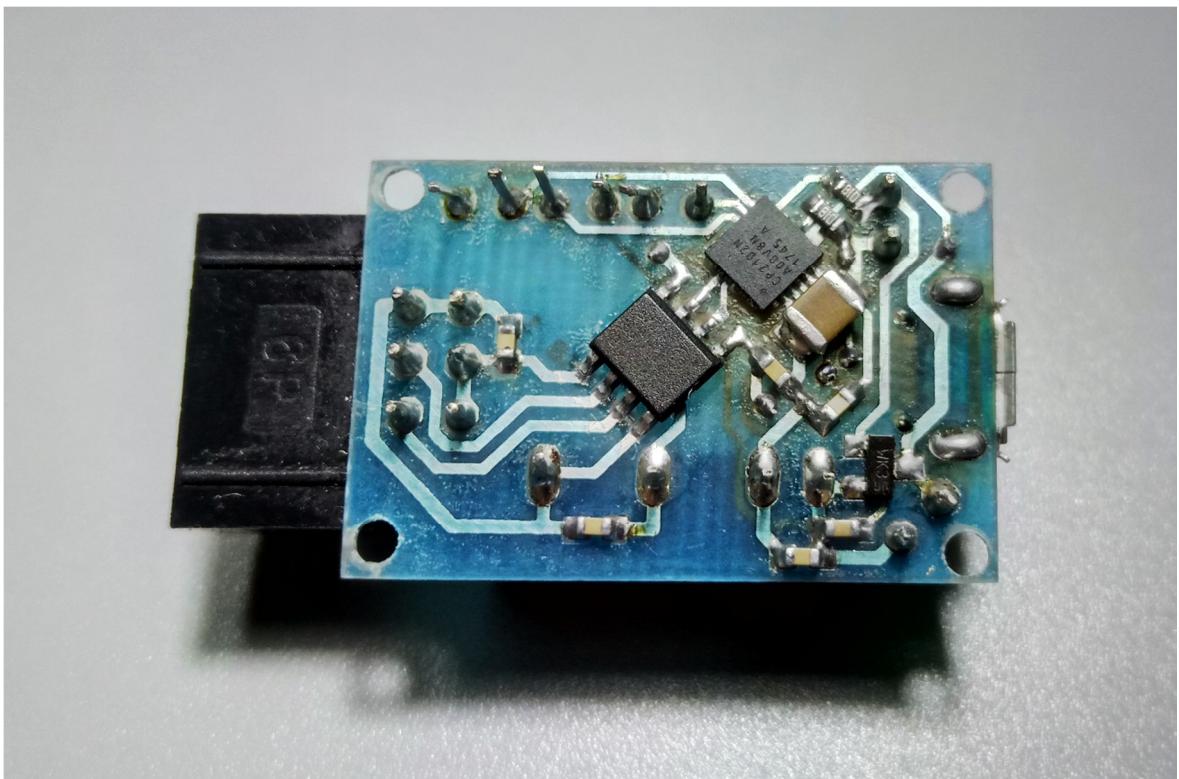
Obrázok 0-16 Hotové elektródy už s gumou pre upevnenie.

## Príloha Q



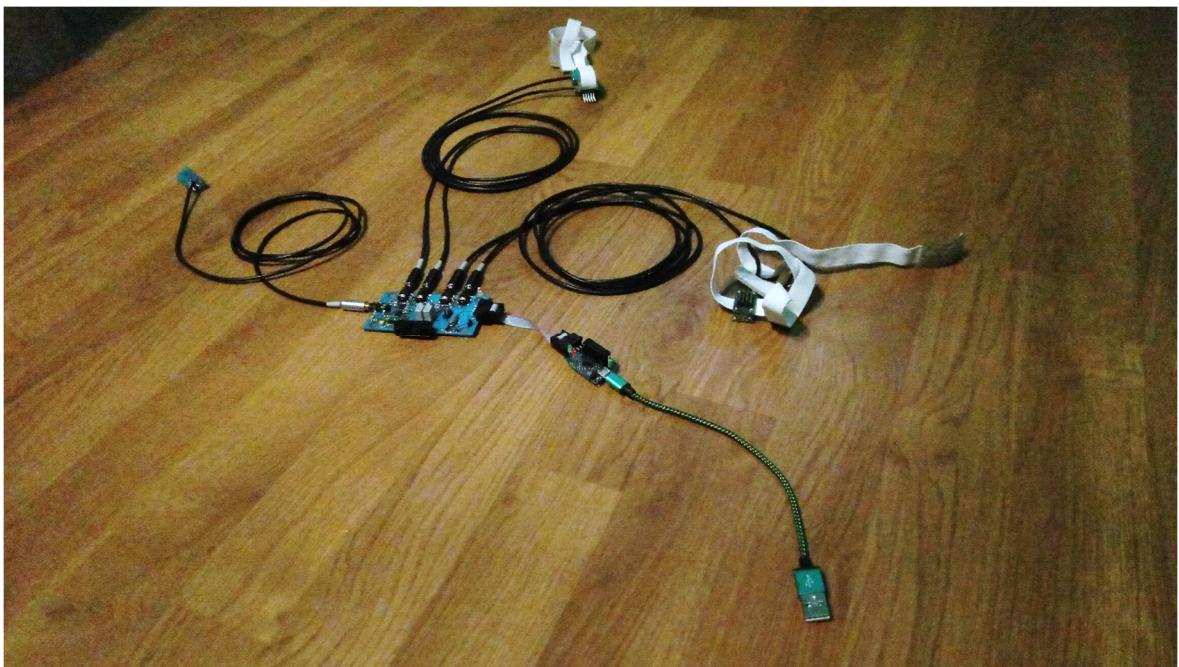
Obrázok 0-17 P/C modul RM-USB verzie 1. Vrchný pohľad.

## Príloha R



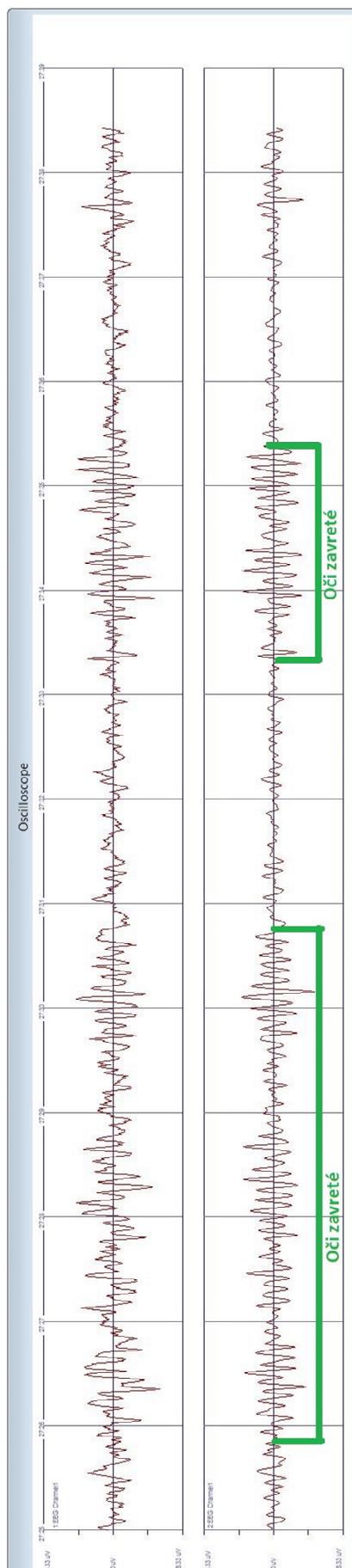
Obrázok 0-18 P/C modul RM-USB verzie 1. Spodný pohľad.

## Príloha S



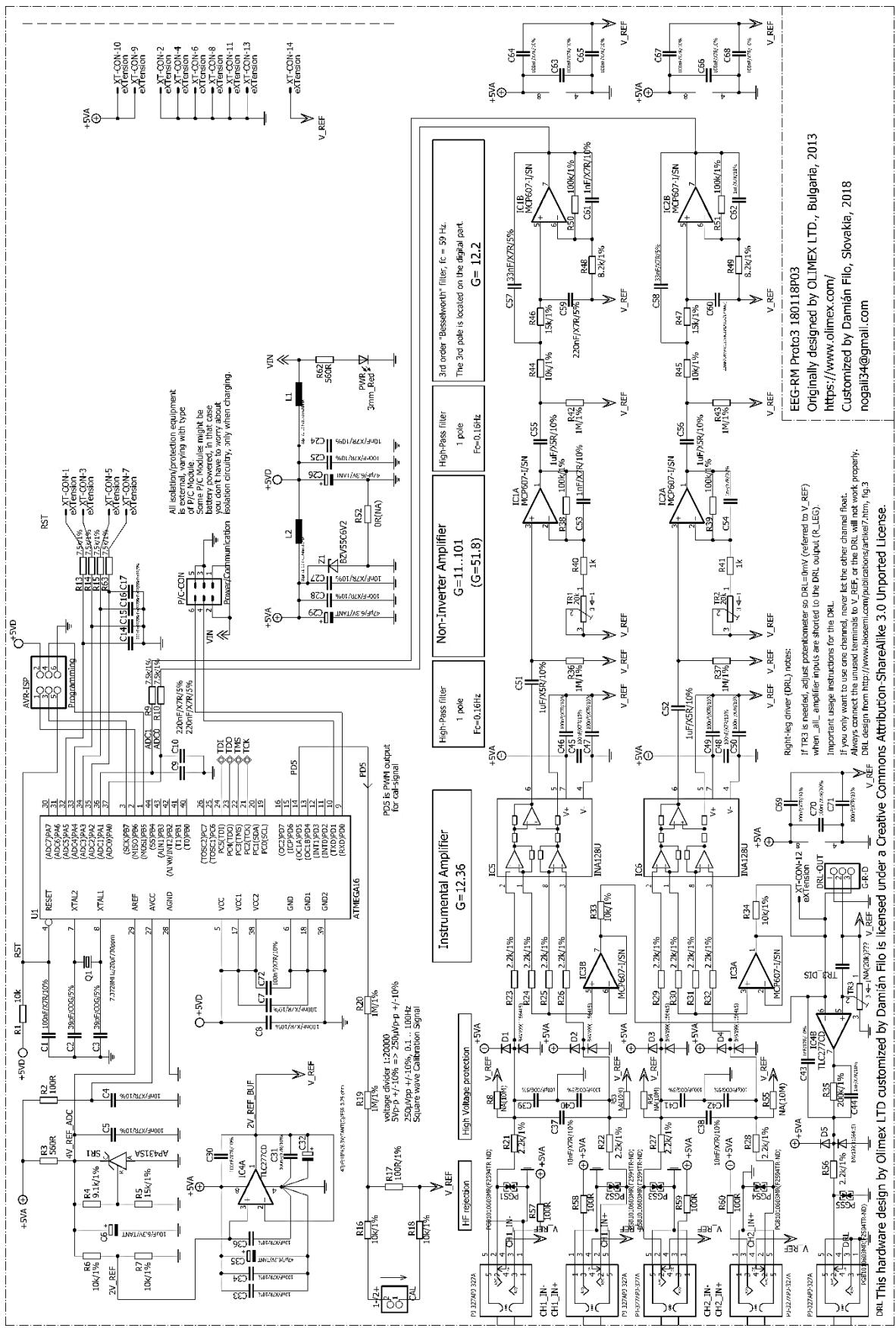
Obrázok 0-19 Kompletnej systém.

## Príloha T



Graf 0-1 Meranie tohto EEG a testovanie zatvorenia očí. Merané jedným kanádom na záhlavnom lalku. Horný graf znázorňuje nefiltrovaný EEG signál. Spodný graf je to isté ako horný, ibaže len s frekvenciami v rozsahu 4-30Hz. Všimnúť si môžete zvyšenú amplitúdu počas zatvretých očí a naopak mňžiu pri očiach otvorených.

## **Príloha U**



Obrázok 0-20 Schéma tretieho prototypu verzie 040218p03.