

Bakalářská práce



České  
vysoké  
učení technické  
v Praze

**F3**

Fakulta elektrotechnická

## Inteligentní jednotka pro měření EEG na laboratorním hlodavci

**Jiří Cabicar**

Školitel: Ing. Jan Chvojka  
Květen 2022

## I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Cabicar** Jméno: **Jiří** Osobní číslo: **491975**  
Fakulta/ústav: **Fakulta elektrotechnická**  
Zadávací katedra/ústav: **Katedra teorie obvodů**  
Studijní program: **Lékařská elektronika a bioinformatika**

## II. ÚDAJE K BAKALÁŘSKÉ PRÁCI

Název bakalářské práce:

**Inteligentní jednotka pro měření EEG na laboratorním hlodavci**

Název bakalářské práce anglicky:

**Intelligent platform for measuring EEG in laboratory rodent**

Pokyny pro vypracování:

Seznamte se s možnostmi měření EEG na laboratorních hlodavcích pomocí měřicí desky RHD2000, Intan Tech, především prostudujte způsoby komunikace desky s PC/periferiemi.

Porovnejte různé technologie značení laboratorních hlodavců (číselný přívěšek, RFID tag, QR kód...), jednu vyberte a výběr zdůvodněte.

Navrhněte koncepci měřicí jednotky způsobem, který automatizuje proces nahrávání EEG z laboratorního hlodavce a minimalizuje tak chybu lidského faktoru. Koncepci vyjádřete blokovým diagramem a popište způsob fungování.

Jednotku sestavte a otestujte. Diskutujte výhody a nevýhody výsledného řešení, navrhněte případná vylepšení s důrazem na spolehlivost či rozšíření počtu měřených veličin.

Seznam doporučené literatury:

[1] Manuál k jednotce Intan RHD2000 evaluation board, online:

[https://intantech.com/files/Intan\\_RHD2000\\_eval\\_system.pdf](https://intantech.com/files/Intan_RHD2000_eval_system.pdf)

[2] Siegle, J. H. et al.: Open Ephys: an open-source, plugin-based platform for multichannel electrophysiology, Journal of Neural Engineering, Volume 14-4, 2017

[3] Scarrow, A.: Hope over Experience: How Big Data, Automation, and AI can fix healthcare, Hippocrates Publishing, 2019

Jméno a pracoviště vedoucí(ho) bakalářské práce:

**Ing. Jan Chvojka Fyziologický ústav, 2.LF, FN Motol**

Jméno a pracoviště druhé(ho) vedoucí(ho) nebo konzultanta(ky) bakalářské práce:

Datum zadání bakalářské práce: **02.02.2022**

Termín odevzdání bakalářské práce: **20.05.2022**

Platnost zadání bakalářské práce: **30.09.2023**

Ing. Jan Chvojka  
podpis vedoucí(ho) práce

doc. Ing. Radoslav Bortel, Ph.D.  
podpis vedoucí(ho) ústavu/katedry

prof. Mgr. Petr Páta, Ph.D.  
podpis děkana(ky)

## III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

Student bere na vědomí, že je povinen vypracovat bakalářskou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací. Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je třeba uvést v bakalářské práci.

\_\_\_\_\_  
Datum převzetí zadání

\_\_\_\_\_  
Podpis studenta

## Poděkování

Děkuji vedoucímu práce Ing. Janu Chvojkovi za odborné rady a podělení se o cenné zkušenosti. Také bych chtěl poděkovat rodině a svému okolí za podporu a trpělivost.

## Prohlášení

Prohlašuji, že jsem předloženou práci vypracoval samostatně a že jsem uvedl veškerou použitou literaturu v souladu s Metodickým pokynem č. 1/2009 o etické přípravě vysokoškolských závěrečných prací.

V Praze dne .....

.....  
Jiří Cabicar

## Abstrakt

Práce se zabývá zefektivněním nahrávání elektrofyzilogických dat z laboratorního hlodavce. V teoretické části je čtenář seznámen s nahráváním elektrické aktivity mozku (EEG) a celým procesem jeho dlouhodobého (chronického) nahrávání v laboratoři. Na základě analýzy lokálního pracoviště a vybraných zahraničních pracovišť (dotazníkovou metodou) jsou navržena konkrétní vylepšení, zároveň jsou popsány dostupné technologie nutné k jejich implementaci. Praktická část se zabývá implementací navrženého řešení na konkrétním hardware, jeho otestováním a zhodnocením. Na závěr jsou navržena možná budoucí rozšíření.

**Klíčová slova:** chronické nahrávání, EEG, iEEG, automatizace, RFID

**Školitel:** Ing. Jan Chvojka

## Abstract

The Bachelor thesis deals with more efficient recording of electrophysiological data from a laboratory rodent. In theoretical part, reader is acquainted with the recording of electrical activity of the brain (EEG) and the whole process of its long-term (chronic) recording in the laboratory. Based on the analysis of the local workplace and selected foreign workplace (by the questionnaire method), specific improvements are proposed, at the same time the available technologies necessary for their implementation are described. The practical part deals with the implementation of the proposed solution on specific hardware, its testing and evaluation. Finally, possible future extensions are suggested.

**Keywords:** chronic recording, EEG, iEEG, automatization, RFID

**Title translation:** Intelligent unit for measuring EEG on laboratory rodent



## Obrázky

2.1 Biologický neuron [12] . . . . .	5
2.2 Příklad EEG nahrávky během epileptického záchvatu [13] . . . . .	6
2.3 Schéma zapojení . . . . .	7
2.4 Označení portů [1] . . . . .	9
3.1 Správně připnutý ušní štítek [8].	14
3.2 Mikročipy [8] . . . . .	15
3.3 RFID čtečka a RFID štítky . . . .	16
3.4 Zjednodušené schéma přenosu dat v pasivních mikročipech . . . . .	16
5.1 Funkční diagram platformy . . . .	23
5.2 Implementační diagram . . . . .	24
5.3 Blokové schéma programu ve Funduinu . . . . .	25
5.4 Blokové schéma hlavního skriptu v Matlabu . . . . .	27
6.1 Elektrody ovlivněné čtením kódu pomocí RFID . . . . .	30
6.2 Porovnání s naměřeným EEG . .	31
6.3 Výkonové spektrum . . . . .	32

## Tabulky

5.1 Příklad tabulky v databázi . . . .	26
6.1 Tabulka pro testovací měření . . .	29



# Kapitola 1

## Úvod

Každá mozková buňka se dá představit jako elektrická baterie. Součinnost těchto buněk lze definovat jako elektrickou aktivitu mozku. Tato aktivita nese informace o jeho stavu. Lze ji snímat pomocí citlivých elektrod na povrchu hlavy, lebky či přímo z povrchu nebo hloubi mozku. Tato metoda se nazývá Elektroencefalografie. Tato práce se zaměřuje na zefektivnění postupu nahrávání EEG na laboratorních hlodavcích.

Teoretická část rozebírá, jak vzniká tato elektrická mozková aktivita a co je to epilepsie, která se pomocí těchto dat zkoumá. Cílem výzkumu je zjistit, co tyto záchvaty spouští a jak jim předcházet. Dále je popsán proces chronického nahrávání EEG a porovnáno značení a evidence laboratorních hlodavců. Jsou formulovány požadavky na měřící platformu, které vyšly z dosavadní práce na ústavu fyziologie 2. lékařské fakulty Univerzity Karlovy. Je popsána měřící deska plošných spojů RHD USB Interface Board, která se použila jako součást platformy a její možnosti komunikace s počítačem.

V praktické části je platforma navržena a sestrojena podle dostupných možností. Platforma je poté otestována a zhodnocena. Je popsán jak výběr technologií, tak i problémy, nevýhody, poznatky při navrhování a možné zdokonalení a rozšíření celé platformy.





# Část I

## Teoretická část

## Kapitola 2

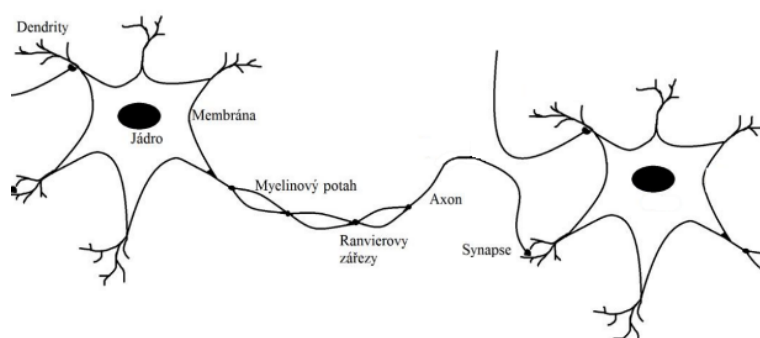
### Dlouhodobé nahrávání EEG na laboratorním hlodavci

Pro lepší pochopení, čeho se tato práce snaží dosáhnout a proč byla platforma sestrojena tak jak je, je vhodnější uvést základní fakta z oblasti nahrávání EEG, se kterými bude platforma pracovat.

#### 2.1 Elektrická aktivita mozku

##### 2.1.1 Vznik akčního potenciálu, neuron [12]

Na obrázku 2.1 je jednoduché schéma propojení dvou neuronů. Neuron je nervová buňka. Části neuronu jsou dendrity, tělo, jádro a axon. Axon se skládá ze segmentů, mezi kterými jsou vloženy Ranvierovy zářezy. Na místě, kde z těla vyrůstá axon, se nachází iniciální segment. Axony bývají obalené izolantem, který nazýváme myelin. Ranvierovy zářezy regenerují akční potenciál mezi segmenty. Synapse neboli místo spojení neuronů, je na konci axonu. [12]



Obrázek 2.1: Biologický neuron [12]

Neuron reaguje změnou membránového potenciálu, pokud membránový potenciál překročí prahovou hodnotu. Potom membrána generuje akční potenciál. Tato reakce je řízená buď napětově nebo chemicky. Synapse si „předají“ elektrický signál tak, že je vypuštěna specifická chemická látka (neurotransmitter). Látka aktivuje příslušný chemicky řízený kanál a tím dojde k toku iontů kanálem. Tento tok iontů sledujeme pomocí EEG.

### ■ 2.1.2 EEG [12]

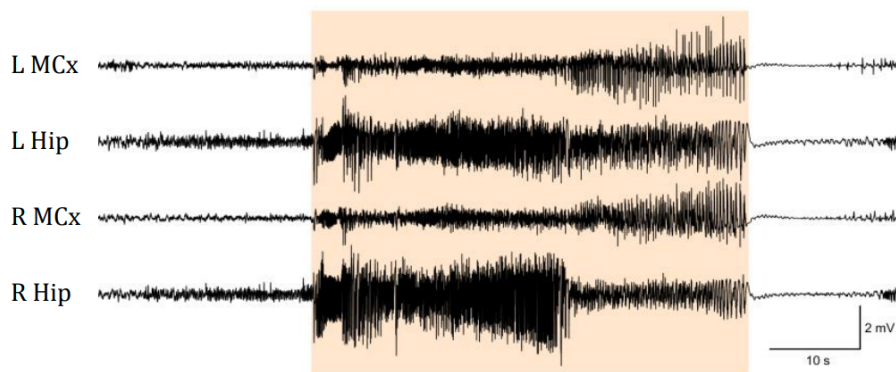
Elektroencefalografie je metoda pro zaznamenání časového průběhu elektrického potenciálu způsobeného aktivitou mozku. Snímá se pomocí elektrod z povrchu lebky (skalповé EEG) nebo z povrchu/hloubi mozku (intrakraniální EEG). Měří se buď vůči referenční elektrodě nebo rozdílově v bipolárním zapojení. Amplituda skalповého EEG se pohybuje v řádu desítek mikrovoltů a amplituda intrakraniálního EEG v řádu set mikrovoltů až jednotek milivoltů. EEG signál je projevem aktivity velkého počtu neuronů, respektive projevem toku iontů skrz membrány postsynaptických neuronů.

### ■ 2.1.3 Epilepsie [13]

Epilepsie je druhá nejčastější neurologická porucha, která postihuje mezi 0.5 až 1 % populace po celém světě. Podle organizací International League Against Epilepsy a International Bureau for Epilepsy je epileptický záchvat definován takto (volně přeloženo):

*„Epileptický záchvat je přechodný výskyt příznaků a/nebo příznaků v důsledku abnormální nadměrné nebo synchronní neuronální aktivity v mozku. Epilepsie je porucha mozku charakterizovaná trvalou predispozicí ke vzniku epileptických záchvatů a neurobiologickými, kognitivními, psychologickými a sociálními důsledky tohoto stavu.“ [13]*

Symptomy epileptického záchvatu mohou být různorodé a zahrnují i změněné smyslové funkce, motorické funkce, vědomí, emoční stav, neschopnost mluvit nebo rozumět řeči, amnézie, dějů a další. Důležitá část definice záchvatu je abnormální nadměrná synchronní neuronální aktivita. Ta je nejlépe detekována pomocí EEG. Typický záznam záchvatu je vidět na obr. 2.2.



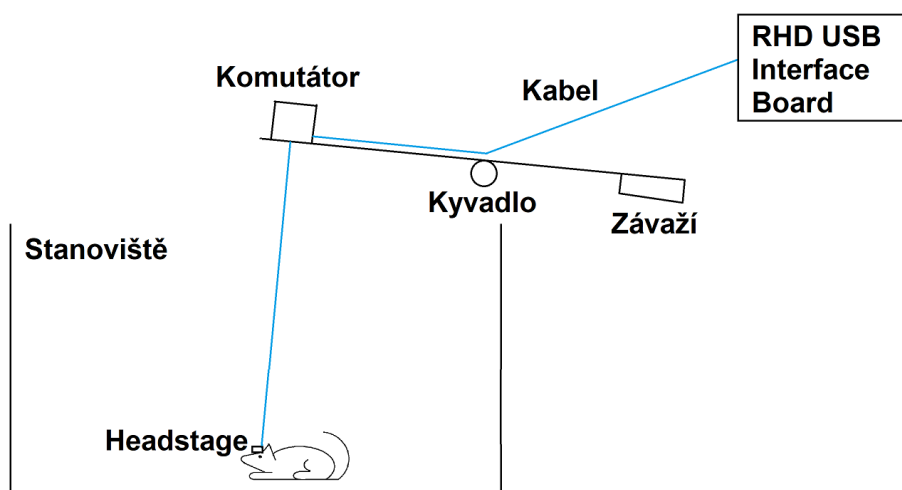
**Obrázek 2.2:** Příklad EEG nahrávky během epileptického záchvatu [13]

Epileptické záchvaty přicházejí nečekaně. Momentálně neexistuje spolehlivý způsob, kterým se dají předpovídat. K jejich studiu je tedy potřeba nahrát hodně průběhů záchvatu. Proto se pacienti trpící epilepsií, či hlodavci, dlouhodobě nahrávají přes několik dní až měsíců. Záchvaty se také mohou shlukovat. Definici těchto shluků můžeme rozdělit na dva typy. První definuje shluky jako specifický počet záchvatů za daný časový interval, zatímco druhý typ je definuje statisticky. Výhodou první definice je její jednoduchost, což jí dělá vhodnou pro klinickou praxi.

V EEG nejsou důležité jen záchvaty, ale i mezi-záchvatová (inter-iktální) aktivita, což jsou inter-iktální výboje (IED) na kterých se mohou objevit vysokofrekvenční oscilace. Ty mohou být pomalé (cca do 250 Hz) nebo rychlé (až 600 Hz).

## 2.2 Uspořádání měřicího stanoviště

Tato práce vznikla ve spolupráci s Ústavem fyziologie 2. lékařské fakulty Univerzity Karlovy, kde je mechanická část nahrávání EEG vyřešená podle jednoduchého schématu na Obr. 2.3.



Obrázek 2.3: Schéma zapojení

Klíčovou součástí tvoří kyvadlo, které udržuje mechanické části měřidla EEG vedoucí z „headstage“, což je zesilovač s elektrodami připojené na hlavu hlodavce. Hmotnost závaží je zvolena tak, aby hlodavec neměl problém s pohybem po stanovišti, ale aby kabel zůstal pořád napnutý. Kabel z headstage vede do komutátoru, který předchází problému s přetáčením kabelu, když se hlodavec bude pohybovat v kruzích. Kabel nakonec vede do RHD USB Interface Board, který je zapojen do PC.

Účelem této práce je zefektivnit nahrávání EEG. Co se týče mechanické části, současný stav je optimální pro lokální podmínky, tedy nemusíme nic upravovat. Avšak současné řešení elektronické části takto optimální není. Vyžaduje:

- manuální nastavení jednotlivých kanálů a elektrod,
- manuální identifikaci hlodavce a přiřazení hlodavce k jeho datům,
- ukládání dalších souborů s daty, které nejsou potřeba k analýze.

Nevýhodou je i vysoké riziko ztráty dat nebo nahrání špatných dat. Dosaďovaný systém nemá žádnou detekci selhání a následnou automatickou reakci

na selhání. V důsledku může dojít ke ztrátě cenných dat.

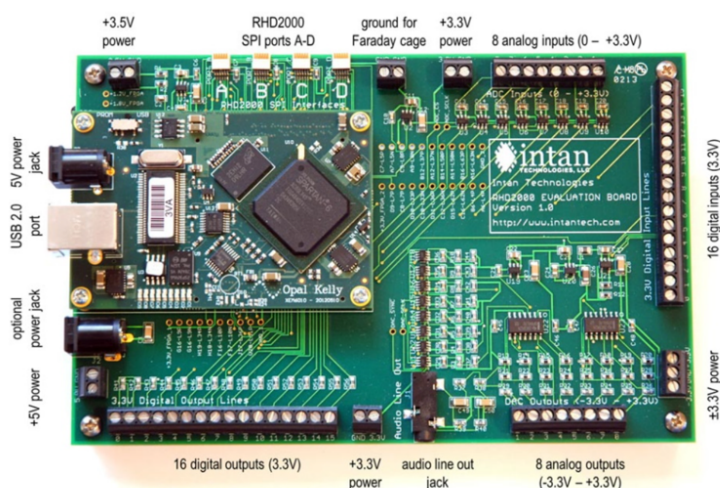
### ■ 2.2.1 Nejdůležitější požadavky na platformu

- automaticky přiřadit hlodavce k jeho datům
- získání dat s minimálním úsilím
- eliminace chyb lidského charakteru
- zefektivnit proces nahrávání, neboli redukovat místa, kde může dojít k selhání
- rozšiřitelnost o další funkce

## ■ 2.3 RHD USB Interface Board

Jako hlavní součást inteligentní platformy bude využit RHD USB Interface Board od společnosti Intan Technologies. Budeme ho využívat k nahrávání elektrofyziologických signálů a k identifikaci hlodavce. IntanBoard umožňuje nahrávat elektrofyziologický signál až ze 128 kanálů za použití headstage. IntanBoard můžeme připojit k počítači přes USB 2.0 kabel. [1, 2]

- 5 V zdroj
- Podporuje všechny RHD "headstage" od společnosti Intan Technologies při vzorkovací frekvenci 1 kHz až 30 kHz,
- 8 analogových vstupů s rozsahem 0 až +3,3 V (není dovolené záporné napětí),
- 8 analogových výstupů s rozsahem -3,3 V až +3,3 V, které mohou rekonstruovat vybrané zesilovací kanály,
- 16 digitálních vstupů s logickou úrovní v 0 V a druhou v 2,5 V, 3,3 V, nebo 5 V,
- 16 digitálních výstupů 3,3 V,
- Analogové i digitální vstupy jsou nahrávány synchronně s průběhem zesilovače.



Obrázek 2.4: Označení portů [1]

## 2.4 Software pro chronické EEG měření

### 2.4.1 Toolbox RHD2000

Intanboard lze ovládat pomocí programovacího prostředí Matlab. K tomu je potřeba stáhnout a nainstalovat RHD2000 Matlab Toolbox. [5]

- Obsahuje knihovnu funkcí, které dokáží navázat spojení s Intanboardem.
- Má možnost pomocí příkazů či skriptu přes Matlab získávat informace o Intanboardu.
- Má možnost ovládat digitální/analogové výstupy.
- Matlab Toolbox využívá Windows Dynamic Link Library (DLL).

### 2.4.2 RHX Data Acquisition Software

RHX Data Acquisition Software (dále jen RHX) je software, který nahrává elektrofyziologické signály z IntanBoardu, RHD recording controller nebo RHS stim/recording controller. RHX je aplikace napsaná v jazyce C++. [3, 4]

- Lze ovládat přes intuitivní grafické uživatelské rozhraní nebo přes Transmission Control Protocol (dále jen TCP) příkazy.

- Je na výběr vzorkovací frekvence až 30 kHz/kanál.
- Open-source.
- Automatické detekování špiček podle mezí v „RMS“ na každém kanále.
- Vícesloupcový displej.
- Kompletní TCP příkazové rozhraní nám umožňuje ovládání všech funkcí skrz jiný software (např. Matlab nebo Python). Díky tomu je možné také nahrávání automatizovat. Dále můžeme vybraný průběh vysílat do jiných aplikací.
- Nemá automatickou detekci selhání a obnovení nahrávání.



### ■ 2.4.3 Open Ephys GUI

Open Ephys GUI je open-source aplikace s podporou plug-inů pro získávání extracelulárních elektrofyziologických dat. GUI bylo navrženo neurovědci, aby jejich nahrávání/získávání dat bylo více flexibilní a efektivní. Má všechny vlastnosti, které jsou potřeba pro získání a vizualizaci dat. GUI umožňuje uživateli nastavit procesní cesty pomocí jednotlivých modulů. Bylo inspirováno softwarem pro audio processing a bylo postaveno na JUCE audio processing library. To poskytuje velice malou latenci, která je vyžadována i ve zvukovém zpracovávání. [6, 17]

- Pracuje automaticky s Open Ephys acquisition board, Sondami od firmy Neuropixels a Intan recording systems.
- Počet kanálů je omezený pouze výkonem počítače.
- Možnost sestavení vlastního signálního řetězce nebo načtení standardní konfigurace.
- Možnost nahrání EEG a uložení záznamu.
- Flexibilní LFP displej.
- Navrženo pro rozšíření o pluginy.
- Nemá automatickou detekci selhání a obnovení nahrávání.

## Kapitola 3

### Značení a evidence laboratorních zvířat

Abychom se vyznali v záznamech, musí být hlodavec označený a označení přiřazeno k záznamu. Poté se zanesou informace o monitorování daného hlodavce do evidence. [8]

#### 3.1 Značení

##### 3.1.1 Neinvazivní dočasné značení

##### Holení nebo stříhání srsti

Stříhání srsti je jedna z nejjednodušších metod pro identifikaci laboratorních hlodavců. Nějaká oblast na těle, nejčastěji na zádech (pro viditelnost bez manipulace s hlodavcem), je vyholena nebo ostříhána. Největší výhodou je jednoduchost aplikace a identifikovatelnost, společně s nízkou cenou.

Na druhou stranu, tato metoda má limit na počet hlodavců, které takto jde označit. Jediné nezbytné vybavení jsou nůžky nebo holící strojek. Spolehlivost identifikace závisí na rychlosti růstu srsti a na délce odstraněných chlupů. Tato metoda se dá použít až tehdy, kdy hlodavec získává plnou srst. Tato metoda vydrží obvykle 1-4 týdny. Stres u hlodavce vznikne s omezením pohybu při stříhání. Pokud se značení udělá správně, hlodavec nebude trpět žádnou bolestí ani omezením pohybu.

## ■ Speciální pera a popisovače na kůži nebo na srst a spreje na srst

Je možné značit hlodavce napsáním značek nebo čísel na části těla bez srsti, např. uši, ocas nebo také na kůži (břicho, končetiny, podpaží). Tato metoda je použitelná na hlodavce každého věku. Značky vydrží 1 až 2 dny.

Běžné barvy na barvení srsti jsou barvy na lidské vlasy nebo značkovací spreje míněné pro zvířata na farmě. Barvení srsti se nehodí pro velký počet zvířat. Značky jsou vidět z velké dálky i bez zacházení se zvířetem. Sprej na srst se dá použít, až hlodavci plně naroste srst. Značení obvykle zmizí za 1-2 týdny. Značení perem i sprejem je bezbolestné, ale vyžadují omezení pohybu hlodavce pro aplikování a obnovování.

## ■ 3.1.2 Invazivní dočasné značení [8]

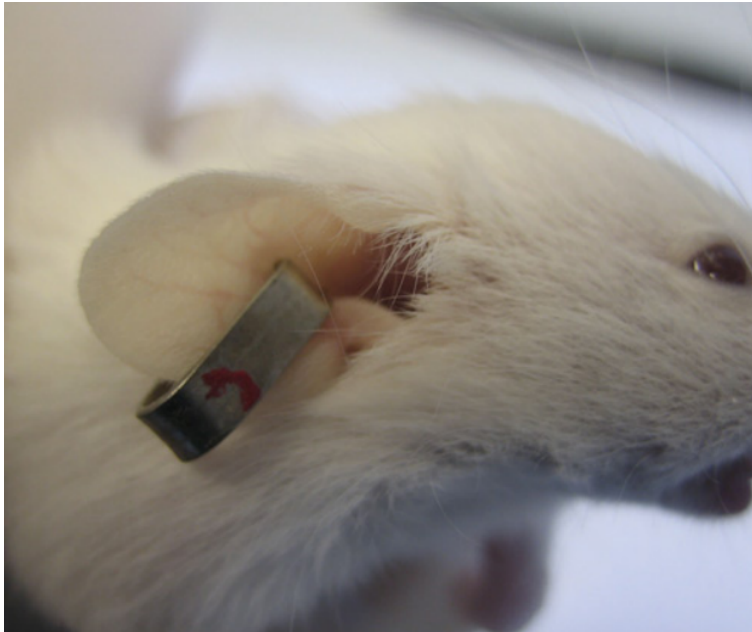
### ■ Podkožní injekce inkoustu

Podkožní injekce inkoustu se liší od tetování, protože se inkoust vpíchne pod kůži místo do kožních vrstev. Takto vpíchnutý inkoust po chvíli vybledne až zmizí úplně (za několik hodin nebo i za několik dní). Tato metoda umožňuje omezené číslovací možnosti, ale jejich množství se dá zvýšit pomocí jiných barev.

Tato procedura má dvě bolestivé části. Injekce skrz kůži a rozšíření části těla jako důsledek přidaného objemu inkoustu. Nejčastější místo vpichu je spodní plocha chodidel nebo ocas. Tato metoda vyžaduje pohybové omezení a trénovaný personál. U identifikace je nutné zacházení s hlodavcem. Metoda se dá použít u hlodavců každého věku.

### ■ Ušní štítek

Ušní štítky jsou dostupné železné nebo plastové, viz obr. 3.1. Nejčastěji se aplikují na ucho speciálními kleštěmi. Štítky jsou dostupné v různých velikostech, na různé druhy zvířat. Čísla na štítkách jsou předem napsaná a tím umožňují identifikaci pro velký počet zvířat.



**Obrázek 3.1:** Správně připnutý ušní štítek [8]

Uši hlodavců by se měla pravidelně kontrolovat pro případ, kdyby tkáň okolo štítku byla poničena. Pro aplikování a identifikování je potřeba pohybové omezení.

Tato metoda je levná, rychlá a jednoduchá na aplikaci. Je tu však riziko, že hlodavec štítek ztratí. Před aplikováním je potřeba počkat, než hlodavec bude mít dostatečně velké ucho. V experimentech, které využívají magnetickou rezonanci, se musí kovový štítek sundat, aby neinterferoval s magnetickým polem.

### ■ 3.1.3 Invazivní permanentní značení bez poskytnutí tkáně pro analýzu DNA [8]

#### ■ Tetování

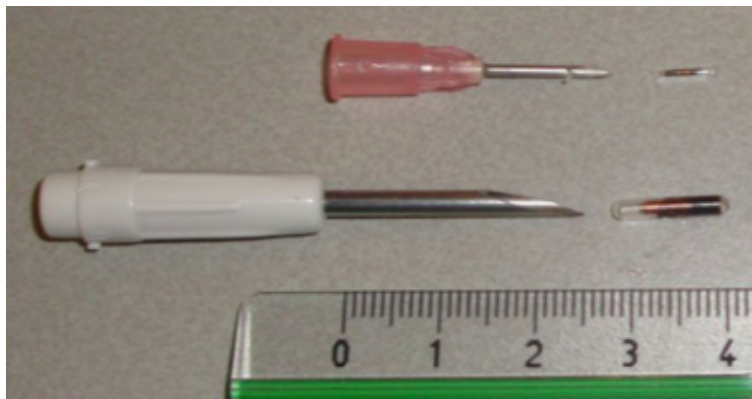
Pro tetování se dá použít několik částí těla hlodavců - uši, ocas, chodidla nebo prsty na nohách. Procedura zahrnuje penetraci kůže speciálním vybavením, aby se inkoust dostal do kůže. Citlivost kůže se mění podle místa vpichu.

Inkoust se musí uvolnit do škály, pod pokožku (vrchní vrstva kůže), aby se vytvořila permanentní značka. Tím je kůže poškozena a chemické složení inkoustu se rozšíří přes oběh do celého těla. Procedura zahrnuje dvě rizika spojené s toxicitou a s experimentem. Hlodavec by mohl být alergický na

daný typ inkoustu. Jehly na tetování by měly být vždy sterilní, ostré a měly by se vyměňovat pravidelně. Neměl by se používat inkoust, který je toxický nebo by mohl měnit výsledky experimentu. Tetování je permanentní metoda, ale inkoust může vyblednout a stát se nečitelným.

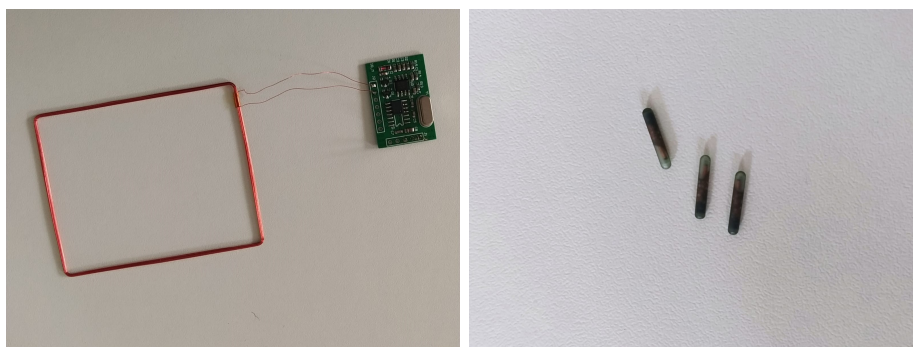
### ■ RFID mikročip

Elektronické radiofrekvenční mikročipy jsou efektivní způsob identifikování zvířat. Mikročip je napájen přes indukční smyčku, která je použita i pro komunikaci. Mikročip se vloží pod kůži hlodavce. Pro identifikování je potřeba systém, který dokáže přečíst tyto mikročipy. Mikročip se dá implantovat například do krku přes speciální stříkačku. Mikročipový systém je permanentní identifikační metoda a umožňuje identifikaci neomezeného množství zvířat.



**Obrázek 3.2:** Mikročipy [8]

Mikročip potřebuje i čtečku, která přečte kód. Většina čteček se dá zapojit do počítače. To umožňuje sbírat různá data ze specifického zvířete a přesměrovat je přímo do databáze. I přesto, že aplikace mikročipů je ze začátku časově srovnatelná s aplikací ušního štítku, mikročip má výhodu v minimalizaci identifikačních chyb. Riziko přemístění, či rozbití, je malé. Vhodný čas na aplikaci mikročipu závisí na velikosti a váze zvířete. Pro identifikaci je potřeba hlodavce přiblížit ke čtečce. [15]

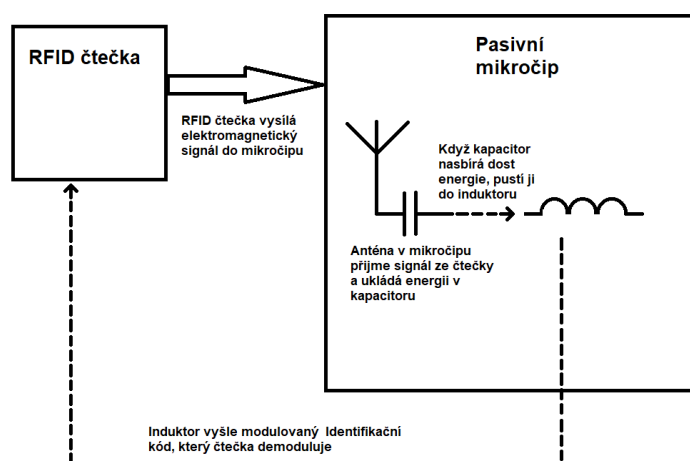


**Obrázek 3.3:** RFID čtečka a RFID štítky

RFID mikročipy obsahují transpondéry, které vysílají zprávy čitelné specifickým RFID čtečkám. Většina mikročipů obsahuje nějaký typ identifikačního čísla. RFID mikročipy spadají pod dvě hlavní kategorie, v závislosti na jejich zdroji napájení. [9, 7]

Aktivní mikročipy obsahují jejich vlastní zdroj napájení. Vysílají velice silný signál a čtečky je dokážou zachytit z velké vzdálenosti. Kvůli vlastnímu zdroji napájení jsou mikročipy větší a dražší, takže se hodí spíše pro velké subjekty, které chceme sledovat na velké vzdálenosti. Mikročipy mohou být latentní, dokud nebude v dosahu čtečka, nebo mohou vysílat neustále.

Pasivní mikročipy jsou napájeny elektromagnetickou energií vysílanou ze čtečky. Čtečka pro pasivní mikročipy může vysílat neustále nebo vysílat na požadavek. Když mikročip přijde do dosahu čtečky, zachytí elektromagnetický signál. Mikročip si uloží energii ze signálu do kapacitoru. Když se kapacitor plně nabije, může napájet obvody v mikročipu a ten začne vysílat svůj signál s kódem do čtečky.



**Obrázek 3.4:** Zjednodušené schéma přenosu dat v pasivních mikročipech

### ■ 3.1.4 Invazivní permanentní značení s poskytnutím tkáně pro analýzu DNA [8]

#### ■ Vroubkování uší

Vroubkování uší je identifikační metoda, která je považována za jednoduchou, a trauma pro zvíře je minimální při správně provedené proceduře. Pro vroubkování je potřeba speciální nástroj. Výběr nástroje je důležitý pro dobro hlodavce, protože existují nástroje (zejména ty levnější), které místo aby řezaly, tak spíše trhají. Místo řezu, či otvor, musí být dáno přesně podle tabulky/systému, aby se zajistila správná identifikace. Odebraná tkáň se dá použít pro určení DNA. Značení se dá přečíst z dálky. Železné kleštičky umožňují značkování hlodavců pomocí vykrojení jednoho či více otvorů na okraj nebo doprostřed ucha. [8]

Takovýto způsob dovoluje identifikaci až několika stovek různých zvířat. Obecně se tato metoda považuje za permanentní, ale byly i případy, že ucho se vyléčilo v závislosti na velikosti otvoru. Vroubkování uší je bolestivá operace a vyžaduje omezení pohybu.

#### ■ Odstranění konečků prstů

Při této metodě je odstraněn celý koneček prstu pomocí velice ostrých nůžek u 7 dní starých mláďat. Řez je umístěn tak, aby se odstranila celá oblast pod drápkem. Poté se dospělí hlodavci identifikují pomocí chybějících drápků nebo chybějícího prstu. Tato metoda se nedoporučuje, protože se u hlodavců projevují dlouhodobé účinky, např. zhoršená síla úchopu při odvyknutí.

## ■ 3.2 Evidence

Po identifikaci hlodavce je na řadě jeho vyhledání v evidenci. Evidence by měla obsahovat informace, důležité jak pro měření, tak i pro následnou analýzu. Pro měření EEG by evidence měla obsahovat názvy skupin elektrod, které jsou na hlodavce připojeny. Také by měla obsahovat vzorkovací frekvenci, se kterou se bude signál digitalizovat. Pro analýzu může být důležité, jak je hlodavec starý, jakého je pohlaví či jaké skupině patří. Informace jsou dostupné během celého experimentu. [14]

### ■ 3.2.1 Papírová [16]

Nejjednodušší systém evidence je papírový. Není k tomu potřeba ani počítač ani elektřina. Papírová evidence však s odstupem času skýtá více a více nevýhod. Například, při změně nějaké informace nejde tu předchozí jen tak nahradit. Písmo může vyblednout, papír se může potřhat, písmo může být nečitelné. Do evidence se bude zanášet čím dál tím více informací o hlodavcích a stane se nepřehlednou. Papírová evidence je výhodná pouze pro krátký čas a jen na pár experimentů.

### ■ 3.2.2 Elektronická [16]

Elektronická evidence je většinou implementovaná databází s uživatelským rozhraním. Uživatelské rozhraní umožňuje jednoduché zadávání informací a může zajišťovat validitu uživatelského vstupu. Co se týče vyhledávání v databázi či jeho filtrování, elektronická databáze má většinou automatický nastavitelný systém, což je velkou výhodou oproti papírové evidenci. Pod elektronickou evidencí si můžeme představit hned dva typy databází. Relační, která je založena na relacích mezi prvky v tabulce, a objektová, ve které je informace reprezentována ve formě objektu.

Výhoda objektové databáze je její flexibilita. Není vázána na pevné schéma vlastností tabulek. Za výhodu relační databáze můžeme považovat její konzistenci a integritu dat. To se hodí pro případy, kdy všechna data očekáváme ve stejném formátu. Pro náš případ je toto rozhodující vlastnost, protože pro platformu je lepší, když se formát dat nemění.







## Část II

### Praktická část

## Kapitola 4

### Rešerše zahraničních pracovišť

#### 4.1 Otázky

Při rešerši podle článků jsme rozeslali zprávy do různých laboratoří, abychom zjistili, jak jsou dané problémy řešeny jinde. Ptali jsme se na otázky:

- Jaký typ identifikace laboratorních zvířat používáte?
- Je váš systém nahrávání EEG:
  - schopen automatického zotavení po výpadku nebo jiných problémech?
  - schopen automatického přiřazení hlodavce k jeho nahraným datům po identifikaci?
  - integrován s databází, obsahující experimentální subjekty v elektronické formě, nebo jsou subjekty manuálně sledovány člověkem, který se stará o EEG monitoring spolu s jejich živobytím?
- Přišly vám předchozí nápady užitečné?
- Zajímalo by vás nahrávání EEG s těmito vlastnostmi?

#### 4.2 Odpovědi na dotazník

Ve zprávě z Pensylvánské univerzity, oddělení anesteziologie a intenzivní péče, Andrew R. McKinstry-Wu napsal, že používají na identifikaci kovové ušní štítky. K otázce, je-li jejich systém schopen automatického zotavení, připsal,

že bohužel nemají žádnou detekci selhání a automatické zotavení. Vedlo to už ke ztrátě dat v minulosti. Dlouhodobé nahrávky mohou být nestabilní, protože používají Open-Ephys software, který nepřestane nahrávat do té doby, než dostane příkaz. Problém řeší pomocí automatického restartu nahrávání každých 15 minut. Automatické přiřazení i integraci s databází provádějí manuálně. Na poslední dvě otázky Andrew R. McKinstry-Wu zareagoval tak, že automatické zotavení po výpadku by byla velice užitečná vlastnost kvůli nestabilitě nahrávek při dlouhodobém nahrávání. Ostatní by bylo dobré mít, ale není nijak náročné identifikovat subjekt na začátku nahrávání.

Ve zprávě z Finské univerzity, institut A.I. Virtanen, se Heikki Tanila vyjádřil, že používají vroubkování uší k identifikaci. Dokážou získat data po výpadku a nepotřebují automatické přiřazení hlodavce k jeho datům. Co se týče integrace s databází, odpověděl, že sdílení dat mezi laboratořemi je problém, který se u nich hodně řeší. Nemyslí si, že vlastnosti automatizace jsou užitečné v jejich případě.

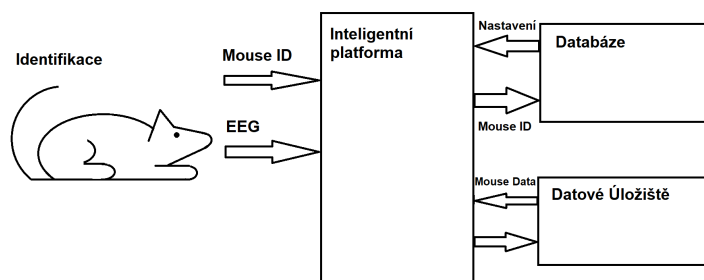
Ve zprávě ze severního Texasu, oddělení biomedicínského inženýrství, Lin Li, Ph.D. odpověděl, že nepoužívají žádný typ značení. Každé zvíře má svoji klec a svůj kabel. Data jsou nahrávána průběžně na disk. Předtím, než začnou nahrávat, zadají identifikační číslo a data se s ním automaticky uloží. Data se ukládají do laboratorního počítače, odkud je berou technici, prohlédnou je a filtrují. Z jeho úhlu pohledu identifikace, automatické zotavení a automatické přiřazení hlodavce k jeho datům není prioritní. Integrovaní s databází mu však přijde užitečné.

Z odpovědí můžeme usoudit, že schopnosti automatizace nejsou sice až tak žádané, ale k zefektivnění postupu by to pomohlo. Platforma by se tedy bez problémů mohla uplatnit a ve většině případů by pomohla.

# Kapitola 5

## Návrh

### 5.1 Popis funkce



**Obrázek 5.1:** Funkční diagram platformy

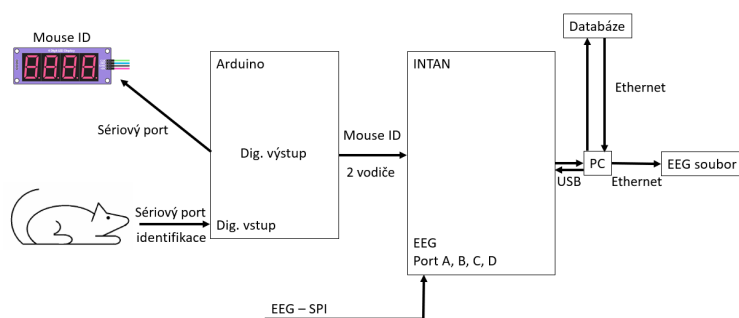
Cílem je eliminovat chybu lidského faktoru při nahrávání EEG a celý postup zefektivnit a zpříjemnit pro uživatele.

Inteligentní platforma hlídá, až jí přijde na vstup indentifikační kód hlodavce (Mouse ID). Když na vstupu zaznamená kód hlodavce, vyšle požadavek do databáze, jestli je daný kód přítomen. Pokud ano, databáze pošle informace o správném nastavení (vzorkovací frekvence, nahrávané kanály, frekvenční filtr) pro nahrávání elektrické aktivity do platformy. Databáze obsahuje ke každému hlodavci jeho kód a názvy skupin elektrod, které jsou na hlodavce připojeny. Pomocí těchto informací IntanBoard nahraje správnou myš a správné elektrody, které uživatel chce.

Platforma, po obdržení informace se správným nastavením, začne nahrávat elektrickou aktivitu mozku hlodavce a ukládat data do datového úložiště. Pro ukončení nahrávání se naskýtá možnost opětovného přiložení daného

kódu. Díky tomu bude lepší přehled o tom, jakému hlodavci ukončujeme nahrávání.

Základní implementační diagram lze vidět na Obr 5.2 níže. Jednotlivé prvky systému jsou probrány v dalších sekcích. Součástky jsou vybrány s ohledem na cenu a dostupnost.

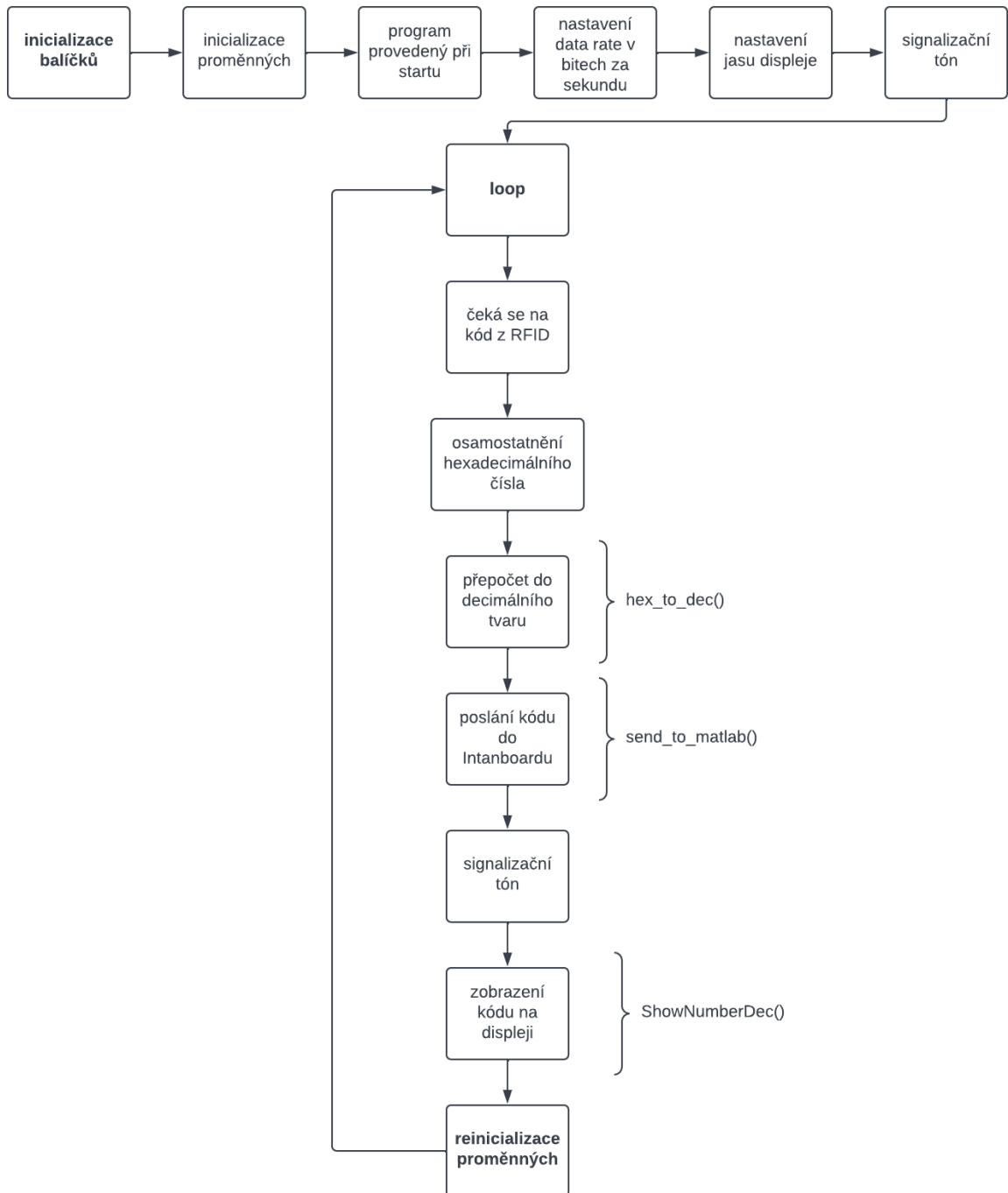


Obrázek 5.2: Implementační diagram

## 5.2 Komunikace s periferiemi

### 5.2.1 Funduino UNO R3

Jedna z klíčových částí platformy je identifikace hlodavce. K identifikaci hlodavce jsme vybrali způsob elektronického radiofrekvenčního mikročipu (RFID). Největší výhodou je reprezentace hlodavce jedinečným kódem. V našem provedení jsme na napájení a obdržení kódu ze čtečky pomocí sériového přenášení bytů použili Funduino UNO R3 (klon Arduina UNO R3). Program, podle kterého se Funduino řídí, je naprogramován v prostředí Arduino IDE 1.8. Funduino zároveň posílá kód obdrženy z RFID čtečky dál do IntanBoardu.



**Obrázek 5.3:** Blokové schéma programu ve Funduinu

Funkce `hex_to_dec` přepočítá hexadecimální číslo obdržené z RFID do decimálního tvaru. Jelikož hlodavců obvykle není potřeba více jak pár desítek tisíc, stačí pouze poslední čtyři cifry. Zjednoduší to posílání kódu

do IntanBoardu. O to se stará funkce `send_to_matlab`, která definuje dva signály, kdy jeden tzv. "clock" signál určuje, kdy má IntanBoard zaregistrovat hodnotu na druhém signálu, přes který se posílá daný kód v binárním systému. Funkce `ShowNumberDec` je předdefinovaná funkce od knihovny TM1637 od autora Avishay Orpaz.

## ■ 5.2.2 RHD USB Interface Board [1, 2, 5]

RHD USB Interface Board je nejdůležitější část celého systému. K jeho ovládání jsme vybrali programovací prostředí Matlab, do kterého jsme nainstalovali Matlab Toolbox vydaný společností The Intan Technologies. Program, který ovládá veškeré dění na RHD USB Interface Boardu, také řídí komunikaci s databází. Poté, co se Matlab plně připojí na IntanBoard a zahlásí, že je připraven, začne nahrávat tzv. databloky. V jednom databloku jsou veškeré veličiny, které popisují dění na IntanBoardu během 60 vzorků, tzn. například při vzorkovací frekvenci 5000 Hz se za sekundu nahraje přibližně 83 databloků. Program v Matlabu tedy plní 4 funkce. Přečte kód vyslaný z Funduina, komunikuje s databází, nahraje data z IntanBoardu a uloží nahraná data do složky v příslušném formátu.

V našem provedení je databáze vedena v jednoduchém formátu v aplikaci Microsoft Excel. Důvodem je rychlé otestování funkčnosti platformy a také jednodušší přístup k datům z Matlabu. Formát je veden podle tabulky 5.1. ID je identifikační kód hlodavce, Serial Peripheral Interface (SPI) je označení jednoho ze čtyř sériových portů IntanBoardu, elektrody jsou čísla elektrod připojených na daného hlodavce,  $F_s$  je vzorkovací frekvence a period je délka měření jednotlivých souborů.

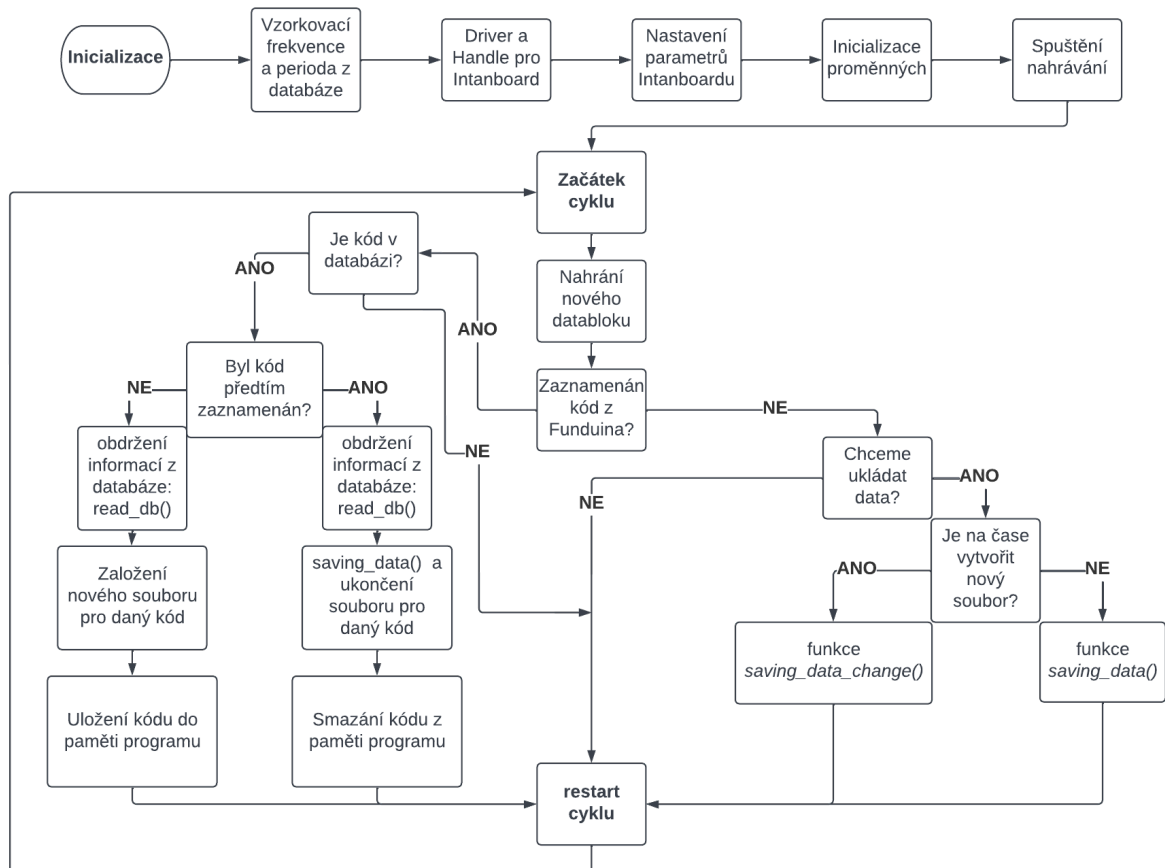
ID	SPI	elektrody	$F_s$ [Hz]	period
46	A	2, 14, 15, 17	5000	30
2060	B	2, 25	5000	30
2049	C	3, 11	5000	30
2053	D	2, 14, 15, 17	5000	30

**Tabulka 5.1:** Příklad tabulky v databázi



Pro následně lepší zacházení s dlouhodobými daty je v programu zavedeno ukládání dat po daném počtu minut. V tabulce je tedy napsáno, že chceme ukládat po půlhodinových (30minutových) souborech. Všechny informace obsažené v tabulce jsou nastavení, která potřebujeme pro úspěšné nahrávání. EEG se digitalizuje pomocí analogově digitálního převodníku, jehož důležitý parametr je vzorkovací frekvence. Vzorkovací frekvence určuje, kdy se přečte hodnota na elektrodě během jedné sekundy. Aby nedošlo k aliasingu, což je znehodnocení signálu při vzorkování, musíme nastavit vzorkovací frekvenci větší, než dvojnásobek nejvyšší harmonické složky signálu. Ještě před zahájením nahrávání je potřeba spočítat filtr podle Nyquistova teorému. Pro naši tabulku je optimální dolní propust do cca 2000 Hz.

RHD USB Interface Board má přednastavené vzorkovací frekvence, ze kterých si můžeme vybírat. Nejmenší možná je 1 kHz, zatímco největší je 30 kHz. Pro popsání záchvatu stačí nahrávat se vzorkovací frekvencí 1 kHz, avšak pro vysokofrekvenční oscilace by bylo dobré nahrávat se vzorkovací frekvencí 1,5 kHz a výš. Nejčastěji používaná vzorkovací frekvence na lokálním pracovišti je 5 kHz. [1, 2, 5]



Obrázek 5.4: Blokové schéma hlavního skriptu v Matlabu

Funkci `read_db` poskytneme tabulku načtenou z databáze při inicializaci. Funkce vybere informace důležité pro danou myš a v daném formátu je vrátí do hlavního skriptu. Funkce `saving_data` otevře soubor s již uloženým signálem, připojí nově přibylá data za ta stará a změní čas konce signálu. Poté nově soubor uloží s novými daty. `Saving_data_change`, na rozdíl od `saving_data`, otevře soubor, který se založí při zaznamenání kódu, a použije ho jako „šablonu“. Přepíše data, začátek a konec signálu a uloží soubor s novým číslem.

# Kapitola 6

## Testování

### 6.1 Měření EEG

Bylo provedeno dvoudenní měření na dvou headstage. Z headstage A se nahrálo 8 elektrod, což odpovídá nejčastějšímu počtu elektrod využívaných na lokálním pracovišti. Se zátěží bylo 7 elektrod a 1 elektroda bez zátěže. Z headstage B se nahrály 2 elektrody, obě bez zátěže. Nahrávalo se se vzorkovací frekvencí 1000 Hz a data byla ukládána po hodinových souborech. Použili jsme předdefinovanou dolní propust pro IntanBoard s horním limitem 400 Hz. Databáze, ze které platforma čerpala informace, vypadala podle tabulky 6.1.

Výsledek splnil všechna očekávání. Během měření se neobjevil problém, který by vyžadoval opakování měření. V počítači se založily složky, ve kterých byla data z jednotlivých headstage. V obou složkách je 48 souborů s daty. Každý soubor obsahuje hodinový záznam. Obě headstage byly nahrávány najednou, přičemž kód pro headstage B se aplikoval o 5 sekund později.

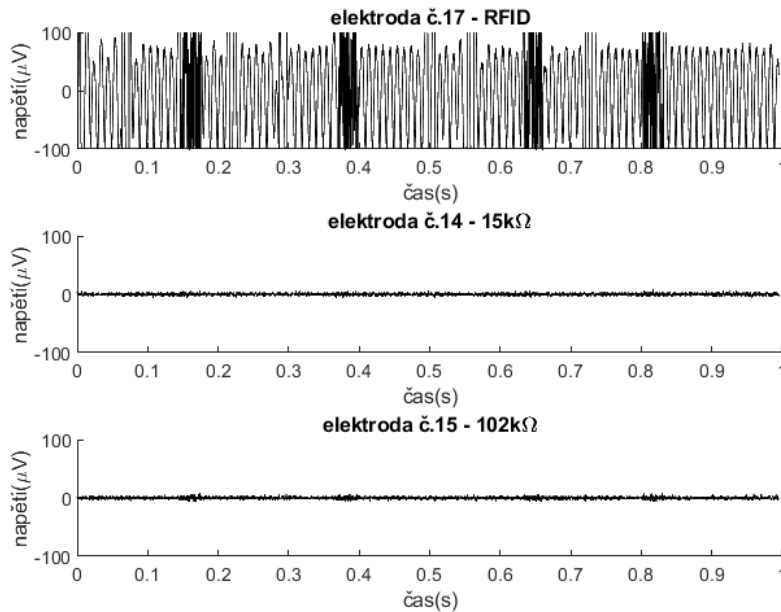
ID	SPI	elektrody	Fs	period
46	A	2, 3, 4, 5, 6, 14, 15, 17	1000	60
2060	B	2, 25	1000	60
2049	C	3, 5, 11	1000	60
2053	D	2, 14, 15, 17	1000	60

**Tabulka 6.1:** Tabulka pro testovací měření

## 6.2 Vliv RFID interference na EEG

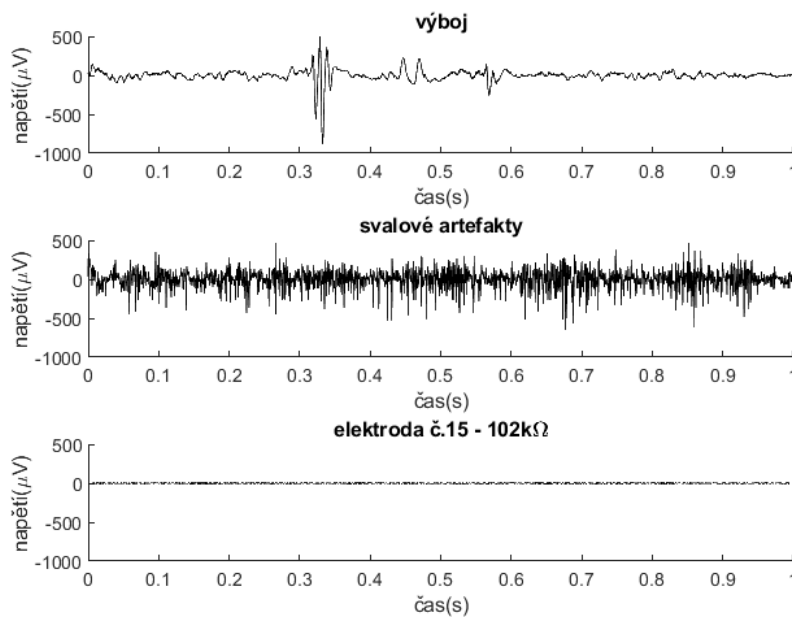
Při měření EEG se naskýtá otázka, jestli aktivní čtečka a čtení kódu neinterferuje s měřením EEG a nezpůsobuje zhoršení kvality signálu. Na elektrody s čísly 14 a 15 byla připájena zátěž. Na elektrodu 14 bylo připájeno  $15\text{ k}\Omega$  a na elektrodu 15  $102\text{ k}\Omega$ . Elektroda 17 byla zanechána volná, bez zátěže. K odhadu velikosti umělé zátěže byly použity hodnoty impedance elektrod skutečně naimplantovaných laboratorních myši. Impedance elektrod se pohybují v rozpětí od  $10\text{ k}\Omega$  do několika stovek  $\text{k}\Omega$  podle úspěšnosti implantace a počtu post-operačních komplikací. Hodnota  $15\text{ k}\Omega$  reprezentuje správně naimplantovanou elektrodu u myši bez komplikací, kdežto hodnota  $100\text{ k}\Omega$  reprezentuje suboptimální implantaci s potenciálním vyřazením myši z experimentu. Impedance byly změřeny automaticky s využitím RHX software.

Bylo provedeno 5 měření s různým umístěním headstage, která měla simulovat pohyb hlodavce v kleci. Díky elektrodě 17, která registruje okolní interference, můžeme vidět, kdy došlo ke čtení kódu. Největší interferenci jsme zaznamenali, když headstage byla velice blízko RFID čtečce. Na obr. 6.1 jsou zobrazeny signály naměřené na elektrodách 14, 15, 17. Headstage je umístěná nejbližší RFID čtečce během aktivního čtení čipu. Je vidět, že kontaminace signálu RFID interferencí je vyšší u elektrody č. 15 oproti elektrodě č. 14. Čtení kódu nastalo ve chvíli, kdy se na elektrodě 17 prudce zvedla frekvence.



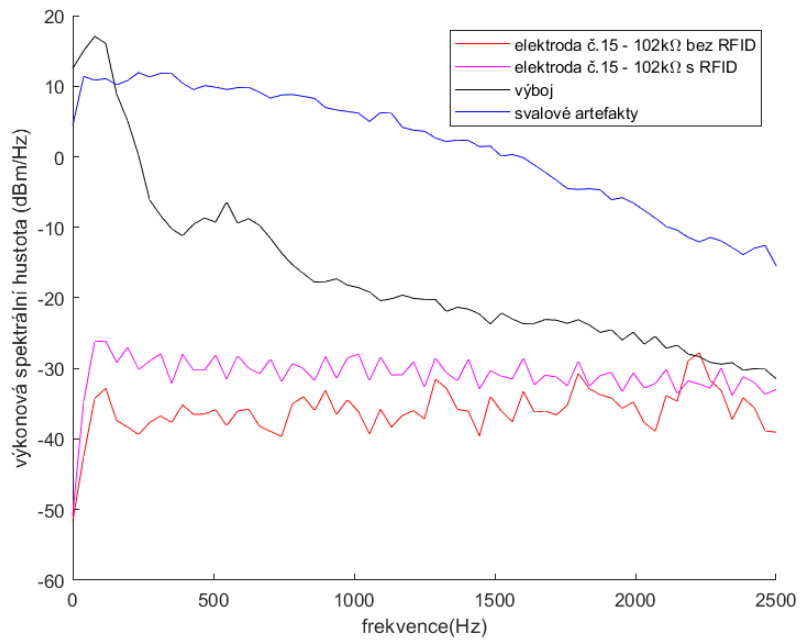
**Obrázek 6.1:** Elektrody ovlivněné čtením kódu pomocí RFID

Pro lepší zhodnocení, jestli RFID interference zhorší nezanedbatelně EEG, bylo poskytnuto již naměřené EEG, na kterém je vidět typický výboj, a také EEG kontaminované svalovými artefakty, které jsou velice častým jevem u hlodavců. Podle obr. 6.2 můžeme usoudit, že vliv RFID je zanedbatelný, protože jeho hodnoty se pohybují v řádech jednotek až několik desítek mikrovoltů, zatímco u typického výboje nám hodnoty vyrostou až do 1 milivoltu. Podobně u svalových artefaktů, kdy se hodnoty pohybují o řád výš.



**Obrázek 6.2:** Porovnání s naměřeným EEG

Na obr. 6.3 je ukázáno výkonové spektrum z předchozích signálů. Na tomto grafu je vidět, že výkon elektrody 15, ať už s aktivním RFID či bez něj, je mnohem menší než poskytnuté EEG. Ještě k tomu se jedná o konzervativní situaci. Elektroda 15 měla zátěž 102 k $\Omega$ , takže už tak je EEG obtížné měřit, a hlodavec by byl nejbližší ke čtečce, což se stane jen při zapínání nahrávání a vypínání. Tedy můžeme s jistotou říct, že vliv RFID interference je pro potřeby měření EEG zanedbatelný.

**Obrázek 6.3:** Výkonové spektrum

# Kapitola 7

## Zhodnocení

### 7.1 Výhody a nevýhody

Na začátku práce byly stanoveny požadavky, které by měla platforma splňovat. Platforma nahraje data z hlodavce a automaticky vloží nahraná data do složky s názvem kódu přiřazeným k danému hlodavci. Manuálně se teď musí zapsat do databáze nastavení pouze jednou a platforma už bude vědět, s jakým nastavením nahrát EEG daného hlodavce nezávisle na čase a jeho umístění. Počítač se nesplete ani nepřeklikne během nastavování, tímto je minimalizovaná lidská chyba. Matlab je velice využíván v lokálním prostředí, čímž se otevírá možnost rozšiřování platformy o další funkce bez větších problémů.

Velkou nevýhodou je pravidelný restart nahrávání. Intanboard nahrává databloky rychleji, než je Matlab skript stíhá zpracovat. Čip se tak v nějakém konečném čase zaplní a program spadne. Při restartu se Intanboard zastaví, nechá počítač uložit data ve frontě a znovu se zapne. Při tomto řešení přijdeme o data, ale v dlouhodobém nahrávání, o čase několika dní až měsíců, je tato několikasekundová chvíle zanedbatelná. Nejlepším řešením by bylo použití jiného programovacího jazyka, který je více zaměřený na realtime zpracování příkazů či dat. Tím by ale rozšiřitelnost byla obtížnější.

Excelovská tabulka také není nejvhodnějším výběrem pro databázi resp. evidenci. Jeho použití má několik omezení. Má omezenou podporu správy relačních dat (mohou se použít vyhledávací pole a dotazy, ale není to ideální). 1 048 576 řádků a 16 384 sloupců se zdá, že je postačující, ale mohou se zaplnit. Co se týče programovacích funkcí, nabízí pouze makra. Excel nemá ani indexování. Při velkém množství dat na několika listech, dotaz na data může trvat dlouhou dobu. V Excelu můžete nastavit, aby jej mohlo používat

více lidí, ale nic není uzamčeno, takže pokud se na data dívá někdo jiný a provede změnu, může vaše data přepsat. Lepší by bylo použít standardní databázový systém MySQL, který tyto nevýhody nemá.

IntanBoard neumí nahrávat s různou vzorkovací frekvencí. Všechny porty se tedy musí nahrávat se stejnou vzorkovací frekvencí a teprve pro další měření se dá nastavit jiná. Tím pádem se musí najednou nahrávat hlodavci, které chceme nahrávat se stejnou vzorkovací frekvencí.

Pokud by se odhlédlo od toho, že pro lokální pracoviště je Matlab výhodný, mohou se použít i software Open Ephys GUI nebo RHX Data Acquisition Software. Podle požadavků pracoviště, např. co se používá za hardware, kolik kanálů je potřeba, automatizace, etc. by se rozhodlo, který software je lepší. Pro požadavky, které se stanovily na začátku práce, by bylo výhodnější použít RHX Data Acquisition Software, který umožňuje automatizaci pomocí TCP příkazového rozhraní.

Jedno stanoviště či klec potřebuje nejméně 5 digitálních vstupů na Funduinu, tzn. na jednom Funduinu mohou pracovat 2 klece, protože Funduino má 13 digitálních vstupů. Každé stanoviště také potřebuje svoji vlastní RFID čtečku. Čtečka by měla být umístěna tak, aby co nejméně bránila běžnému použití klece. Nejlépe aby byla zachycená poblíž klece či nad klecí. Tak se nestane, že hlodavec se sám přiblíží ke čtečce a zastaví nahrávání.



## 7.2 Případná rozšíření a vylepšení

Jak už bylo řečeno, náš systém je otevřený možným rozšířením a vylepšením. V analýze EEG nám kromě nahraného signálu pomáhá i video. Ve chvíli, kdy se spustí nahrávání EEG, by se mohla spustit i kamera nad klecí a stejně i ukončit nahrávání. Nahrané video by se pak objevilo ve stejné složce, jako nahraná data.

Jedním z vylepšení by mohla být i lepší databáze. V databázi by kromě identifikačního čísla a nastavení mohly být informace o daném hlodavci, např. pohlaví, majitel, věk, a tak dále. Celá databáze se může skládat i z více tabulek a celá by se mohla ovládat pomocí intuitivního grafického uživatelského rozhraní.

Další vylepšení by se mohlo týkat detekce selhání a následného restartování nahrávání. Jednou z možností je napsat skript, který bude hlídat, jestli se ukládají data do složky s nahraným signálem. Pokud data nepřibývají nebo přibývají nesmyslná, pošle informaci majiteli hlodavce.

Mohou se přidat senzory k Funduinu, které budou poskytovat informace teplotě a světla. Myši mají mít simulovaný klasický denní cyklus, tzn. 12 hodin světlo a 12 hodin tma. Když se poškodí časování, či žárovka, platforma může poslat informaci majiteli hlodavce. Analogicky lze uplatnit i pro teplotu a klimatizaci.



## Část III

### Závěr

Jeden z výzkumů pro léčbu epilepsie se zabývá předpovídáním záchvatů. Záchvaty přichází náhle a bez varování. V současné době neexistuje spolehlivá metoda pro předpovídání záchvatů v horizontu hodin nebo dokonce dnů. Pro studium epilepsie je tedy důležité umět jednoduše a spolehlivě nahrávat dlouhodobé (chronické) EEG z laboratorních hlodavců v řádu měsíců. Vědec by se měl co nejméně zabývat metodou nahrávání EEG, spíše by se měl zaměřit na analýzu EEG. Cílem této práce bylo adresovat tento problém pomocí inteligentní platformy pro dlouhodobé měření EEG.

V praktické části této práce jsme navrhli a implementovali inteligentní platformu, která vědci pomůže EEG nahrát a získat bez problémů a za použití minimálního úsilí. Pro vědce stačí zavést informace o novém hlodavci do databáze či tabulky, implantovat hlodavci RFID čip, a poté přiblížit hlodavce ke čtečce kdykoliv potřebuje nahrát EEG. Platforma zvládá i dlouhodobé nahrávání se zanedbatelnými ztrátami. Platformu lze považovat za inteligentní, protože komunikuje s databází, která nejen že poskytuje informace platformě, ale také udržuje celkový přehled o zkoumaných hlodavcích. Každý hlodavec je identifikován svým kódem, což usnadňuje vyhledávání, filtrování či dorozumívání s případným rozšířením. Jinými slovy, platforma se přizpůsobí po libovolném přehazování hlodavce z pozice na pozici. Momentální stav platformy je vhodný pro dlouhodobé měření EEG.

Realizaci i testování platformy můžeme považovat za úspěšnou. Platforma má daleko k dokonalosti a pro praktické využití potřebuje ještě hodně úprav, ale pokud se systém bude rozvíjet dál, zmizí detaily, se kterými se vědec při zkoumání EEG musí potýkat. Až se k platformě přidají různá rozšíření a vylepšení, bude možné urychlit a zefektivnit velkou část výzkumu.



## Literatura

- [1] *RHD USB Interface Board*[online]. The Intan Technologies LLC. [vid. 4.4.2022]. Dostupné z: [https://intantech.com/RHD\\_USB\\_interface\\_board.html](https://intantech.com/RHD_USB_interface_board.html)
- [2] THE INTAN TECHNOLOGIES LLC [online]. *RHD USB interface board user guide*. 2013; aktualizováno 2021[vid. 29.3.2022] dostupné z: [https://intantech.com/files/Intan\\_RHD2000\\_eval\\_system.pdf](https://intantech.com/files/Intan_RHD2000_eval_system.pdf)
- [3] *RHX Data Acquisition software*[online]. The Intan Technologies LLC. [vid. 4.4.2022]. Dostupné z: [https://intantech.com/RHX\\_software.html](https://intantech.com/RHX_software.html)
- [4] THE INTAN TECHNOLOGIES LLC *RHX Data Acquisition Software*[software]. 11. Února 2021. Dostupné z: [https://intantech.com/RHX\\_software.html](https://intantech.com/RHX_software.html) [Požadavky na systém: 16-32 amplifier channels: 2.4 GHz CPU with 4+ cores, 4 GB system RAM; 48-512 amplifier channels: 3.0 GHz CPU with 4+ cores, GPU, 8 GB system RAM; 528-1024 amplifier channels: 3.2 GHz CPU with 4+ cores, GPU, 16 GB system RAM]
- [5] THE INTAN TECHNOLOGIES LLC [online]. *RHD2000 MATLAB Toolbox Getting Started Guide*. 2015, aktualizováno 2018. [vid. 4.4.2022]. Dostupné z: [https://intantech.com/files/Intan\\_RHD2000\\_MATLAB\\_toolbox.pdf](https://intantech.com/files/Intan_RHD2000_MATLAB_toolbox.pdf)
- [6] *Open Ephys GUI*[online]. Open Ephys. [vid. 4.4.2022]. Dostupné z: <https://open-ephys.org/gui>
- [7] ANU, V. Maria, M. I. DEEPIKA a L. Mary GLADANCE. Animal identification and data management using RFID technology. In: *International Conference on Innovation Information in Computing Technologies* [online]. IEEE, 2015, s. 1-6 [cit. 2022-04-04]. ISBN 978-1-4799-8787-0. Dostupné z: doi:10.1109/ICIICT.2015.7396069

- [8] DAHLBORN, K. P. BUGNON, T. NEVALAINEN, M. RASPA, P. VERBOST a E. SPANGENBERG. Report of the Federation of European Laboratory Animal Science Associations Working Group on animal identification. *Laboratory Animals* [online]. 2013, 47(1), 2-11 [cit. 2022-04-04]. ISSN 0023-6772. Dostupné z: doi:10.1177/002367712473290
- [9] WEINSTEIN, R. RFID: a technical overview and its application to the enterprise. *IT Professional* [online]. 2005, 7(3), 27-33 [cit. 2022-04-04]. ISSN 1520-9202. Dostupné z: doi:10.1109/MITP.2005.69
- [10] CADILLAC, Joan. ANIMAL IDENTIFICATION SYSTEMS USED FOR MICE. In: *The Jackson Laboratory* [online]. The Jackson Laboratory, 2006. [vid. 4.4.2022]. Dostupné z: <https://www.jax.org/news-and-insights/2006/december/animal-identification-systems-used-for-mice>
- [11] MŮČKA, Jan. Relační databáze vs. nerelační databáze: jaké jsou mezi nimi rozdíly? In: *MasterDC* [online]. MasterDC, 2021. [vid. 4.4.2022]. Dostupné z: <https://www.master.cz/blog/relacni-databaze-nerelacni-databaze-jake-jsou-rozdily/>
- [12] CHVOJKA, Jan. *MODELOVÁNÍ DYNAMIKY EPILEPTICKÉHO ZÁCHVATU*. Pardubice, 2015. Diplomová práce. Univerzita Pardubice, Fakulta elektrotechniky a informatiky, Katedra řízení procesů.
- [13] KUDLÁČEK, Jan. *Dynamics and Functional Organization of Neuronal Populations in Epileptic Brain*. Praha, 2019. Disertační práce. ČVUT v Praze, Fakulta elektrotechnická, Katedra teorie obvodů.
- [14] SHUMOV, A. V., V. I. TROYNOV a A. M. ZIMIN. Dispatch & information system for control and keeping records of remote laboratory experiments. In: *2015 3rd Experiment International Conference (exp.at'15)* [online]. IEEE, 2015, s. 187-190 [cit. 2022-05-05]. ISBN 978-1-4673-7717-1. Dostupné z: doi:10.1109/EXPAT.2015.7463263
- [15] HABEDANK, Anne, Birk URMERSBACH, Pia KAHNAU a Lars LEWEJOHANN. O mouse, where art thou? The Mouse Position Surveillance System (MoPSS)—an RFID-based tracking system. *Behavior Research Methods* [online]. 2022, 54(2), 676-689 [cit. 2022-05-05]. ISSN 1554-3528. Dostupné z: doi:10.3758/s13428-021-01593-7
- [16] Computerised Vs paper-based databases [online]. Teach-ICT. [cit. 2022-10-05]. Dostupné z: [https://www.teach-ict.com/ks3/year7/data\\_handling/miniweb/pg3.htm](https://www.teach-ict.com/ks3/year7/data_handling/miniweb/pg3.htm)
- [17] SIEGLE, Joshua H., Aarón Cuevas LÓPEZ, Yogi A. PATEL, Kirill ABRAMOV, Shay OHAYON a Jakob VOIGTS. Open Ephys: an open-source, plugin-based platform for multichannel electrophysiology. *Journal of Neural Engineering* [online]. 2017, 14(4) [cit. 2022-05-12]. ISSN 1741-2560. Dostupné z: doi:10.1088/1741-2552/aa5eea





## Přílohy



- `hlavni_skript.m` - hlavní skript v matlabu
- `read_db.m` - funkce na čtení databáze
- `bit2dec.m` - funkce na přeložení RFID kódu z binární soustavy do decimální
- `fr_arr_to_whl.m` - funkce na složení kódu z pole čísel do jednoho čísla
- `saving_data.m` - funkce na ukládání dat
- `saving_data_change.m` - funkce na ukládání dat se založením nového souboru
- `RFID.ino` - zdrojový kód pro Funduino UNO