



# VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

## FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH TECHNOLOGIÍ

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION

## ÚSTAV MIKROELEKTRONIKY

DEPARTMENT OF MICROELECTRONICS

## NOSITELNÁ ELEKTRONIKA

SMART WEARABLE

### DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

### AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. Luboš Moravec

### VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

doc. Ing. Pavel Šteffan, Ph.D.

BRNO 2016



# Diplomová práce

magisterský navazující studijní obor **Mikroelektronika**  
Ústav mikroelektroniky

**Student:** Bc. Luboš Moravec

**ID:** 146063

**Ročník:** 2

**Akademický rok:** 2015/16

**NÁZEV TÉMATU:**

## Nositelná elektronika

### POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

Navrhněte a realizujte zařízení z kategorie chytré nositelné elektroniky. V návrhu se zaměřte a zdůvodněte volbu jednotlivých použitých komponent. Zařízení navrhněte tak, aby bylo napájeno dobíjecím článkem a umožňovalo záznam chování uživatele. Naměřené údaje bezdrátově přenášejte do chytrého telefonu či tabletu. Součástí zařízení bude taktéž nabíjecí stanice.

### DOPORUČENÁ LITERATURA:

Podle pokynů vedoucího práce

**Termín zadání:** 8.2.2016

**Termín odevzdání:** 26.5.2016

**Vedoucí práce:** doc. Ing. Pavel Šteffan, Ph.D.

**Konzultant diplomové práce:**

**doc. Ing. Lukáš Fucik, Ph.D., předseda oborové rady**

### UPOZORNĚNÍ:

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

## **ABSTRAKT**

Tato diplomová práce se zabývá vysvětlením pojmu nositelná elektronika a různými možnostmi jejího použití. Tato práce dále obsahuje ukázkou realizovaných zařízení v této kategorii. Součástí této práce je také průvodce výběrem součástek vhodných pro návrh nového zařízení v kategorii nositelná elektronika. Výsledkem práce je navržené nositelné zařízení a nabíjecí stanice. Toto zařízení umožňuje číst vstupy od uživatele a zobrazovat tyto informace na chytrém zařízení systému Android připojeném bezdrátovou technologií Bluetooth.

## **KLÍČOVÁ SLOVA**

Nositelná elektronika, procesor, Bluetooth, senzor, bezdrátové nabíjení, miniaturizace, low-power

## **ABSTRACT**

This master's thesis deals with the explanation of the concept of smart wearables and the different application possibilities. This work also includes examples of finished demonstration devices in this category. Part of this work is devoted to guide the selection of appropriate components for the design of new equipment in the category of smart wearable. The result of this thesis is designed wearable and charging station. This device is able to read user input and display that information on a smart device running under Android system connected via Bluetooth technology.

## **KEYWORDS**

Smart Wearable, processor, Bluetooth, sensor, wireless charging, miniaturization, low-power

## **BIBLIOGRAFICKÁ CITACE**

MORAVEC, L. *Nositelná elektronika*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2016. 66 s. Vedoucí diplomové práce doc. Ing. Pavel Šteffan, Ph.D.



Výzkum popsany v této diplomové práci byl realizován v laboratořích podpořených z projektu SIX; registrační číslo CZ.1.05/2.1.00/03.0072, operační program Výzkum a vývoj pro inovace.



EVROPSKÁ UNIE  
EVROPSKÝ FOND PRO REGIONÁLNÍ ROZVOJ  
INVESTICE DO VAŠÍ BUDOUCNOSTI



## Prohlášení

Prohlašuji, že svoji diplomovou práci na téma „**Nositelná elektronika**“ jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou všechny citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce.

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

V Brně dne 23. května 2016

.....  
podpis autora

## Poděkování

Děkuji vedoucímu diplomové práce doc. Ing. Pavlu Šteffanovi, Ph.D. za účinnou metodickou, pedagogickou a odbornou pomoc a další cenné rady při zpracování práce. Dále děkuji začínající firmě Saphirio a speciálně Ing. Michalu Zachariášovi za pomoc s praktickou stránkou práce a za přístup k návrhovým programům a hardwaru pro vývoj zařízení SugarCube. Nejvíce pak děkuji své rodině za veškerou podporu při studiu.

V Brně dne 23. května 2016

.....  
podpis autora

# Obsah

<b>Seznam obrázků</b>	<b>8</b>
<b>Seznam tabulek</b>	<b>10</b>
<b>Úvod</b>	<b>11</b>
<b>1 Nositelná elektronika</b>	<b>12</b>
1.1 Vysvětlení pojmu .....	12
1.2 Současný stav .....	14
1.3 Příklady různých druhů nositelné elektroniky .....	15
<b>2 Výběr součástek pro návrh nositelné elektroniky</b>	<b>24</b>
2.1 Mikrokontrolér .....	24
2.2 Senzory .....	26
2.3 Komunikační rozhraní .....	27
2.4 Napájení .....	28
2.5 Vibrační motorek .....	30
<b>3 Prototyp bezdrátového nabíjení</b>	<b>32</b>
3.1 Princip bezdrátového nabíjení .....	32
3.2 Návrh vysílací desky bezdrátového nabíjení .....	33
3.3 Návrh přijímací desky bezdrátového nabíjení .....	34
3.4 Vyhodnocení prototypu bezdrátového nabíjení .....	35
<b>4 Nositelné zařízení SugarCube</b>	<b>37</b>
4.1 Uživatelské funkce zařízení SugarCube .....	37
4.2 Návrh hardware pro zařízení SugarCube .....	38
4.3 Návrh software pro zařízení SugarCube .....	40
4.4 Návrh mobilní aplikace pro zařízení SugarCube .....	42
4.5 Testování zařízení SugarCube .....	46
<b>5 Nabíjecí stanice pro zařízení SugarCube</b>	<b>49</b>
5.1 Návrh hardware pro nabíjecí stanici .....	49

<b>Závěr</b>	<b>52</b>
<b>Literatura</b>	<b>54</b>
<b>Seznam příloh</b>	<b>58</b>

# SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1:	Příklady různých druhů nositelné elektroniky [1].....	11
Obr. 2:	Možnosti využití nositelné elektroniky [2] .....	12
Obr. 3:	Google Glass a Apple Watch [3].....	13
Obr. 4:	Ukázka nositelného zařízení pro armádu [6] .....	14
Obr. 5:	Jawbone UP MOVE [7] .....	15
Obr. 6:	Xiaomi MiBand [8].....	17
Obr. 7:	Apple Watch [10].....	18
Obr. 8:	CooKoo Watch [11].....	19
Obr. 9:	Brýle pro virtuální realitu OSVR [12] .....	20
Obr. 10:	Google Glass [13] .....	20
Obr. 11:	HealthPatch MD [14].....	21
Obr. 12:	Google Smart Contact Lenses [15] .....	22
Obr. 13:	Heddoko [16] .....	22
Obr. 14:	Sensoria Fitness Socks [17] .....	23
Obr. 15:	nRF51822 QFN pouzdro [19].....	24
Obr. 16:	Grafické srovnání modelů procesorů z rodiny Cortex-M [20] .....	25
Obr. 17:	Teplotní senzor TMP275 [23].....	26
Obr. 18:	Akcelerometr KXCNL-1010 [24].....	27
Obr. 19:	Bluetooth modul CC2564 [25].....	27
Obr. 20:	Regulátor TLV702 [26] .....	28
Obr. 21:	Vysílací cívka 760308101103 [27].....	29
Obr. 22:	Přijímací cívka 760308101303 [29].....	29
Obr. 23:	Vibrační motorek s točivým elementem mimo pouzdro.....	31
Obr. 24:	Vibrační motorek 308-107 .....	31
Obr. 25:	Ukázka modulů pro bezdrátové nabíjení .....	32
Obr. 26:	Blokový diagram vysílací desky bezdrátového nabíjení [34].....	33
Obr. 27:	Blokový diagram přijímací desky bezdrátového nabíjení [35].....	34



Obr. 28:	Hotový prototyp bezdrátového nabíjení.....	35
Obr. 29:	3D model prototypu bezdrátového nabíjení.....	36
Obr. 30:	3D model nositelného zařízení SugarCube.....	37
Obr. 31:	Blokové schéma zařízení SugarCube.....	38
Obr. 32:	Vyrobená a osazená deska SugarCube .....	39
Obr. 33:	Vývojový diagram obslužného software .....	41
Obr. 34:	Programátor Segger J-Link EDU [38] .....	42
Obr. 35:	Obsah první obrazovky mobilní aplikace pro SugarCube .....	43
Obr. 36:	Obsah druhé obrazovky mobilní aplikace pro SugarCube .....	44
Obr. 37:	Obsah třetí obrazovky mobilní aplikace pro SugarCube .....	45
Obr. 38:	Popis činností obrazovek mobilní aplikace.....	45
Obr. 39:	Nahrávání obsahu paměti mikroprocesoru nRFgo Studio .....	46
Obr. 40:	3D model obsahu krabičky zařízení SugarCube.....	48
Obr. 41:	Blokové schéma nabíjecí stanice .....	49
Obr. 42:	3D model nabíjecí stanice.....	50
Obr. 43:	Fotografie desky plošných spojů pro nabíjecí stanici .....	51
Obr. 44:	3D model zařízení SugarCube v nabíjecí stanici .....	52
Obr. 45:	Fotografie zařízení SugarCube .....	53
Obr. 46:	Strana spojů SugarCube - vrstva TOP, měřítko 4:1.....	64
Obr. 47:	Strana spojů SugarCube - vrstva LAYER2, měřítko 4:1 .....	64
Obr. 48:	Strana spojů SugarCube - vrstva LAYER3, měřítko 4:1 .....	64
Obr. 49:	Strana spojů SugarCube - vrstva BOTTOM, měřítko 4:1 .....	65
Obr. 50:	Strana spojů nabíjecí stanice - vrstva TOP, měřítko 4:1 .....	66
Obr. 51:	Strana spojů nabíjecí stanice - vrstva BOTTOM, měřítko 4:1 .....	66

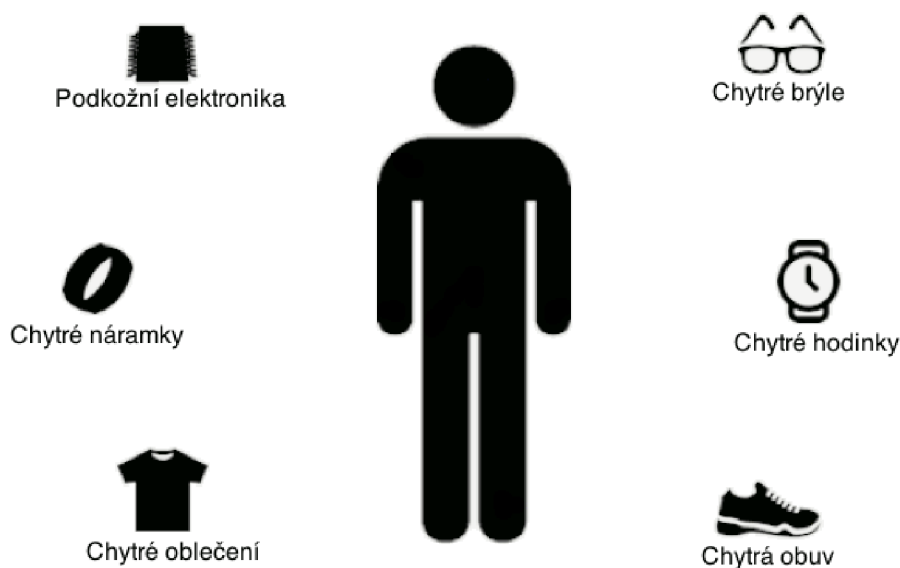
## **SEZNAM TABULEK**

Tab. 1	Srovnání procesorů z rodiny Cortex-M z hlediska vhodného použití [20]..	25
Tab. 2	Srovnání otestovaných dvojic cívek pro bezdrátové nabíjení.....	30
Tab. 3	Přehled proudového odběru při používání zařízení SugarCube .....	47

# ÚVOD

Nositelná elektronika, která představuje nové možnosti použití pro elektroniku a obecně výpočetní zařízení všeho druhu, přináší velké množství nápadů a výzev pro návrháře elektroniky. Různé druhy oborů, které se zabývají komunikací mezi člověkem a počítači a zároveň možnostmi tato zařízení nosit s sebou, naráží na nové problémy s tím spojené – miniaturizace, nízký odběr a další.

Obor nositelné elektroniky je však stále relativně nový a proto přináší každým dnem nové a zajímavé nápady použití. Jako nositelná elektronika se ve většině případů označují miniaturizovaná elektronická zařízení, která jsou navržena takovým způsobem, aby mohla být běžně nošena člověkem. Zatímco mobilní zařízení lze také nosit v ruce či v kapse, součástí produktů označovaných jako nositelná elektronika je návrh nějakého specifického způsobu nošení, například upevnění na tělo, část oblečení nebo může být zakomponováno přímo do oblečení, viz obr. 1.



Obr. 1: Příklady různých druhů nositelné elektroniky [1]

Jedním z cílů této práce je vysvětlit pojem nositelná elektronika, uvést některé příklady již realizovaných a prodávaných zařízení a nastínit volbu vhodných součástí pro návrh nového zařízení.

# 1 NOSITELNÁ ELEKTRONIKA

Nositelná elektronika je rodící se sektor technologie, který již nyní vytváří hodně otázek a spekulací, jestli se nebude jednat o dalšího kandidáta obrovské inovace v oboru. Pokud totiž zkombinujeme data z Internetu, zvláště pak ze sociálních sítí společně s dalšími všudypřítomnými výpočetními zařízeními ze sektoru Internetu věcí (IoT), dostáváme dohromady zajímavou kombinaci zařízení, která nás budou provázet v nejbližší době (příklad na obr. 2).



Obr. 2: Možnosti využití nositelné elektroniky [2]

## 1.1 Vysvětlení pojmu

Pro samotný termín nositelná elektronika zatím na světě neexistuje žádná jedinečně uznávaná definice. Ale můžeme jej popsat jako termín, který označuje zařízení či doplněk, jenž uživatel nosí na sobě a který je řízen počítačově, nebo funguje díky určité elektronické technologii, která může fungovat díky nanovláknům. Tato zařízení jsou vždy součástí oblečení nebo módních doplňků – například šatů, hodinek, brýlí či bot. Jejich funkce se v mnohém podobají funkcím laptopů, chytrých telefonů či ručičkových hodinek, mohou tedy například fotit či točit videa, vyhledávat informace na Internetu nebo přijímat a odpovídat na emaily. Obecně ale mají tato zařízení tendenci být mnohem sofistikovanější než zařízení, která musíme ovládat ručně, a to díky senzorickým a skenovacím funkcím, která umožňují například měřit tlak či monitorovat životní funkce, poté tyto informace zpracovávat a pomáhat nám s lepší životosprávou.

Další velmi důležitou funkcí je schopnost komunikace s nositelem, kdy je zařízení schopné dodávat uživateli informace v reálném čase. Tato chytrá zařízení také vždy obsahují zabudované úložiště dat, do kterého se ukládají naměřené údaje, ale také je zde možnost ukládat informace vlastní.

V oblasti nositelné elektroniky se objevují dvě větve vývoje – jedna z nich je zaměřena na zařízení, která se zakládají na skutečnosti, že je lze velmi jednoduše nosit a následně svléct. Na druhé straně se objevují taková zařízení, které jsou invazivnější, například jsou to implantáty nebo tzv. chytrá tetování, jejich snahou je doživotní propojení člověka a stroje. U obou těchto větví je jejich společným cílem vynalézt takovou technologii, která bude člověka konstantně a souvisle propojovat s počítačem nebo elektronickým zařízením bez jeho nuceného a častého ovládání.



Obr. 3: Google Glass a Apple Watch [3]

Různá zařízení tohoto typu, tedy nositelné počítačové stroje, jsme mohli v minulosti zaznamenat pouze v oblasti science-fiction a je faktem, že před třiceti lety byla většina těchto zařízení výplodem fantazie autorů knih a filmů o budoucnosti protkané všemožnými technologickými vymoženostmi, které spolupracují s člověkem, ale zároveň fungují do jisté míry samostatně. Reálně je možné dohledat tyto koncepty o rozšířené realitě pomocí nositelných přístrojů diskutované od konce 90. let 20. století. Okolo roku 2000 pak začali inženýři zdravotní techniky mluvit o teoriích vzniku konkrétního zařízení, které by umožňovalo měřit životní funkce, a následně by nashromážděná data v reálném čase posílala do střediska lékařům na další zpracování. Až několik let poté firmy Google a Apple svými vynálezy (Google Glass a Apple Watch, viz obr. 3) zajistily, že se předměty tohoto typu staly skutečností. Navíc právě tyto dvě firmy mají díky své popularitě a postavení na trhu ve svých rukou obrovský potenciál nositelnou elektroniku zařadit do sekce předmětů denního užití. [4]

## 1.2 Současný stav

Pro pojem nositelná elektronika existuje v současné době již mnoho dalších výrazů, což jen dokazuje prudce narůstající zájem a popularitu těchto produktů. Do češtiny se tento výraz často překládá nositelná elektronika, za to v angličtině se používá mnoho výrazů, jako například *wearables*, *wearable techs*, *wearable devices*, *fashion electronics*, *tech togs*, *smart clothes* a další. Z tohoto faktu také vyplývá, že jsou tato zařízení prozatím rozšířena především v zahraničí, resp. v takzvaném západním světě, a to jak z finančních důvodů, tak i z hlediska velikosti trhů, ve smyslu počtu potencionálních zájemců. V České republice se pak nositelné technologie objevují především ve spojení se lékařskými přístroji.

Nositelné technologie zažívají momentálně svůj největší rozmach, postupně se stávají součástí našich životů, již brzy pravděpodobně přejdou do fáze potřebných či nutných součástí našich životů, a pojmy s nimi spojené se pomalu, ale jistě zabydlují v našich každodenních konverzích. Nemalou roli ve vývoji nositelné elektroniky a v nárůstu jejich oblíbenosti hraje estetika – design, funkčnost, praktičnost, potažmo móda. Americký časopis *Wired* uvedl článek se zajímavou myšlenkou: „*Pokud někdy budeme chtít na našich tělech nosit počítače, budou muset být natolik stylově navržené, abych je chtěli nosit i v případě, že by počítači nebyly.*“ [5]



Obr. 4: Ukázka nositelného zařízení pro armádu [6]

První nositelné technologie byly využívány armádami (viz obr. 4) a následně zdravotnickými zařízeními. Obecně přijímaný názor je, že největší dopad nositelné elektroniky je a bude právě na oblast zdravotnictví a medicíny, pokud pomineme přínos pro sféru obchodní a podnikatelskou. Postupně lze také očekávat výrazné ovlivnění oblasti vzdělávání, finančnictví, hudby a her či dopravy. Jejich hlavní výhodou oproti

starším zařízením bude právě ve zmiňované schopnosti získaná data vhodně zpracovat a prakticky okamžitě transportovat.

### 1.3 Příklady různých druhů nositelné elektroniky

V této podkapitole jsou uvedeny příklady nejvíce oblíbených druhů nositelné elektroniky.

#### Fitness doplňky

Mezi velmi oblíbené druhy chytré elektroniky lze určitě zařadit širokou nabídku fitness doplňků. Tyto přístroje jsou zpravidla velmi kompaktní a jednoduše se ukryjí do kapsy uživatele nebo se prostřednictvím speciálních úchytnů připevní na pásek či kapsu u košile. Existují ale také sofistikovanější modely, u kterých výrobci od začátku cílili na pohodlnost nošení. Ty se pak dají snadno ukryt například do speciálních sportovních bot. Chytré zařízení tedy v takovém případě funguje stejně, jako byste jej měli někde přichycené. Ale nemusíte se o jeho umístění více starat, což je jistě pohodlnější.

Ty nejlevnější modely se dají pořídit už za méně než tisíc korun, přičemž tyto zařízení zvládají takové funkce jako počítání kroků, měření spálených kalorií či zaznamenávání ušlé vzdálenosti a v doplňkových funkcích zpravidla nechybí ani stopky či ukazatel času. I ty nejlevnější modely totiž mají jednoduché displeje schopné zobrazovat základní, typicky číselné informace.



Obr. 5: Jawbone UP MOVE [7]

Tímto však přednosti těchto fitness doplňků ani zdaleka nekončí. Pokročilejší přístroje se totiž dokážou bezdrátově spojit s chytrým telefonem či tabletem. V nich pak vytvářejí pomocí sofistikovaných aplikací detailní analýzy a úspěchy, kterých uživatel za

celou dobu používání dosáhl. Do těchto programů lze přidávat také informace o jídelníčku a pitném režimu, díky čemuž je pak možné naplánovat přesnou strategii hubnutí nebo naopak nabírání hmotnosti. V praxi to funguje obdobně jako osobní trenér. Když svého cíle dosáhnete a dostanete pochvalu, máte pak tendenci ve svém snažení pokračovat. Naopak když ze „správné“ cesty uživatel sejde, chytrý telefon nebo tablet to zjistí a upozorní ho na to, což většinu jedinců pravděpodobně vyburcuje k větší dávce snažení.

Příkladem hojně prodávaného fitness doplňku je Jawbone UP MOVE (na obr. 5). Tento maličký elektronický přístroj je možné nosit kdekoliv na oděvu přichycený pomocí robustního klípu nebo také s klasickým řemínkem na ruku ve formě hodinek. Mezi jeho funkce patří sledování ušlé vzdálenosti, cvičení či spálených kalorií v průběhu dne. Rovněž umožňuje sledovat dobu a kvalitu spánku. Všechny nasbírané informace pak umožňuje spárovat s telefonem bezdrátově pomocí technologie Bluetooth, přičemž výrobce nabízí aplikace pro iOS a Android zařízení. Zařízení má na sobě indikační LED displej složený z 14 různobarevných LED diod. Napájení je vyřešeno jednou knoflíkovou baterií CR2032 s výdrží až 6 měsíců při kapacitě 225 mAh. [7]

Na stejném principu fungují také o něco dražší fitness náramky. Jejich nošení je ale daleko více pohodlné a na rozdíl od dříve uvedených fitness doplňků nemusí uživatel přemýšlet, kam přístroj uchytit anebo jestli ho nezapomněl vzít na ranní běhání s sebou. Jednoduše stačí dát chytrý náramek jednou na zápěstí a sundávat jen jednou za čas kvůli nabíjení. Většina modelů prodávaných na tuzemském trhu je vodotěsná, což znamená, že je lze bez problémů nosit i do bazénu či do sprchy. A díky tomu, že má uživatel náramek neustále při sobě, jsou naměřená data podrobnější a skutečně reflektují průběh celého dne uživatele.

Dražší modely jsou pak navíc ještě sofistikovanější. Dokážou kromě měření počtu kroků, spálených kalorií či ušlé vzdálenosti také například měřit srdeční tep. Tím také částečně kontrolují zdravotní stav uživatele. Další zajímavou funkcí, kterou některé náramky disponují, je hlídání fázi spánku. Díky této funkci dokáže náramek uživatele probudit ve správnou dobu s ohledem na aktuální fázi spánku.

Fitness náramky se prodávají ve dvou různých provedeních – bez displeje či s ním. Je na zvážení uživatele, co mu bude vyhovovat více. Aktivnější uživatelé nejspíše ocení více základní provedení v silikonovém pouzdře. Nevadí mu hrubší zacházení, náramek bude fungovat dále, maximálně se vymění řemínek.





Obr. 6: Xiaomi MiBand [8]

Pro srovnání je zde uvedeno druhé velmi oblíbené chytré zařízení, v tomto případě chytrý náramek Xiaomi MiBand (na obr. 6). Tento náramek má obdobné funkce jako předchozí Jawbone UP MOVE, ale navíc obsahuje ve svém podlouhlém těle vibrační motorek, který při aktivním připojení s chytrým telefonem přes Bluetooth funguje jako oznamovač událostí, například volání či příjem zpráv. Zařízení je také voděodolné s certifikací IP67. [8]

## **Chytré hodinky**

Další zajímavou kategorií tvoří chytré hodinky. Ty se na první pohled příliš neliší od fitness náramků s displeji, rozdíl jsou však poměrně velké. Chytré hodinky jsou totiž zpravidla plnohodnotným doplňkem chytrého telefonu či tabletu. To znamená, že dokážou do jisté míry zastat jeho funkce.

Některé modely chytrých hodinek tak dovedou skutečně telefonovat, podobně jako by uživatel hovor uskutečnil prostřednictvím bezdrátového sluchátka. A tato funkce může být pro celou řadu uživatelů daleko pohodlnější, než být nucen pokaždé vytahovat mobil z kapsy. Samozřejmě jsou pak takové funkce jako stopky, budík či další funkce tradičních digitálních hodinek.

Mezi další zajímavé funkce chytrých hodinek patří možnost ovládní připojených přístrojů na dálku. Například při sledování filmu na tabletu připojenému k televizi jej tak nemusí uživatel vzít ani do ruky a může pouze prostřednictvím připojených hodinek na zápěstí přehrávání pozastavit nebo upravit hlasitost. Stejně jednoduše může uživatel na dálku pustit hudbu na chytrém telefonu.

Tím se tedy dostáváme k hlavní přednosti chytrých hodinek. Jejich displeje většinou neslouží pouze k zobrazování informací, jako tomu je u fitness doplňků, ale umožňují uživateli hodinky ovládat. Displej je tedy buď čistě dotykový, nebo je doplněn tlačítky.

Pokročilejší modely dokonce obsahuje vlastní operační systém, který dovoluje rozšiřovat funkce chytrých hodinek pomocí instalování dalších aplikací. Pak je na nich dokonce možné i hrát jednoduché hry či si například číst knížky. K tomu slouží speciální programy pro rychločtení, které si ve srovnání s chytrými telefony dokážou poradit i s malými displeji hodinek.

Chytré hodinky však samozřejmě nemají problém se suplováním funkcí fitness doplňků. Umějí zaznamenat počet kroků, spálené kalorie či ušlou vzdálenost, pokročilejší modely pak dokážou měřit srdeční tep. Stejně tak se počítá i s jejich využitím v náročnějších podmínkách, většině modelů proto nevadí zvýšená vlhkost, teplotní výkyvy ani střet s vodou.

Avšak větší nabídka funkcí a hlavně dotykový displej je spojen s velkou nevýhodou chytrých hodinek oproti fitness doplňkům a tou je výdrž baterie. Ta se pohybuje v závislosti na modelu a četnosti použití v jednotkách dnů. Výrobci si jsou toho vědomi a tak se snaží neustále zdokonalovat šetřící funkce. Pomocí polohového senzoru tak například některé typy hodinek poznají, zda se na ně uživatel dívá či nikoliv. A pokud se zrovna ne dívá, displej zůstane vypnutý. [9]



Obr. 7: Apple Watch [10]

Příkladem úspěšně prodávaných chytrých hodinek je bezesporu Apple Watch (na obr. 7). Jsou to náramkové chytré hodinky, které obsahují mimo jiné monitor fyzické aktivity a snaží se o sledování zdraví nositele (tep a jeho porovnání s dalšími údaji). S Apple Watch je možné telefonovat, přijímat nebo posílat textové zprávy a podporují také nový systém bezkontaktního placení Apple Pay. Mohou sledovat uživatelovu fyzickou aktivitu, spouštět aplikace třetích stran nebo používat Handoff – funkci pro

sdílení práce mezi zařízeními od firmy Apple. Mohou také sloužit jako dálkový ovladač pro Apple TV, hledáček pro kameru na telefonu iPhone, navigovat s mapovou aplikací a lze do nich také ukládat slevové a klubové karty. Negativní stránkou takového množství funkcí je však výdrž baterie, která se pohybuje v rozsahu 18-48h, dle zatížení uživatelem. [10]

Zajímavou alternativou chytrých hodinek Apple Watch jsou CooKoo Watch (na obr. 8). Tyto hodinky totiž neobsahují dotykový displej, ale kombinaci klasického analogového strojku a indikačních ikon pro obdržená oznámení. Připomínají také více klasické hodinky a jejich velkou výhodou je výdrž na baterii, která je udávána až jeden rok. Pro uživatele těchto hodinek je důležité, že čas zjistí i bez připojeného chytrého telefonu a hodinky mají také díky hodinovému strojku výbornou čitelnost na přímém slunečním svitu, což se o ostatních hodinkách s displeji říci bohužel nedá. [11]



Obr. 8: CooKoo Watch [11]

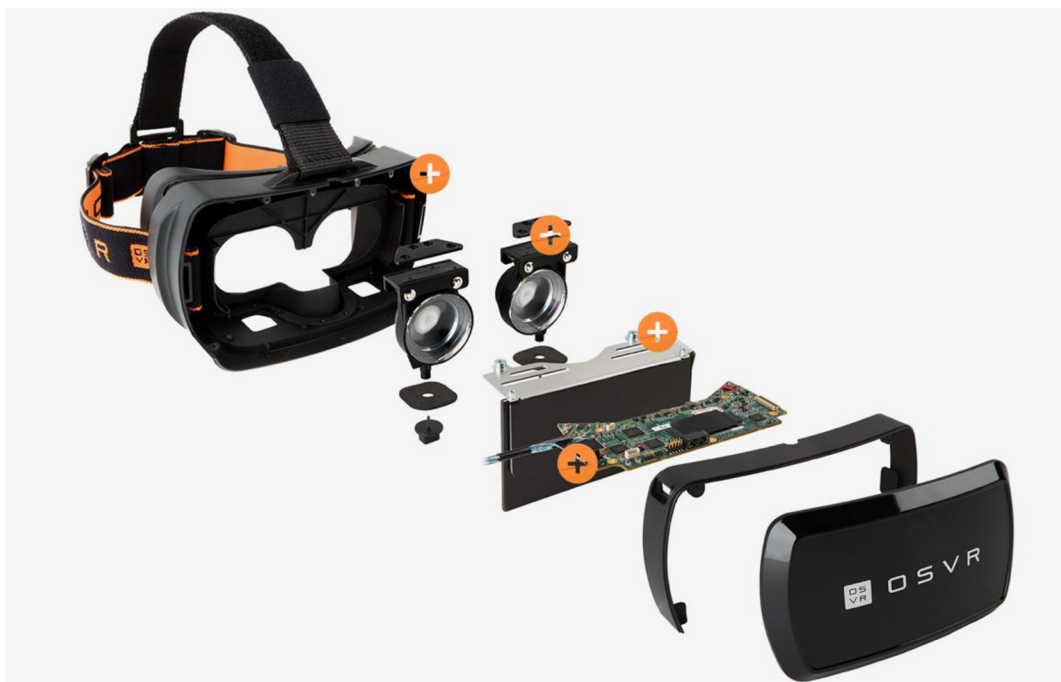
## Chytré brýle

V kategorii chytrá elektronika se také spouště zájemců vybaví chytré brýle. V otázce chytrých brýlí výrobci rozlišují hlavní dva termíny – virtuální a rozšířená realita. Tyto pojmy bývají velmi často zaměňovány, přitom ale obě technologie pracují na zcela odlišných principech.

Brýle určené pro virtuální realitu (na obr. 9) se snaží uživatele vtáhnout do simulovaného světa a jeho smysly zcela oddělit od světa skutečného. Oči tak zpravidla zakrývá displej a na uších jsou umístěna sluchátka, která produkují zvuk, který je součástí virtuálního světa a tím doplňuje celkový zážitek z virtuální reality.

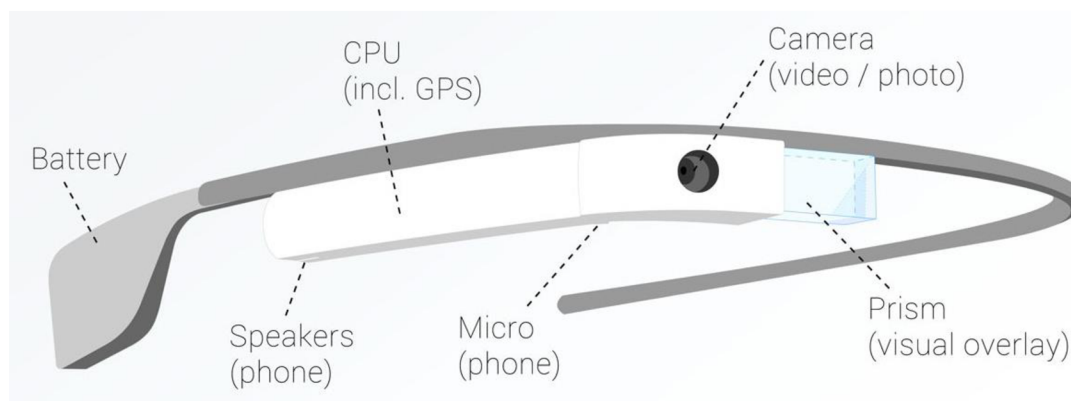
Systemy rozšířené reality většinou vypadají jako obyčejné brýle, přes které může

uživatel vidět vše, co se děje okolo něj. Speciální displeje nebo kamery pak jen dokreslují virtuální předměty do skutečného prostoru okolo uživatele. Tyto systémy tedy vlastně propojují virtuální svět s tím skutečným.



Obr. 9: Brýle pro virtuální realitu OSVR [12]

Na trhu však lze nalézt také méně komplikované modely chytrých brýlí. Jde především o speciální modely určené například pro lyžaře, které v sobě mají zabudovanou kameru s Full HD rozlišením. Jejich majitel pak nemusí přemýšlet, kam svojí sportovní kameru připevnit a zda ji náhodou nezapomněl vzít s sebou. Jednoduše ji nosí pohodlně všude s sebou. Teoreticky pak můžeme do kategorie nositelné elektroniky začlenit i samotné sportovní kamery. [9]



Obr. 10: Google Glass [13]

Příklad poměrně známých chytrých brýlí jsou Google Glass (na obr. 10). Tyto brýle představují nositelný počítač s náhlavním displejem, který je vyvíjen společností Google

v Projektu Glass v oblasti výzkumu a vývoje, jehož posláním je produkovat masově všudypřítomné počítače. Google Glass zobrazují informace podobné upozorněním na chytrých telefonech, přičemž umí i komunikovat s Internetem prostřednictvím hlasových příkazů. Součástí brýlí je také kamera schopná pořizovat fotografie a video s HD ready rozlišením či dotyková plocha na straně brýlí, která umožňuje ovládat programové prostředí. První prototyp brýlí Google Glass se objevil na veřejnosti již v roce 2012, ale v nynější době se o brýlích moc nemluví a pravděpodobně byl jejich vývoj pozastaven. [13]

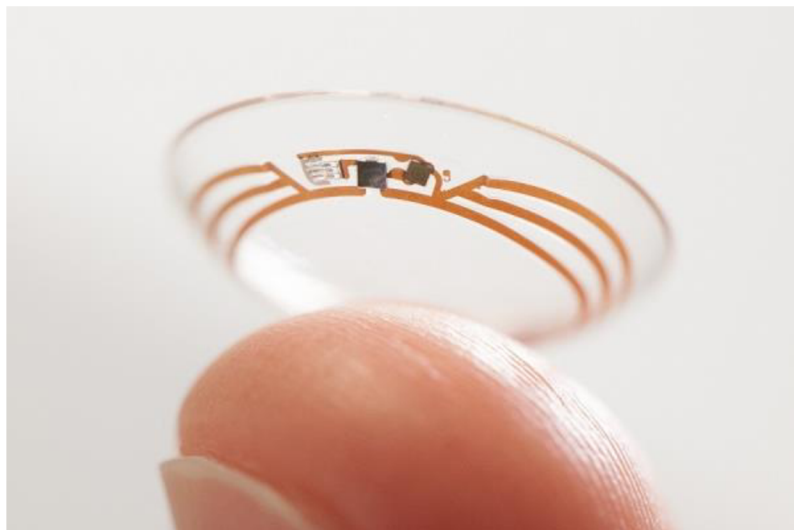
### **Chytrá nositelná zdravotnická zařízení**

Zařízení z kategorie zdravotnictví jsou v případě nositelné elektroniky definována jako taková zařízení, která jsou nošena nebo přímo přichycena na lidské tělo pro monitorování změn v lidských orgánech či částech lidského těla. Mezi tyto zdravotnická zařízení patří například speciální chytré hodinky, náramky, pleny či bionické obleky. Mezi důležité vlastnosti pak patří monitorování srdečního tepu, fázi spánku či tělesné teploty, vzdálená kontrola srdečního stimulatoru či dohled nad denní aktivitou uživatele. Tato zařízení pak samozřejmě umožňují jednoduchou komunikaci s chytrým telefonem či nadřazeným systémem.



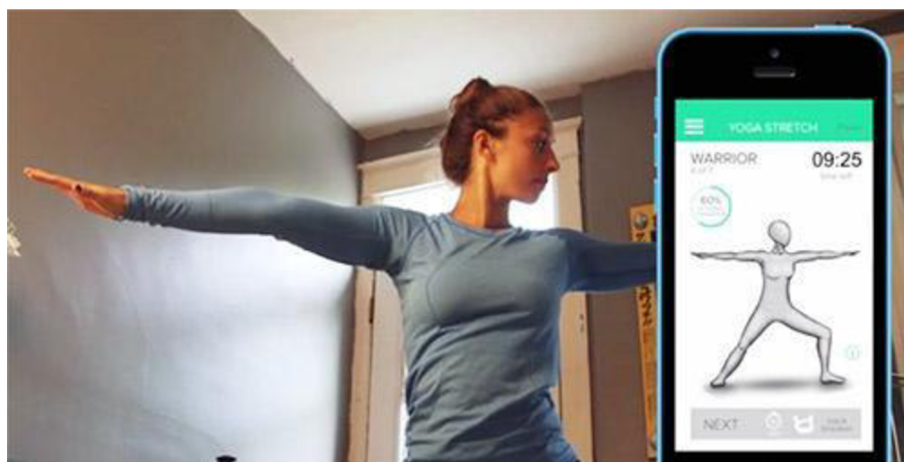
Obr. 11: HealthPatch MD [14]

Mezi příklady zdravotnické chytré elektroniky tak patří HealthPatch MD od firmy VitalConnect (na obr. 11). Tato chytrá náplast umožňuje měření srdečního tepu včetně detekce nepravidelností, měření teploty lidského těla, detekci pádu osob či měření aktivity uživatele včetně počítání ušlých kroků. Velkou výhodou je také nízká hmotnost zařízení, která činí pouhých 11 gramů, nebo možnost znovupoužití sensorového modulu s novou náplastí. [14]



Obr. 12: Google Smart Contact Lenses [15]

Dalším zajímavým příkladem jsou kontaktní čočky Google Smart Contact Lenses (na obr. 12). Tyto čočky jsou specifické tím, že obsahují speciální senzory, které dokážou ze slz uživatele změřit hladinu cukru a tuto informaci přenést do připojeného chytrého zařízení. Pro mnoho diabetiků by tak odpadlo nepříjemné měření hladiny cukru z kapky krve odebrané injekčním perem. Pro diabetiky trpící očními vadami pak samozřejmě mohou čočky sloužit i jako náhrada brýlí, přičemž společnost Google oznámila spolupráci se švýcarskou farmaceutickou firmou Novartis, s kterou plánují čočky obohatit zatím blíže nespecifikovanou funkcí, která by měla umožnit uživateli obnovit jeho zrak do stavu blížíícího se zdravým očím. [15]



Obr. 13: Heddoko [16]

## Chytré oblečení

Poslední zmíněnou kategorií nositelné elektroniky je chytré oblečení. Mezi tyto

produkty patří různá trička, obleky a další. Zařízení z této kategorie opět obsahují již zmíněné senzory srdečního tepu, měřiče aktivity a podobně, přičemž je kladen velký důraz na integraci elektroniky přímo do částí oblečení.

Jedním z příkladů chytrého oblečení je oblek Heddoko (na obr. 13). Tento chytrý oblek je složený z přiléhavého trička a kalhot, které jsou vhodně protkány různými senzory. Celý systém pak po propojení s chytrým telefonem či tabletem dokáže sledovat veškerý pohyb uživatele, pomáhat mu s lepším tréninkem a vyvarovat se přepínání svalů či vznikům zranění. Podle výrobce je tento produkt vhodný jak pro vrcholové atlety, tak i amatérské sportovce a je také výborným doplňkem při rehabilitacích. [16]



Obr. 14: Sensoria Fitness Socks [17]

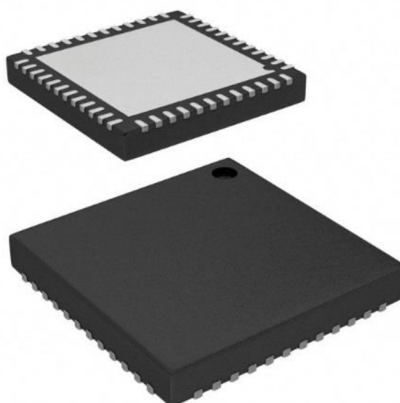
Dalším zajímavým příkladem jsou chytré ponožky od firmy Sensoria Fitness. Tyto ponožky jsou vyrobeny z pokročilých materiálů vhodných pro sportovce, které umožňují například správný odvod potu od pokožky. Kromě toho je ale také celý povrch ponožek protkán textilními senzory, které v reálném čase zajišťují snímání tlaku po celé ploše chodidla a ve spojení s náramkem v oblasti kotníku umožňují všechny naměřené údaje posílat do mobilního zařízení připojeného bezdrátovou technologií Bluetooth. Výhodou je tedy možnost oddělit elektroniku od samotné ponožky a tu bez problémů prát v pračce. [17]

## 2 VÝBĚR SOUČÁSTEK PRO NÁVRH NOSITELNÉ ELEKTRONIKY

Tato kapitola má za cíl ukázat různé druhy součástek potřebných pro návrh nositelné elektroniky. Při výběru těchto součástek je důležité dbát na malé rozměry, vhodnost pro bateriové napájení a další. Výsledkem návrhu nositelné elektroniky totiž často bývají zařízení dosahující maximálních rozměrů několika centimetrů a také nízké hmotnosti.

### 2.1 Mikrokontrolér

Mikrokontrolér lze popsat jako integrovaný obvod, který v sobě již v základu zahrnuje podpůrné obvody a eliminuje tím nutnost připojovat další externí obvody. Jedná se například o paměť typu Flash, EEPROM či ROM, která slouží k uložení programu, či operační paměť RAM, která se používá pro ukládání aplikačních proměnných a zásobníku. Mezi další integrované podpůrné obvody se řadí bloky pro řízení a ovládání analogových či digitálních vstupů a výstupů, bloky pro komunikační rozhraní, práci se strojovým časem a další. [18]



Obr. 15: nRF51822 QFN pouzdro [19]

Při vybírání vhodného mikrokontroléru pro nositelnou elektroniku je důležité se zaměřit na několik faktorů, mezi které patří například nízká spotřeba, dostupnost malé velikosti pouzdra, přiměřená rychlost či možnost připojení potřebných periférií. Další možností je zvolit SoC (System on Chip). Jde totiž o integrované obvody, které obsahují kromě vlastního procesoru i další subsystemy určené pro zpracování signálů, obsluhu externích pamětí či komunikaci přes bezdrátová rozhraní typu Bluetooth nebo WiFi.

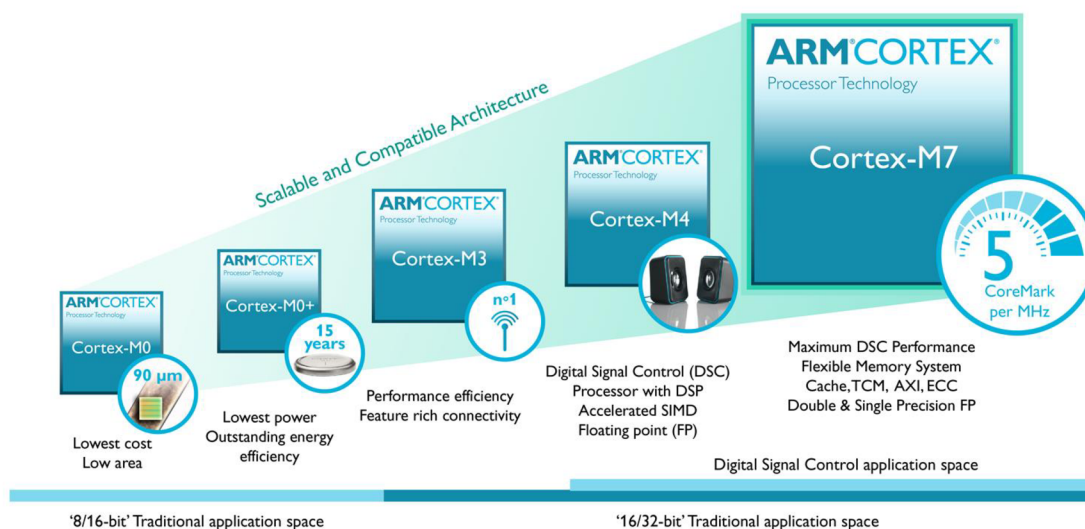
Zajímavým příkladem SoC je nRF51822 od firmy Nordic Semiconductor (na obr. 15). Tento integrovaný obvod obsahuje ve svém pouzdře jako řídicí procesor 32 bitový ARM Cortex M0 s 256/128 kB Flash a 32/16 kB RAM paměti. Dále je v něm integrován



bezdrátový komunikační modul Bluetooth Smart (dříve nazývaný Low Energy) a také Nordic Gazell protokol na frekvenci 2,4 GHz, který využívají komunikační moduly od firmy Nordic Semiconductor. Procesor umožňuje libovolné nastavení všech 31 vstupně výstupních vývodů včetně funkce PWM (pulzně šířková modulace) či rozhraní pro sériovou komunikaci. Výbornou vlastností tohoto SoC je také to, že ho lze zakoupit ve čtyřech různých provedeních – 48 vývodovém QFN pouzdře o velikosti 6x6 mm či třech různě velkých WLCSP (Wafer-level Chip-scale Package) pouzdrech. [19]

Tab. 1 Srovnání procesorů z rodiny Cortex-M z hlediska vhodného použití [20]

Cortex-M0	Cortex-M0+	Cortex-M3	Cortex-M4	Cortex-M7
Řadič dotykového displeje	Senzorový bod pro IoT zařízení	Měřič aktivity	Chytré měření	Špičková zvuková zařízení
Řízení napájení	Bluetooth Smart vysílač	WiFi vysílač	Výkonné řízení motorů	Automobilový průmysl



Obr. 16: Grafické srovnání modelů procesorů z rodiny Cortex-M [20]

Druhým příkladem pak může být mikrokontrolér z řady STM32L0 od firmy STMicroelectronics. Tento integrovaný obvod obsahuje jako řídicí procesor 32-bitový ARM Cortex M0+, který se vyznačuje velmi nízkou spotřebou. Pokud tedy nepotřebujeme používat Bluetooth rozhraní nebo ho z nějakého důvodu nechceme společně v pouzdře s řídicím procesorem jako je to u předchozího příkladu, jeví se volba samostatného řídicího procesoru jako ideální. Pro srovnání je nad tímto odstavcem

uvedena tabulka tab. 1 spolu s grafickým znázorněním od výrobce (na obr. 16), kde jsou uvedeny typické možnosti použití různých řad procesorů značky ARM. [20] [21]

## 2.2 Senzory

Senzor je obecně funkční prvek, který tvoří vstupní blok měřicího řetězce a je v přímém styku s měřeným prostředím. Vedle pojmu senzor se často používají pojmy jako snímač, převodník či detektor. Citlivá část se pak někdy označuje jako čidlo. Činnost senzoru spočívá ve snímání požadované fyzikální, chemické nebo biologické veličiny a následnou transformací na veličinu výstupní – nejčastěji se jedná o analogový nebo číslicový elektrický signál. [22]

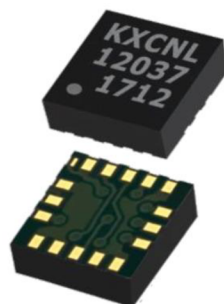
V první části této práce bylo zmíněno, že některé modely nositelné elektroniky umožňují měření teplot, například na lidském těle. K této funkci je nutné zařadit při návrhu nějaký vhodný integrovaný obvod poskytující přesné digitální měření teploty.

Zajímavým příkladem je TMP275 od firmy Texas Instruments (na obr. 17). Tento integrovaný obvod obsahuje přesné teplotní čidlo, které dokáže měřit teploty v rozsahu  $-20^{\circ}\text{C}$  až  $+100^{\circ}\text{C}$  s přesností maximálně  $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$ . Typická hodnota rozlišení je dokonce  $0,0625^{\circ}\text{C}$ . Velkou výhodou je u tohoto obvodu jeho nízká spotřeba, kdy proudový odběr se při spícím stavu pohybuje okolo  $0,1\ \mu\text{A}$  a ve stavu klidovém pak  $50\ \mu\text{A}$ . Rozsah pracovního napětí je pak  $2,7 - 5,5\ \text{V}$ . Komunikace s nadřazeným systémem pak probíhá pomocí rozhraní I2C. [23]



Obr. 17: Teplotní senzor TMP275 [23]

Další důležitou funkcí, pro kterou je nutné zvolit vhodný obvod, je detekce pohybu zařízení. Tuto funkci velmi dobře zastanou různé typy akcelerometrů, když ve většině případů uživatele zajímá pohyb zařízení ve všech osách a v návrhu je tedy obsažen tříosý akcelerometr. Jako příklad lze zvolit KXCNL-1010 od firmy Kionix (na obr. 18). Tento obvod uvnitř obsahuje tříosý senzor zrychlení s volitelnou citlivostí od  $\pm 2\text{g}$  až po  $\pm 8\text{g}$ . Rozsah napájení je v rozmezí  $1,7\ \text{V}$  až  $3,6\ \text{V}$ , přičemž tento velký rozsah je umožněn díky integrovanému napěťovému regulátoru. Obvod se také vyznačuje velmi nízkou spotřebou, která typicky dosahuje hodnot  $50\ \mu\text{A}$  při provozu, tedy při měření a komunikaci po digitální sběrnici I2C. Velkou výhodou je taktéž pouzdro LGA o velikosti pouhých  $3 \times 3\ \text{mm}$ . [24]



Obr. 18: Akcelerometr KXCNL-1010 [24]

### 2.3 Komunikační rozhraní

Důležitou vlastností nositelné elektroniky obecně je také zpracování a zobrazení naměřených dat na jiném zařízení, typicky pak na chytrém telefonu či tabletu. K tomu je ale potřeba zmíněná zařízení nějakým způsobem propojit a k tomu je využíváno často rozhraní Bluetooth. Takových modulů je však velké množství a jejich výběr závisí na mnoho kritériích, mezi která patří například přenosová rychlost, maximální dosažitelná vzdálenost, podporovaný standard, spotřeba energie nebo cena. V předchozí části věnující se volbě mikrokontroléru byly nastíněny dvě možnosti, přičemž první již obsahovala komunikační modul Bluetooth přímo v pouzdře. V případě druhé možnosti je však možné zvolit samostatný Bluetooth modul z různých důvodů.

Jako příklad samostatného Bluetooth modulu je zde uveden model CC2564 od firmy Texas Instruments (na obr. 19). Tento integrovaný obvod byl vybrán díky podpoře bezdrátového protokolu Bluetooth ve verzi Smart (nebo také Low Energy), který je velmi důležitý pro nositelná zařízení kvůli své nízké spotřebě. Ta dle výrobce dosahuje hodnoty  $40\ \mu\text{A}$  v klidovém režimu nebo  $35\ \text{mA}$  při přijímání dat. Dalšími důležitými vlastnostmi jsou například možnost současného připojení až 10 zařízení, integrovaná podpora pro jednoduchou konfiguraci s procesory MSP430 či ARM Cortex-M3 a M4, malá velikost pouzdra QFN  $8,1 \times 8,1\ \text{mm}$  nebo také až dvakrát lepší dosah oproti běžným obvodům podporujícím Bluetooth Smart. [25]



Obr. 19: Bluetooth modul CC2564 [25]

## 2.4 Napájení

Nedílnou součástí každého elektronického zapojení je napájecí část. V případě návrhu nositelné elektroniky by měly navrhované součástky opět splňovat několik kritérií, hlavně co se týká vstupních a výstupních napěťových úrovní, maximálního proudového zatížení, vlastní spotřeby, velikosti čipu či ceny. A v případě mnoha moderních zařízení se také začíná využívat bezdrátového nabíjení, které se pak musí skládat ze dvou částí – vysílací a přijímací.

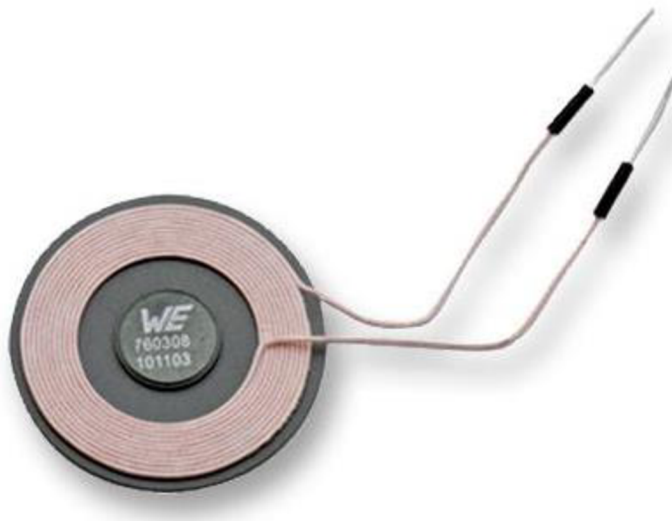
Pro napájení celého zařízení je použita baterie, která má však téměř vždy vyšší hodnotu napětí, než potřebují veškeré použité integrované obvody. Toto lze však velmi jednoduše vyřešit použitím napěťových regulátorů či měničů. Pro jednoduchost jsou však ve většině případů používány již zmíněné lineární napěťové regulátory.

Příkladem vhodného napěťového regulátoru je typ TLV702 od firmy Texas Instruments (na obr. 20). Tento obvod dokáže na svém výstupu vyprodukovat stabilní napětí s přesností 2% v různých hodnotách dle zvoleného typu, například 1,8 V či 3,3 V a další. Maximální hodnota výstupního proudu je pak 300 mA. Velkou výhodou je také to, že obvod má integrovanou pojistku proti přetížení, tepelnou pojistku či povolovací vstup. Tento regulátor je pak možné pořídit ve dvou různých pouzdech, přičemž pouzdro WSON je se svými rozměry 1,5x1,5 mm opravdu miniaturní. [26]



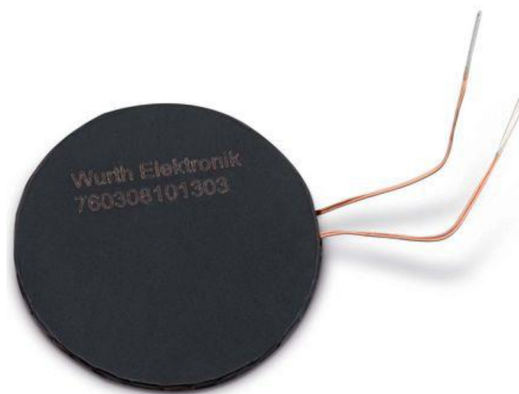
Obr. 20: Regulátor TLV702 [26]

Jak již bylo zmíněno, zajímavým doplňkem, co se týká nabíjení nositelné elektroniky, je bezesporu bezdrátové nabíjení. Tento způsob nabíjení vnitřního akumulátoru je umožněn díky přenosu energie pomocí dvou plošných cívek, vysílací a přijímací. Tyto cívky jsou pak samozřejmě ještě na obou stranách doplněny o speciální integrované obvody, takzvané manažery, které se starají o správný přenos energie, výstupní proudy a podobně.



Obr. 21: Vysílací cívka 760308101103 [27]

Jako příklad vysílací dvojice je zde uveden napájecí manažer bq500212A od firmy Texas Instruments a vysílací cívky 760308101103 od firmy Würth Elektronik (na obr. 21). Uvedený napájecí manažer plně splňuje Qi standard pro bezdrátové nabíjení, je však možné ho nastavit i na nižší výstupní hodnoty proudu, které jsou vhodné právě pro použití s nositelnou elektronikou. Má v sobě také například integrovanou podporu pro detekci kovových předmětů mezi vysílacími cívkami či možnost připojení termistoru pro kontrolu přehřátí. Co se týká parametrů cívky, tak její průměr je 30 mm, indukance 6,5  $\mu\text{H}$  či maximální proud až 3 A. [27] [28]



Obr. 22: Přijímací cívka 760308101303 [29]

Pro příjem bezdrátově vysílané energie pak slouží přijímací dvojice, která je tvořena napájecím manažerem bq51050b od firmy Texas Instruments a přijímací cívkou 760308101303 od firmy Würth Elektronik (na obr. 22). Vybraný napájecí manažer má velkou výhodu v tom, že má v sobě integrovaný jak příjem elektrické energie pomocí připojené plošné cívky, tak i nabíjecí obvod pro baterie typu Li-Ion. Co se týká velikosti pouzdra, tak je možné vybrat mezi VQFN či DSBGA, kdy druhé zmíněné má rozměry pouhých 3x1,9 mm a maximální velikost výstupního proudu je 1,5 A. Vybraná přijímací

cívka má pak průměr 26,3 mm, indukanci 47  $\mu\text{H}$  či maximální proud až 1,5 A. [29] [30]

Při testování bezdrátového prototypu bylo zjištěno, že první vybraná dvojice cívek není příliš vhodná pro přenášení malého proudu, jaký je potřeba právě pro nositelnou elektroniku. Z tohoto důvodu bylo vynecháno bezdrátové nabíjení z návrhu hlavního zařízení. Po nějaké době se ale v nabídce výrobce Würth Elektronik objevily nové cívky vhodné právě pro práci s nositelnou elektronikou a pro otestování byla zvolena nová dvojice cívek, kterou tvoří vysílací cívka 760308101105 a přijímací cívka 760308101217. Přehled rozdílů mezi první a druhou zvolenou dvojicí cívek pro bezdrátové nabíjení je uveden v tabulce tab. 2 níže.

Tab. 2 Srovnání otestovaných dvojic cívek pro bezdrátové nabíjení

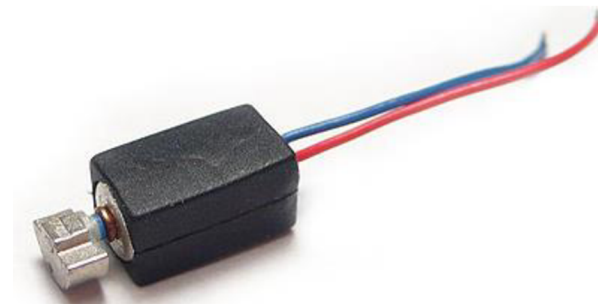
Název cívky	Typ cívky	Průměr cívky [mm]	Induktance [ $\mu\text{H}$ ]	Maximální proud [A]
760308101103	Vysílací	30	6,5	3
760308101303	Přijímací	26,3	47	1,5
760308101105	Vysílací	20,5	3,3	3
760308101217	Přijímací	10,3	24,2	0,4

Další důležitou vlastností navrhovaného nositelného zařízení je také bateriové napájení. Právě tato kategorie součástek je ale jednou z nejproblémovějších, protože není jednoduché najít důvěryhodného výrobce malých baterií, které by bylo možné dobíjet. Po delším průzkumu trhu byla nakonec vybrána knoflíková baterie CP 1254 od firmy Varta. Tato baterie má výstupní napětí 3,7 V, kapacitu 50 mAh a je typu Li-Ion. Její průměr je 12,1 mm a výška činí 5,4 mm (ukázka na obr. 32). Její další výhodou pro tuto práci je také fakt, že tato baterie dokáže dodávat na svůj výstup proud o dvojnásobku kapacity, tedy až 100 mA, a dokáže tedy bez problémů napájet vybraný vibrační motorek. [31]

## 2.5 Vibrační motorek

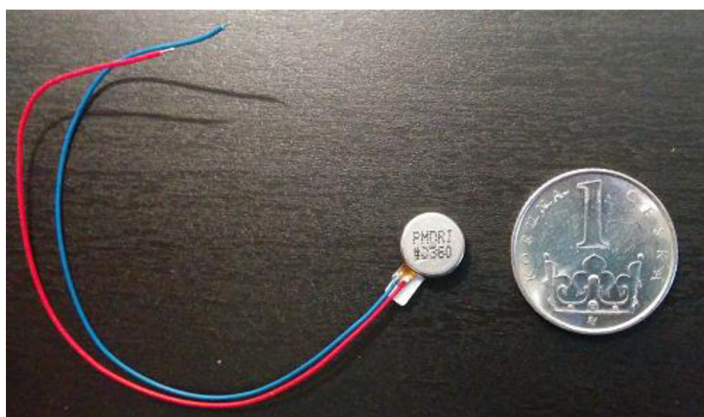
Mnoho produktů z kategorie nositelné elektroniky obsahuje mimo jiné také zpětnou

vazbu pro uživatele. Může se zde jednat například o displej, reproduktor či vibrační motorek. Pro tu práci byl záměrně vybrán vibrační motorek ze dvou hlavních důvodů. Prvním důvodem je velikost výsledného zařízení, kdy dříve zmíněný displej by pravděpodobně vyžadoval větší rozměry zařízení. Druhým důvodem je pak hlasitost upozornění. Vibrační motorek, zvláště ve velikosti vybrané v této práci, nevydává oproti reproduktoru velký hluk a uživatel tedy nebude příliš rušit své okolí.



Obr. 23: Vibrační motorek s točivým elementem mimo pouzdro

Při vybírání vibračního motorku bylo nutné vybírat hlavně podle velikosti výsledného pouzdra, síly motorku a také možnosti zalít motorek zalévací hmotou. Právě poslední zmíněné kritérium volbu vibračního motorku velice ztížilo, protože výrobci vibračních motorků nabízejí hlavně motorky s točícím elementem umístěným vně pouzdra motorku (ukázka na obr. 23).



Obr. 24: Vibrační motorek 308-107

Pro tento projekt byl vybrán vibrační motorek 308-107 od firmy Precision Microdrives (na obr. 24). Tento motorek má tvar válce s průměrem 8 mm a výškou 2 mm. Z dalších údajů výrobce je důležitý také údaj o napájecím napětí 3 V, typický proudový odběr 61 mA či rychlost motorku 15 000 otáček za minutu. Jeho výhodou je také to, že samotný motorek je zalitý v pouzdře a je tedy možné ho pevně zajistit pomocí pouzdríci hmoty ve výsledném zařízení. [32]

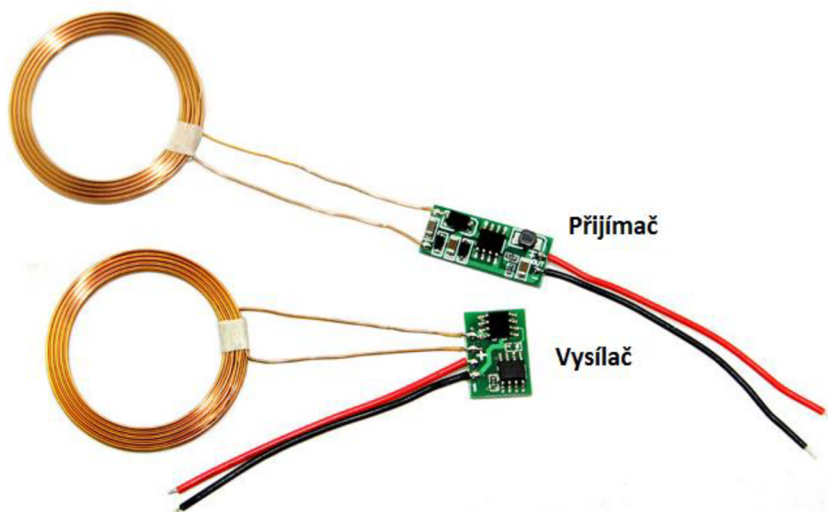
## 3 PROTOTYP BEZDRÁTOVÉHO NABÍJENÍ

V této kapitole je vysvětlen základní princip bezdrátového nabíjení a uvedena ukázka návrhu a testování prototypu bezdrátového nabíjení.

### 3.1 Princip bezdrátového nabíjení

Technologie bezdrátového přenosu elektrické energie se obecně věnuje přenosu elektrické energie ze zdroje energie do baterie či přímo do zátěže bez fyzického propojení vodiči. Tento přenos může být realizován různými způsoby, mezi které patří například sluneční záření, vibrace, vysokofrekvenční zvuk či elektromagnetická indukce.

Poslední zmíněný systém, tedy elektromagnetická indukce mezi dvěma plošnými cívkami, je využit v této diplomové práci. Nabíjecí systém se skládá ze dvou zařízení, vysílače a přijímače (ukázka na obr. 25). Vysílač je v podobě nabíjecí stanice, do které je přiveden elektrický proud pomocí síťového adaptéru s konektorem USB a výstupním napětím 5 V, a tato pomocí vysílací cívky vytváří proměnné magnetické pole. Druhým zařízením je přijímač, který po přiložení přijímací cívky do osy a blízké vzdálenosti k vysílací cívkce indukuje střídavý elektrický proud dle Faradayova zákona o elektromagnetické indukci. Indukovaný střídavý proud je následně usměrněn na stejnosměrný a použit ke zmíněnému nabíjení baterie či napájení zátěže.



Obr. 25: Ukázka modulů pro bezdrátové nabíjení

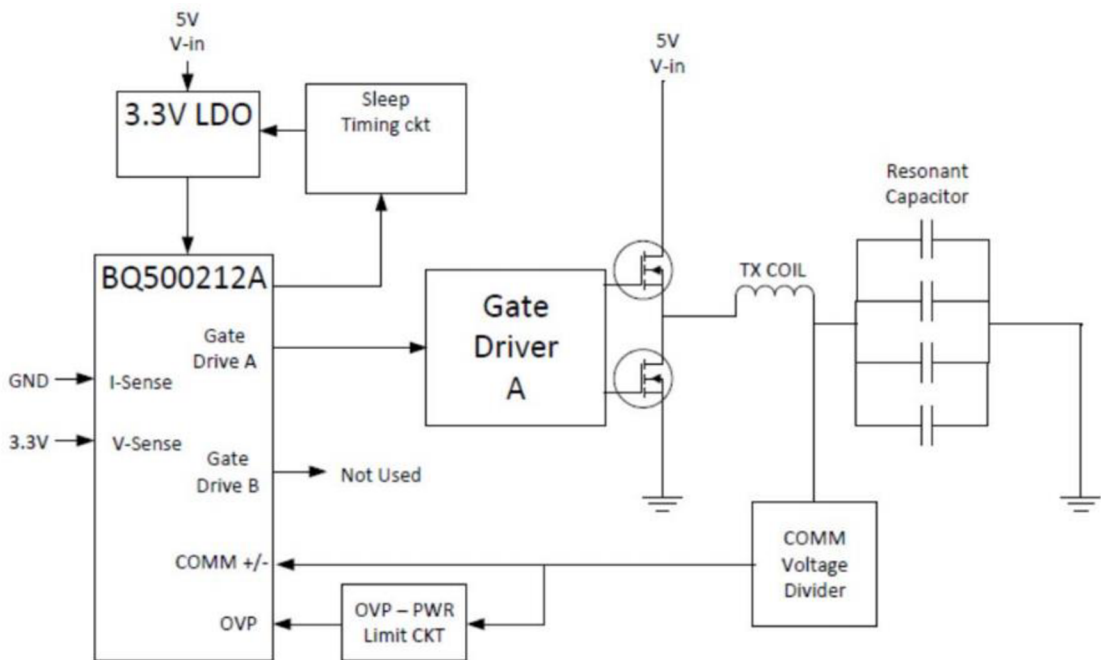
Jako vzor ověřené dvojice desek pro bezdrátové nabíjení byly zvoleny referenční návrhy firmy Texas Instruments. Tyto návrhy jsou určeny pro nabíjení malými proudy, tudíž jsou i vhodné pro nositelnou elektroniku. Nevýhodou je však nekompatibilita se standardem bezdrátového nabíjení Qi a tím pádem nemožnost využívat běžně prodávané univerzální vysílací stanice. Zmíněná nekompatibilita je způsobená velikostí cívek, kdy



nejmenší možný průměr cívek je stanoven na 28,5 mm. [33]

## 3.2 Návrh vysílací desky bezdrátového nabíjení

Jako referenční návrh pro vysílací desku byl zvolen typ TIDA-00415 od firmy Texas Instruments. Tento návrh je podle výrobce vhodný právě pro použití s nositelnou elektronikou a disponuje maximálním výstupním proudem 200 mA při napětí 5 V, tedy maximálním výkonem 1 W. Pro demonstraci úspornosti výrobce dokázal umístit všechny součástky do velikosti kruhové cívky o průměru 20 mm, avšak tento referenční návrh má dvě hlavní nevýhody. První nevýhodou je řízení cívky polovičním můstkem, tedy přenos pouze v jedné polovině periody vstupního střídavého signálu. Druhou nevýhodou s tímto spojenou je nemožnost využití funkce FOD (Foreign Object Detection), kdy tato funkce, kterou lze přeložit jako Detekce cizích předmětů, umožňuje detekovat kovové předměty v okolí cívek. Tyto kovové předměty by se pak mohly díky naindukování části přenášeného proudu ohřívat a také zpomalovat nabíjení cíleného zařízení. Vzhledem k nízkému výstupnímu výkonu tohoto zapojení by ale byla detekce unikajícího proudu nedůvěryhodná a proto se nevyužívá. [34]



Obr. 26: Blokový diagram vysílací desky bezdrátového nabíjení [34]

Blokový diagram popisující funkci vysílací desky bezdrátového nabíjení referenčního návrhu TIDA-00415 je uveden na obr. 26.

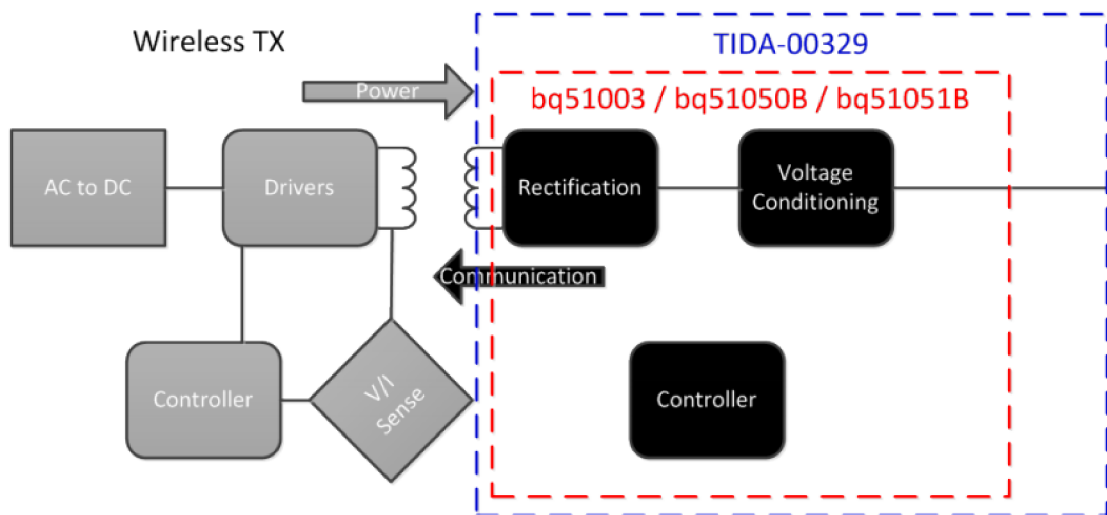
Pro tuto diplomovou práci bylo rozmístění součástek na desce referenčního návrhu TIDA-00415 mírně upraveno a také byly některé součástky vyměněny za jiné

momentálně dostupné. Nejdůležitější součástí na vysílací desce bezdrátového nabíjení je napájecí manažer bq500212A od firmy Texas Instruments, který vykonává všechny důležité funkce, jako jsou například detekce přijímací cívky v poli vysílací cívky, komunikace s přijímacím napájecím manažerem přes datové zprávy posílané pomocí modulace proudu mezi dvojicí cívek a řízení celého procesu přenosu elektrické energie. Pro první prototyp byla vybrána cívka 760308101103 od firmy Würth Elektronik, u které však bylo později zjištěno, že nevyhovuje použitému zapojení jak svými parametry, tak i svým průměrem 30 mm. Pro pozdější testování byla objednána a vyzkoušena cívka 760308101105, také od firmy Würth Elektronik, přičemž s touto cívkou již přenos energie a nabíjení baterie proběhlo úspěšně.

### 3.3 Návrh přijímací desky bezdrátového nabíjení

Přijímací deska bezdrátového nabíjení byla navržena podle referenčního návrhu TIDA-00329 od firmy Texas Instruments. Tento návrh byl zvolen díky tomu, že výrobce ho označuje jako vhodný pro zařízení z kategorie nositelné elektroniky. Návrh totiž obsahuje pouze malé množství pasivních součástek a napájecí manažer bq51050b od firmy Texas Instruments. Druhou důležitou vlastností pro nositelnou elektroniku je také velikost výsledné desky, kdy se výrobcům podařilo umístit všechny součástky na desku o rozměrech 5,23 x 5,48 mm. Zmíněný manažer bq51050b, obdobně jako u vysílací desky, zajišťuje veškerou komunikaci s vysílací stranou skrze nabíjecí a přijímací cívku a také kompletně zajišťuje správné nabíjení připojené baterie. [35]

Blokový diagram popisující funkci přijímací desky bezdrátového nabíjení referenčního návrhu TIDA-00329 je uveden na obr. 27.



Obr. 27: Blokový diagram přijímací desky bezdrátového nabíjení [35]

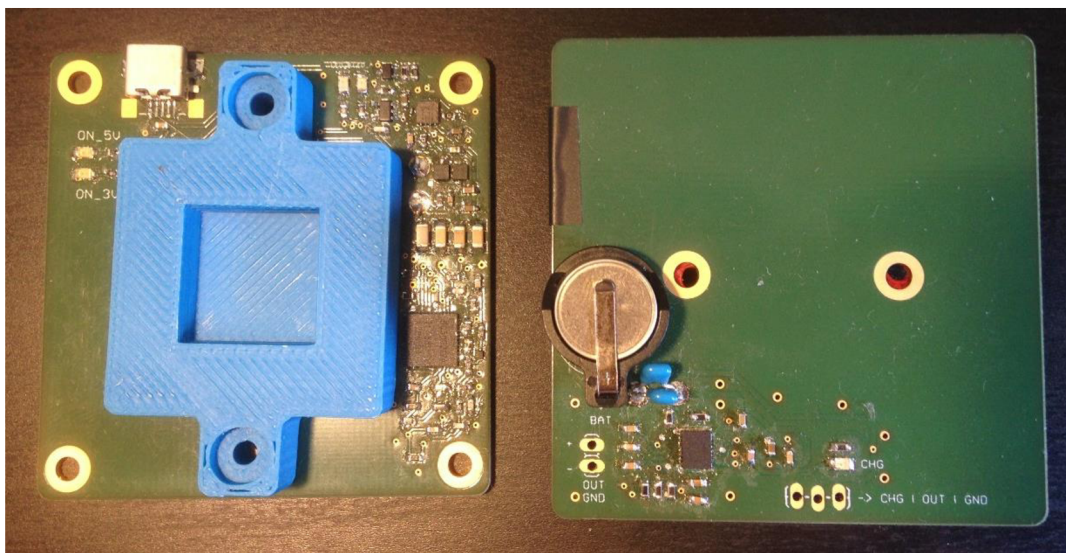
Pro první prototyp přijímací desky byla vybrána cívka 760308101303 od firmy

Würth Elektronik o průměru 26,3 mm. Tato cívka bohužel neměla vhodné parametry a v době jejího objednání neměl výrobce jinou cívku tohoto rozměru v nabídce. Po jejím otestování se ověřilo, že v kombinaci s přijímací deskou založenou na referenčním návrhu TIDA-00329 není tato cívka schopná souvislého přenosu energie. Při pozdějším hledání se v nabídce výrobce nově objevila cívka 760308101217 s vhodnějšími parametry a po jejím obdržení a otestování byla plně ověřena funkčnost vyrobené přijímací desky bezdrátového nabíjení.

### 3.4 Vyhodnocení prototypu bezdrátového nabíjení

Jak již z předchozího textu vyplývá, postup práce byl následující. Pro tuto diplomovou práci bylo jednou z hlavních myšlenek navrhnout nositelné zařízení, které bude možné nabíjet bezdrátově. Avšak po průzkumu trhu v oblasti bezdrátového nabíjení bylo zjištěno, že pro malé elektrické proudy, cívky malých rozměrů a zapojení mimo standard Qi neexistuje mnoho ověřených zapojení a proto byla zvolena cesta otestování bezdrátového nabíjení na samostatném prototypu (3D model prototypu na obr. 29).

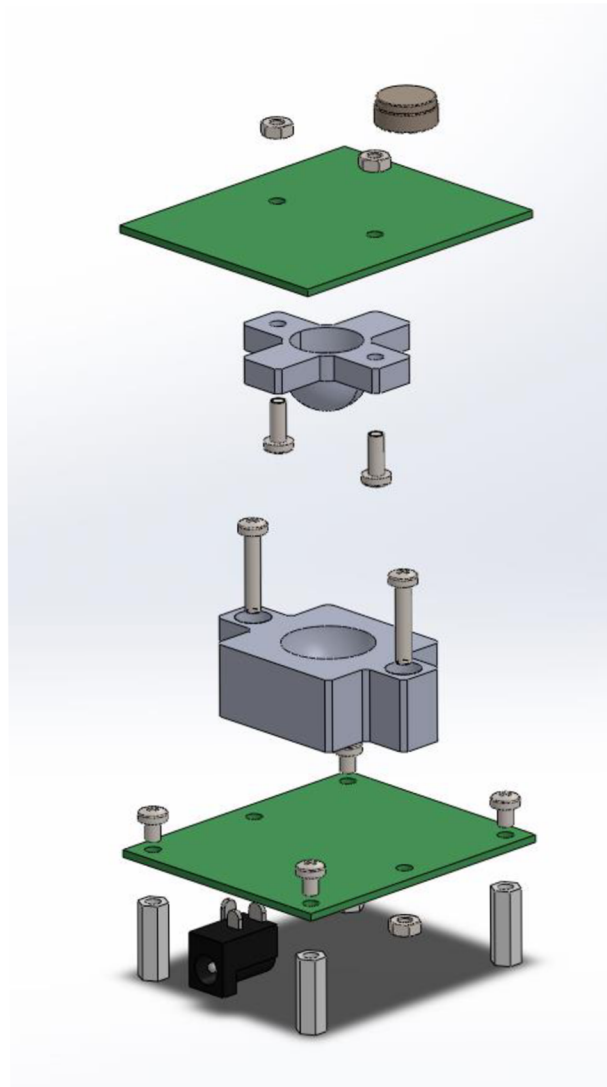
Po návrhu, výrobě a osazení obou desek prototypu bezdrátového nabíjení bylo při jeho testování nemožné dosáhnout nepřerušovaného přenosu elektrické energie. Pro návrh hlavního zařízení diplomové práce byl tedy z časových důvodů změněn typ nabíjení na drátový.



Obr. 28: Hotový prototyp bezdrátového nabíjení

Při pozdějším hledání v době výroby desek hlavního zařízení diplomové práce byly objeveny v nabídce firmy Würth Elektronik nově zařazené cívky jak pro přijímací, tak i vysílací stranu. Tyto cívky disponují lepšími parametry pro dvojici referenčních návrhů použitých v této práci a po jejich objednání a otestování byla úspěšně otestována

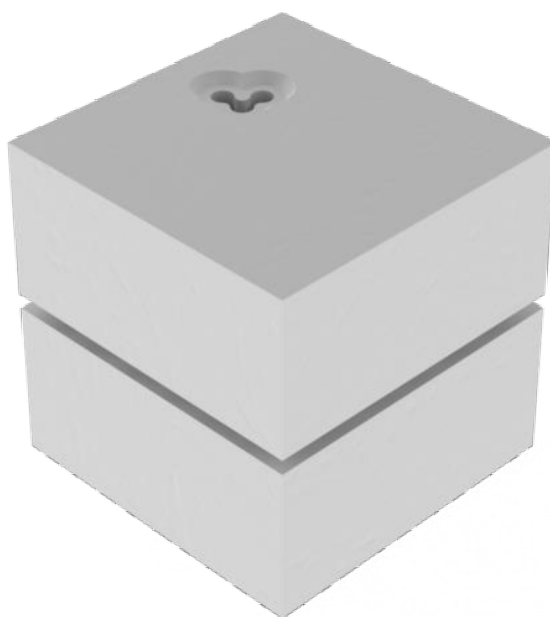
funkčnost prototypu bezdrátového nabíjení (hotové desky na obr. 28). Druhá generace hlavního zařízení této diplomové práce tedy již bude v sobě obsahovat přijímací stranu otestovanou v prototypu bezdrátového nabíjení.



Obr. 29: 3D model prototypu bezdrátového nabíjení

## 4 NOSITELNÉ ZAŘÍZENÍ SUGARCUBE

V této kapitole jsou vysvětleny základní funkce navrženého nositelného zařízení SugarCube a uveden postup jeho návrhu z hardwarové a softwarové stránky. Pracovní název SugarCube vznikl na základě velké podobnosti s kostkou cukru. Tato podobnost je způsobena jak zvolenou bílou barvou krabičky vytištěné na 3D tiskárně, tak i tvarem krychle o hraně 17 mm (ukázka na obr. 30).



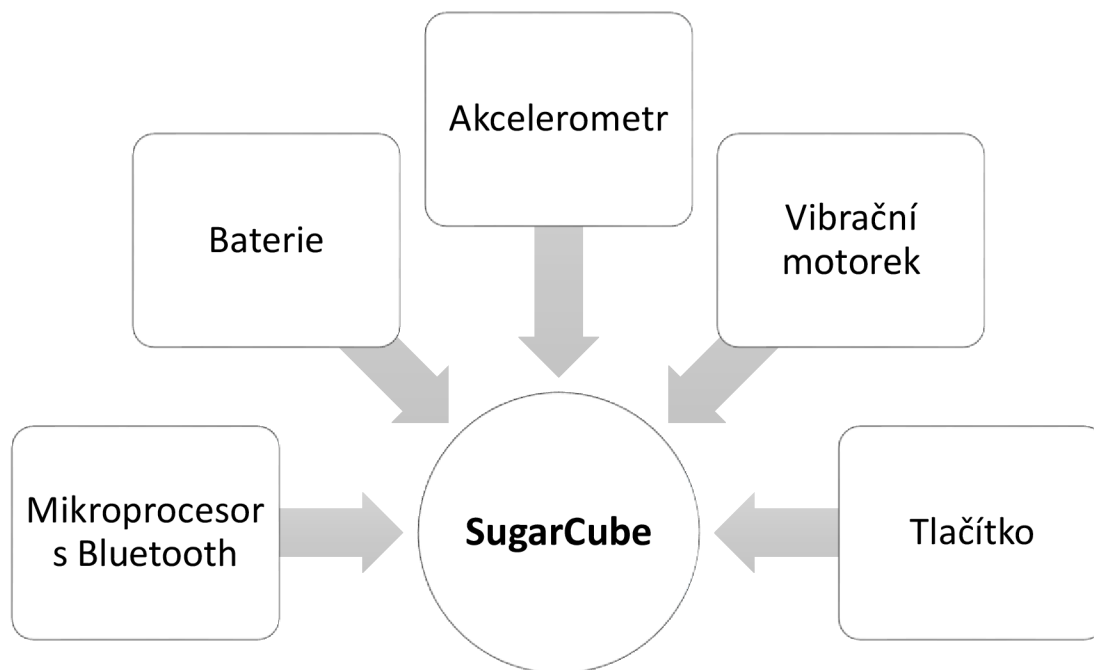
Obr. 30: 3D model nositelného zařízení SugarCube

### 4.1 Uživatelské funkce zařízení SugarCube

Nositelné zařízení SugarCube navržené v rámci této diplomové práce má dvě hlavní uživatelské funkce. První funkcí je využití přítomného akcelerometru pro sledování pohybu uživatele a detekce jeho chůze, respektive počtu kroků. Tato funkce je implementována přímo do nositelného zařízení a při spojení s mobilním telefonem či tabletem se přenáší už jen informace o počtu kroků od poslední synchronizace.

Druhou funkcí zařízení SugarCube je využití mechanického tlačítka jako dálkové spouště pro fotoaparát na připojeném mobilním telefonu či tabletu. Aplikace na mobilním zařízení obsahuje jednu obrazovku, na které se promítá obraz z přední kamery mobilního zařízení a při stisku tlačítka na zařízení SugarCube se uloží obraz snímáný přední kamerou do paměti mobilního telefonu. Tato funkce je tedy vhodná pro focení skupinových fotografií či zamezení rozmazání výsledné fotografie.

Jako zpětná vazba pro uživatele zařízení SugarCube byl využit miniaturní vibrační motorek, díky kterému uživatel dostává potvrzení o správně detekovaném stisku mechanického tlačítka. Blokové schéma zařízení SugarCube je uvedeno na obr. 31.



Obr. 31: Blokové schéma zařízení SugarCube

## 4.2 Návrh hardware pro zařízení SugarCube

Pro návrh desky plošných spojů byl použit program Eagle 6.5.0 od firmy CadSoft. Veškeré podklady, tedy schémata a desky plošných spojů, jsou přiloženy v příloze této práce.

Pro dosažení nejmenší možné velikosti výsledné desky plošných spojů byla zvolena čtyřvrstvá deska a osazení součástek po obou stranách výsledné desky. Díky tomuto návrhu bylo možné dosáhnout výsledné desky plošných spojů ve tvaru kruhu o průměru 12,7 mm. Pro rozvedení signálových spojů byly využity majoritně vnější strany desky, tedy první vrstva TOP a čtvrtá vrstva BOTTOM. Druhá signálová vrstva LAYER2 slouží pro rozvedení zemnicí vrstvy GND a třetí signálová vrstva LAYER3 slouží pro rozvedení hlavní větve napájení o velikosti 1,8 V. V průběhu návrhu spojů na desce ale bylo nutné kvůli omezenému množství volného místa na signálových vrstvách vést několik signálových spojů i po vnitřních vrstvách desky plošných spojů.



Obr. 32: Vyrobená a osazená deska SugarCube

Co se týká rozmístění důležitých součástek, tak na první vrstvě TOP bylo umístěno mechanické tlačítko, akcelerometr, napěťový regulátor a tranzistor určený pro řízení vibračního motorku. Na této signálové vrstvě se také nachází dvě plošky pro resetování mikroprocesoru a čtyři testovací body, z nichž dva slouží pro naprogramování mikroprocesoru a další dva pro komunikaci po sériové lince pro usnadnění procesu vývoje. Na čtvrté signálové vrstvě BOTTOM se nachází nejdůležitější součástka desky, tedy mikroprocesor společně s čipovou anténou. Právě pro čipovou anténu bylo nutné v prostoru mezi anténou a mikroprocesorem vymezit prostor 3x3 mm pro její optimální funkci. V tomto prostoru napříč všemi vrstvami není veden žádný signál a také tento prostor neobsahuje žádnou měď. Toto návrhové pravidlo udává výrobce antény ve svém aplikačním listu [36].

Při návrhu desky plošných spojů pro zařízení SugarCube bylo nutné z důvodu její velikosti využít pokovené otvory vrtané 0,1 mm vrtákem a v několika případech také šířky cesty 0,1 mm. Díky těmto velmi jemným rozměrům bylo obtížné vybrat vhodného výrobce zařízení, kterým se nakonec stala firma JabloPCB. Této firmě byly zaslány výrobní podklady z programu Eagle a objednána kompletní výroba dvou kusů zařízení, tedy vyrobení desek plošných spojů, jejich osazení a otestování. Po třech týdnech hotové desky dorazily, bylo provedeno nahrání programu a zahájila se fáze programování software a jeho testování (fotografie hotové desky na obr. 32).

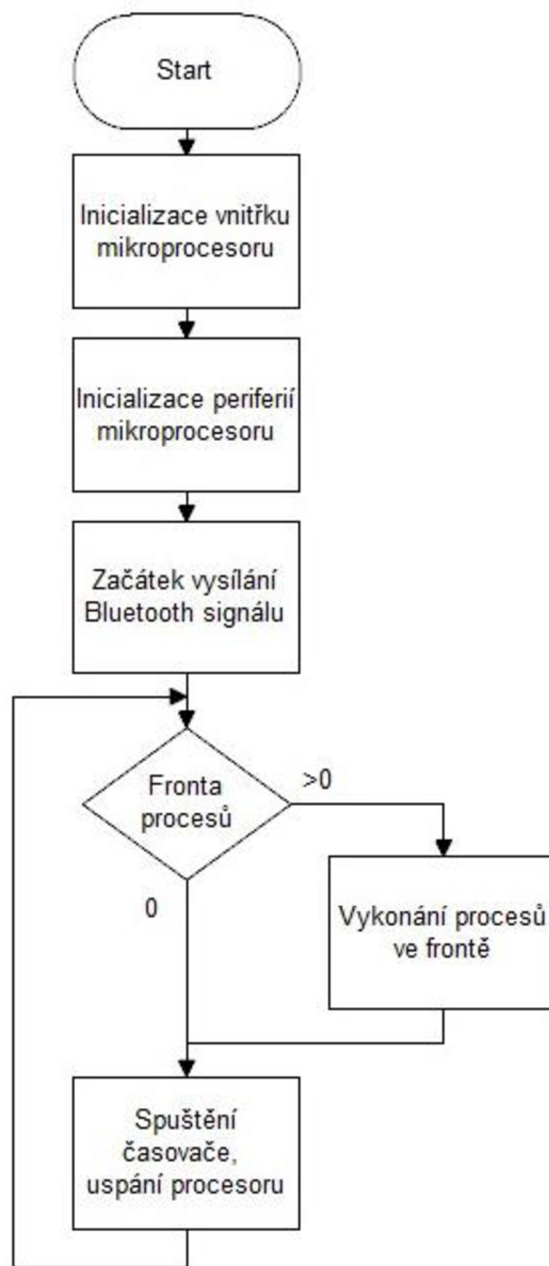
### 4.3 Návrh software pro zařízení SugarCube

Pro návrh obslužného software pro mikroprocesor zařízení SugarCube byl použit program Keil  $\mu$ Vision5. Vývoj tohoto software probíhal na pracovišti začínající firmy Saphirio s využitím již existujícího funkčního základu pro použitý mikroprocesor. Vývojový diagram je uveden na obr. 33. Některé jeho části jsou pro zjednodušení a přehlednost vynechány.

Po připojení napájení proběhne jako první inicializace veškerých součástí mikroprocesoru, jako jsou vstupy a výstupy, časovače, sběrnice I2C pro komunikaci s akcelerometrem a další. Dále proběhne inicializace bezdrátové komunikace Bluetooth a po jejím úspěšném dokončení začne zařízení vysílat do svého okolí signál pro umožnění komunikace. A následně program zůstane v nekonečné smyčce, kde se pokaždé pomocí správce aktivit (scheduleru) zkontroluje, jestli ve frontě aktivit nečeká nějaká naplánovaná aktivita. V případě, že se ve frontě nachází nějaké aktivity, tak se tyto provedou a po vyprázdnění fronty procesor nastaví časovač pro probuzení a uvede se do stavu spánku. Ze stavu spánku se pak mikroprocesor může dostat příchodem přerušení, které může nastat ze dvou důvodů. Prvním důvodem může být přerušení způsobené stiskem tlačítka nebo detekcí pohybu díky přerušení od akcelerometru. Druhým důvodem je pak přerušení od zmíněného časovače, který byl nastaven před uvedením do stavu spánku.

Mezi aktivity, které mohou nastat, se řadí například stisknutí tlačítka a jeho obsluha, příchod dat od akcelerometru, vyžádání dat mobilní aplikací skrze bezdrátovou komunikaci Bluetooth či detekce stavu baterie. Pro účely zjednodušeného programování v testovací fázi byly také přidány aktivity sloužící pro komunikaci s počítačem skrze sériovou linku. Pokud je tedy nastaven testovací (anglicky Debug) mód, všechny informace o mikroprocesoru a jeho aktivitách jsou pravidelně zasílány do počítače právě skrze sériovou linku.





Obr. 33: Vývojový diagram obslužného software

Jak již bylo zmíněno v předchozím textu, pro urychlení vývoje obslužného software zařízení SugarCube byly využity již existující knihovny výrobce mikroprocesoru Nordic Semiconductor a také některé knihovny a části kódu patřící začínající firmě Saphirio.

Pro zjednodušení práce s bezdrátovým modulem Bluetooth, který je integrován v použitém mikroprocesoru, nabízí výrobce Nordic Semiconductor datový blok, který nazývá SoftDevice. Pro tento projekt byl využit SoftDevice S100 ve verzi 7.0, který je volně dostupný na stránkách výrobce [37]. Hlavní výhodou použití bloku SoftDevice je zjednodušení práce s Bluetooth připojením, kdy tento blok zprostředkovává

a zjednodušuje komunikaci mezi Bluetooth modulem a vlastním kódem aplikace. Jeho další výhodou je také funkce nazvaná OTA-DFU (Over-The-Air Device Firmware Upgrade, česky Aktualizace obslužného programu vzduchem), která nám umožňuje nahrát novou verzi vlastního obslužného programu přes bezdrátové připojení Bluetooth. Pokud totiž uživatel do svého obslužného programu zakomponuje možnost pro přepnutí do zmíněného módu OTA-DFU, může už hotové zařízení jednoduše aktualizovat na novější verzi bez nutnosti ho rozebírat.



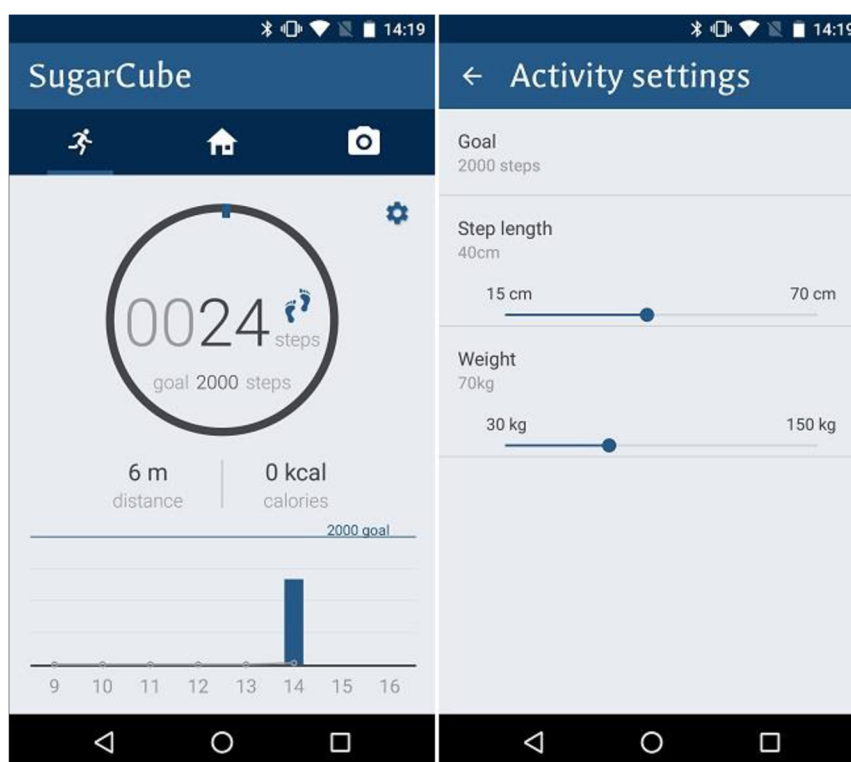
Obr. 34: Programátor Segger J-Link EDU [38]

Pro naprogramování vyrobeného zařízení SugarCube je nutné nahrát do paměti mikroprocesoru dva soubory. Jako první soubor je nutné nahrát zmíněný SoftDevice a druhým souborem je vlastní obslužný program. Obslužný program je potřebné vygenerovat z vývojového prostředí Keil  $\mu$ Vision5, kdy výsledný program dostaneme v souboru s příponou \*.hex. Pro nahrání obou souborů lze využít volně dostupný program nRFgo Studio od výrobce Nordic Semiconductor [39]. Jako programátor byl použit Segger J-Link EDU (na obr. 34), jelikož je podporován jak vývojovým prostředím Keil  $\mu$ Vision5, tak i programem nRFgo Studio [38].

#### 4.4 Návrh mobilní aplikace pro zařízení SugarCube

Pro návrh mobilní aplikace pro operační systém Android bylo použito vývojové prostředí Android Studio. Vývoj této aplikace probíhal na pracovišti začínající firmy Saphirio s využitím funkčního základu pro použitý mikroprocesor.

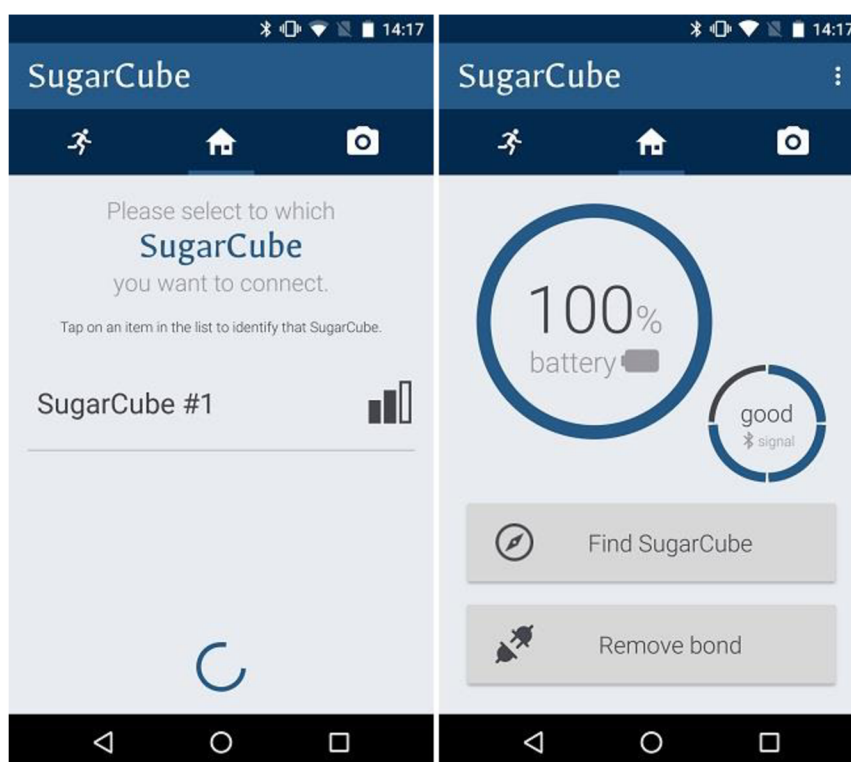
Operační systém Android byl vybrán ze dvou hlavních důvodů. Prvním důvodem je jednodušší práce s bezdrátovým rozhraním Bluetooth v systému Android a druhým důvodem možnost využití funkčního základu od firmy Saphirio.



Obr. 35: Obsah první obrazovky mobilní aplikace pro SugarCube

Mobilní aplikace pro zařízení SugarCube byla rozvržena do tří samostatných obrazovek. První obrazovka (ukázka na obr. 35) obsahuje ukazatel kroků společně s jednoduchým přepočtem na ušlou vzdálenost a spotřebované kalorie. Tyto dva údaje jsou vypočteny po zadání délky kroku a váhy uživatele v nastavení, do kterého se lze dostat po stisku ozubeného kolečka v pravém horním rohu aplikace. V tomto menu lze také nastavit denní cíl, kterým je minimální hranice nachozených kroků. Jako poslední se na spodku aplikace nachází graf s rozložením naměřených kroků do jednotlivých hodin, kdy byly synchronizovány.

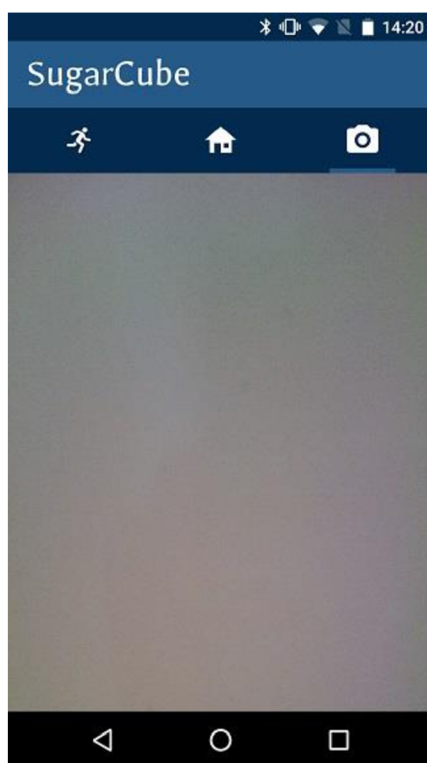
Druhá obrazovka aplikace (ukázka na obr. 36) může nabývat dvou stavů. Při prvním spuštění, kdy není spárováno žádné zařízení, obsahuje obrazovka výpis kompatibilních Bluetooth zařízení v okolí chytrého zařízení včetně ukazatele síly signálu. Aplikace také obsahuje funkci kontroly zapnuté funkce Bluetooth, přičemž vždy, když je při běhu aplikace funkce Bluetooth vypnuta, aplikace upozorní uživatele na nutnost zapnutí zmíněné funkce Bluetooth. Pro připojení k zařízení SugarCube tedy stačí stisknout název zvoleného SugarCube a po úspěšném připojení se obrazovka změní na druhý stav.



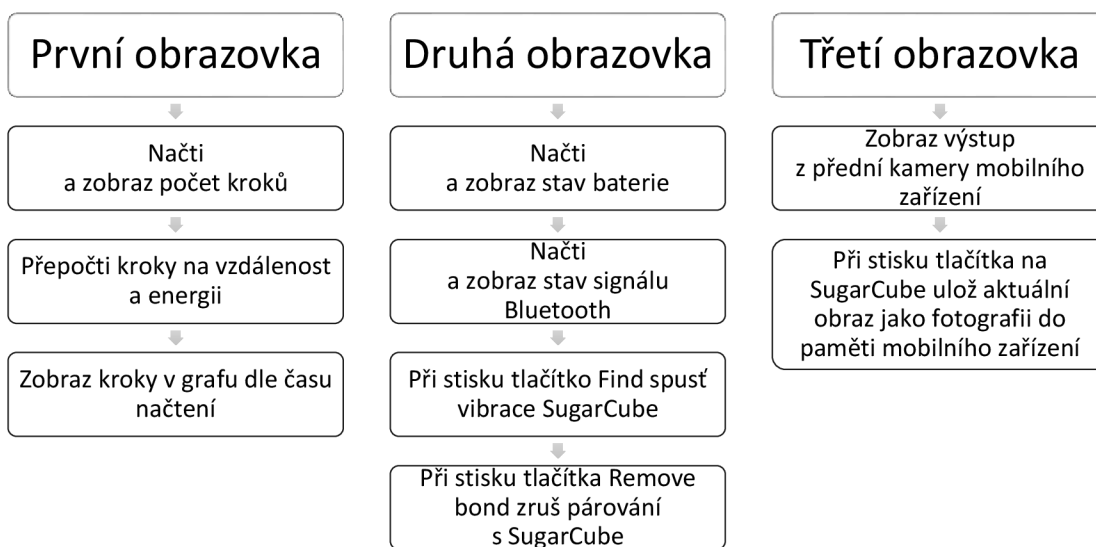
Obr. 36: Obsah druhé obrazovky mobilní aplikace pro SugarCube

Druhý stav druhé obrazovky poté obsahuje ukazatel stavu baterie společně s ukazatelem síly signálu. Dále se na obrazovce nachází tlačítko pro usnadnění nalezení zařízení SugarCube, kdy po stisku tohoto tlačítka zařízení SugarCube krátce zavibruje. Poslední tlačítkem je *Remove bond*, které slouží pro zrušení párování s aktuálním mobilním zařízením.

Na třetí obrazovce (ukázka na obr. 37) se pak nachází pouze okno se zobrazením aktuálního výstupu přední kamery mobilního zařízení. Tato obrazovka slouží pro funkci fotografování za pomoci dálkové spouště, která je tvořena tlačítkem na zařízení SugarCube. Pokud je tedy uživatel na třetí obrazovce a aktivuje dálkovou spoušť na zařízení SugarCube, aplikace vyfotí aktuální výstup přední kamery a fotografii uloží do složky s ostatními fotografiemi. Pro přehlednost je soupis všech operací na jednotlivých obrazovkách zobrazen na obr. 38.



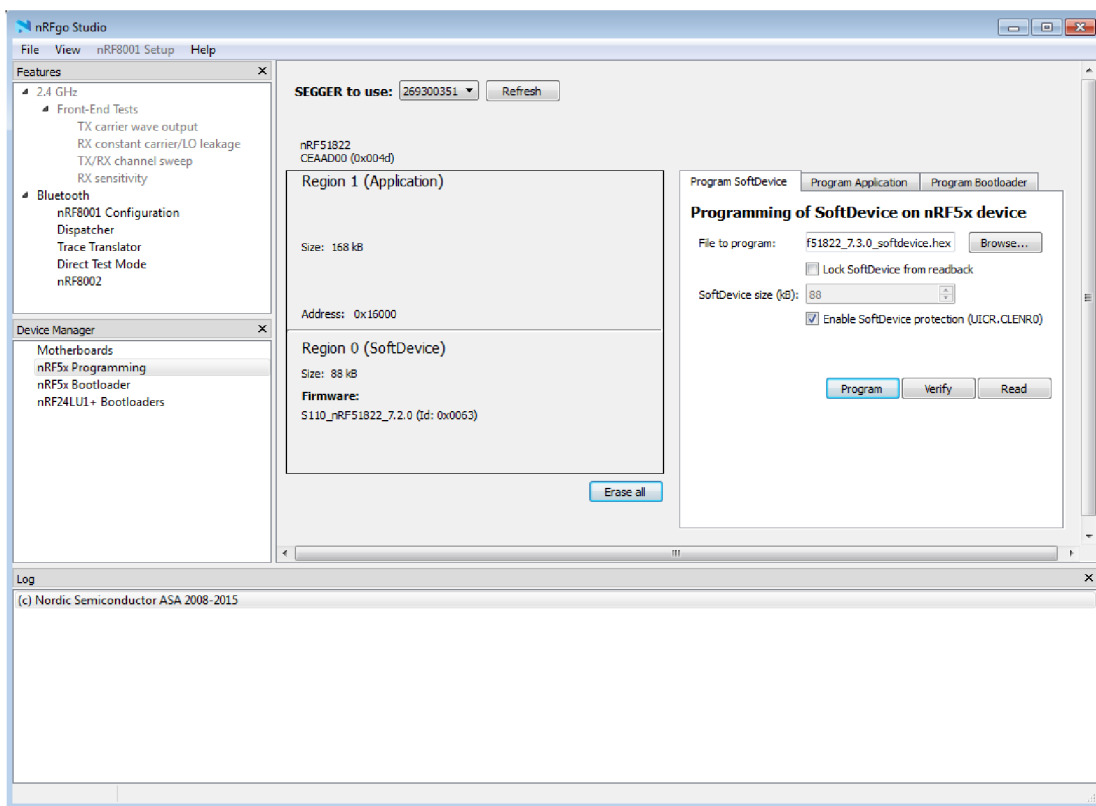
Obr. 37: Obsah třetí obrazovky mobilní aplikace pro SugarCube



Obr. 38: Popis činností obrazovek mobilní aplikace

## 4.5 Testování zařízení SugarCube

Po doručení hotové osazené desky plošných spojů zařízení SugarCube byla otestována její funkce následujícím způsobem. Jako první proběhlo připájení důležitých komponent, mezi které patří baterie, vibrační motorek a pro účely nahrání programu také dočasně propojovací vodiče, na plošky umístěné na zařízení SugarCube. Poté již bylo možné nahrání SoftDevice a vlastního programu do paměti mikroprocesoru pomocí připojeného programátoru Segger J-Link EDU. Oba zmíněné obsahy paměti se nahrávají ve formátu HEX v programu nRFgo Studio, ukázka je uvedena na obr. 39. Na tomto obrázku si lze povšimnout, že nRFgo Studio po nahrání obou souborů správně rozpoznalo úseky paměti (anglicky region) a umístilo samostatně zmíněný SoftDevice a obsah aplikační paměti.



Obr. 39: Nahrávání obsahu paměti mikroprocesoru nRFgo Studio

Po úspěšném nahrání a otestování programu bylo jako první provedeno měření síly signálu bezdrátové technologie Bluetooth. Veškeré měření bylo provedeno s chytrým mobilním telefonem LG Nexus 5 s operačním systémem Android ve verzi 6.0.1. Měření síly signálu proběhlo jak na volném prostranství, tak i uvnitř budovy. Na volném prostranství bylo dosaženo bezproblémové komunikace do vzdálenosti přibližně 20 metrů, přičemž dosažená vzdálenost se může měnit s ohledem na počet zařízení využívajících technologii Bluetooth v okolí. Při testování signálu uvnitř budovy byla otestována komunikace na vzdálenost 7 metrů v případě dvou zdí oddělujících telefon a

zařízení SugarCube, v případě jedné zdi se tato vzdálenost prodloužila na 9 metrů. Tyto naměřené údaje byly dosaženy s nastavením plného výkonu signálu Bluetooth v zařízení SugarCube, přičemž do dalších verzí programu se počítá s programovým snížením síly signálu pro účely šetření energie.

Po zkoumání konkurenčních výrobků v kategorii nositelné elektroniky bylo zjištěno mnoho způsobů, jak snížit spotřebu elektrické energie u nositelné elektroniky. Někteří výrobci se například snaží jít cestou využívání napájecích módů hlubokého spánku mikroprocesoru, kdy zde ale nastává nevýhoda delší odezvy zařízení. Tato zařízení totiž například vykonají svoji činnost a poté na určený čas kompletně uspí zařízení pro dosažení co nejmenší spotřeby. Pokud tedy chce uživatel začít komunikovat se svým nositelným zařízením, musí vyčkat až několik vteřin, než se zařízení probudí a začne reagovat na vnější podněty. U navrženého zařízení SugarCube však bylo cílem navrhnout program tak, aby byl mikroprocesor schopen vždy reagovat na okolní podněty.

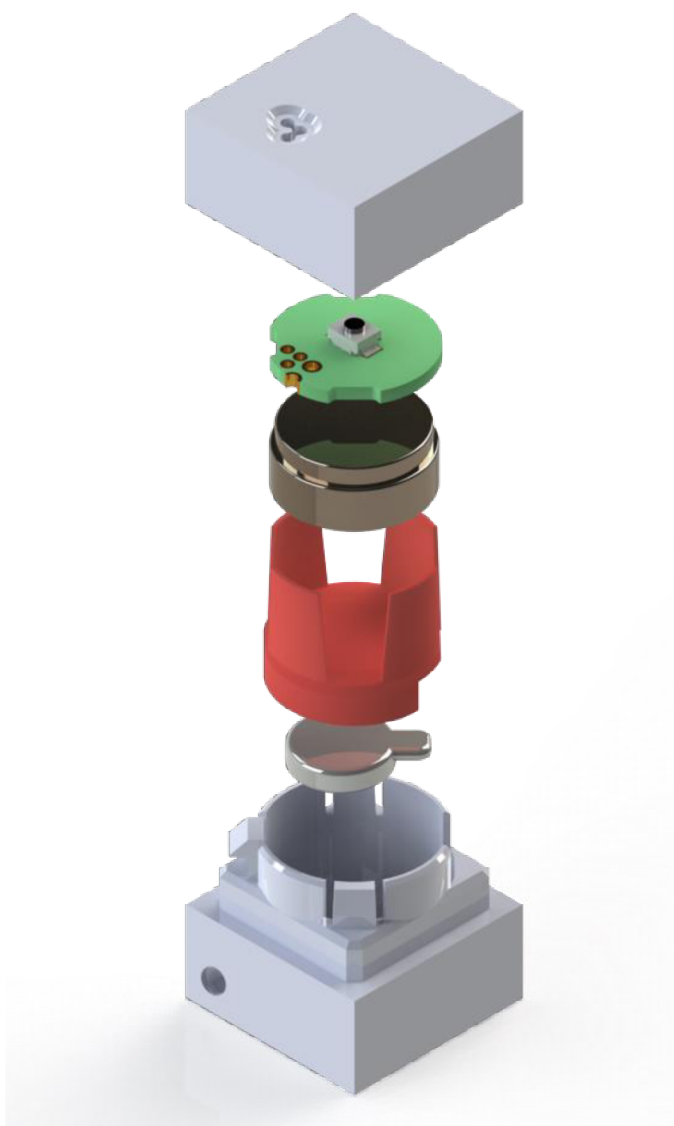
Jako další tedy bylo provedeno měření proudového odběru při různých chováních zařízení SugarCube. V případě nepřipojeného zařízení SugarCube, kdy je spotřeba zvýšená o vysílání informací do okolí pomocí technologie Bluetooth (anglicky advertising), byl naměřen proudový odběr 1 mA. Po úspěšném připojení zařízení SugarCube k mobilnímu telefonu tato hodnota klesla na hodnotu pohybující se okolo 0,75 mA. V tomto stavu se poté periodicky objevuje vždy na krátký moment zvýšený odběr proudu, který je zapříčiněn vykonáním procesů ve frontě, tedy například komunikací mikroprocesoru s akcelerometrem a následným zpracováním přijatých dat. Tato aktivita zvyšuje proudový odběr na hodnotu 1,2 mA přibližně každé 2 vteřiny a má různou dobu trvání podle délky fronty. Posledním předmětem testování proudového odběru byla aktivita při použití mechanického tlačítka, kdy stisk tlačítka provází krátké zavibrování vibračního motorku. Vibrační motorek je také využit v případě lokalizace zařízení SugarCube pomocí mobilní aplikace. Při měření proudového odběru vibrační motorku byly naměřeny proudové špičky až na hranici 65 mA, což přibližně odpovídá součtu naměřené spotřeby zařízení SugarCube a maximálnímu proudovému odběru, který udává výrobce vibračního motorku.

Všechny naměřené hodnoty jsou pro přehlednost uvedeny v tab. 3.

Tab. 3 Přehled proudového odběru při používání zařízení SugarCube

<b>Běžný provoz [mA]</b>	<b>Zpracování dat [mA]</b>	<b>Odběr při vibrování [mA]</b>	<b>Výdrž zařízení [h]</b>
0,75	1,20	65	±60

Po úspěšném otestování spotřeby zařízení SugarCube byla provedena montáž do vytisknuté krabičky. Jako první byl umístěn vibrační motorek do spodní části krabičky a na něj byla umístěna plastová přepážka. Tato přepážka slouží hlavně jako izolant mezi kovovým povrchem baterie a vibračního motorku. Do druhé části přepážky poté byla umístěna baterie a nad tuto přepážku samotná deska plošných spojů. Jako poslední krok sestavení krabičky byla spojena horní část krabičky se zbytkem osazené krabičky a tím byla dokončena montáž. Pro přehlednost je na obr. 40 uveden 3D model zobrazující obsah krabičky zařízení SugarCube.

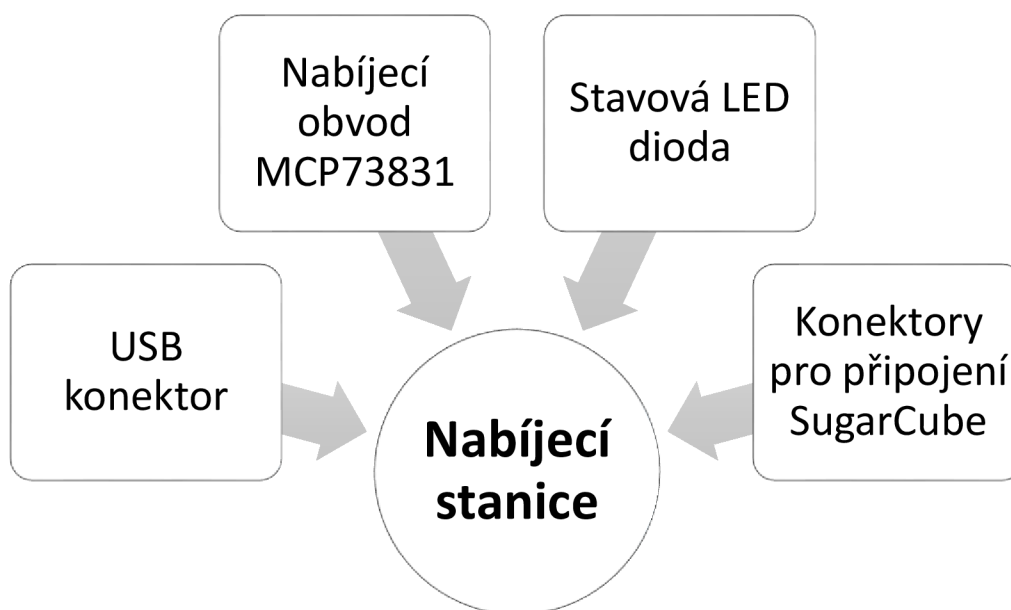


Obr. 40: 3D model obsahu krabičky zařízení SugarCube



## 5 NABÍJECÍ STANICE PRO ZAŘÍZENÍ SUGARCUBE

V této kapitole je popsán postup návrhu nabíjecí stanice pro zařízení SugarCube (blokové schéma na obr. 41). Pro návrh desky plošných spojů byl použit program Eagle 6.5.0 od firmy CadSoft. Veškeré podklady, tedy schémata a desky plošných spojů, jsou přiloženy v příloze této práce.



Obr. 41: Blokové schéma nabíjecí stanice

### 5.1 Návrh hardware pro nabíjecí stanici

Jak již bylo zmíněno v kapitole věnující se prototypu bezdrátového nabíjení, z důvodu nefunkční první verze bezdrátového nabíjení byla zvolena varianta drátového nabíjení. Pro tyto účely tedy byly na zařízení SugarCube umístěny tři zdičky na propojovací piny. První zdička je spojena s kladným pólem baterie, druhá se záporným pólem baterie a třetí je spojena se vstupním pinem mikroprocesoru. Tento pin má za úkol detekovat přítomnost zařízení SugarCube v nabíječce a po dokončení nabíjení upozornit uživatele pomocí mobilní aplikace na tuto skutečnost.

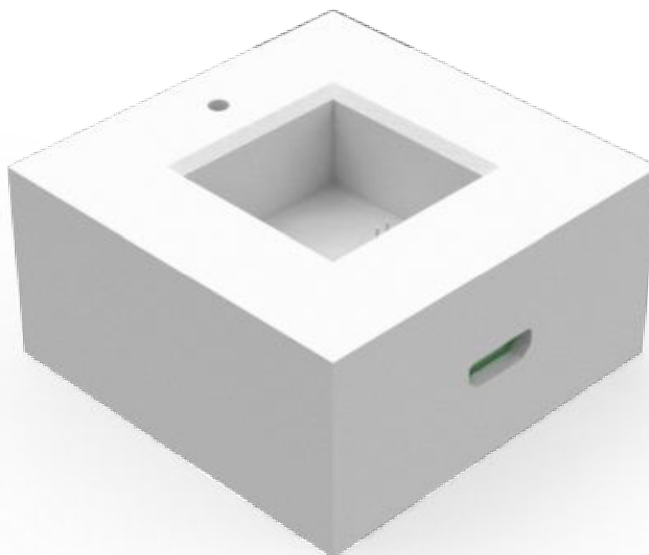
Pro zjednodušení návrhu desky plošných spojů byl zvolen integrovaný obvod MCP73831 od firmy Microchip. Tento obvod obsahuje vše nutné pro správné a jednoduché nabíjení baterií o napětí 3,7 V. Jeho další výhodou je také minimum dalších

součástek, kdy výrobce doporučuje pouze jeden kondenzátor na vstupní napájení, druhý kondenzátor na výstupní napájení a třetí součástkou je odpor, který nastavuje velikost výstupního proudu. Velikost tohoto odporu se vypočítá ze vztahu, který uvádí výrobce obvodu. [40]

$$R_{\text{prog}} (\text{k}\Omega) = \frac{1000(\text{V})}{I_{\text{reg}}(\text{mA})}$$

V tomto případě, kdy je možné zvolenou baterii nabíjet proudem o velikosti 50 mA, vyšel výsledný odpor  $R_{\text{prog}} = 20 \text{ k}\Omega$ . Dále se na desce plošných spojů nachází ještě odpor pro nastavení proudu LED diodou a plošky pro její připájení. LED dioda slouží jako signalizace procesu nabíjení, přičemž je připojena na výstupní pin integrovaného obvodu MCP73831, který je přítomen přesně pro tento účel. Poslední důležitou součástkou na desce plošných spojů je MicroUSB konektor, který slouží pro připojení napájení celé nabíjecí stanice.

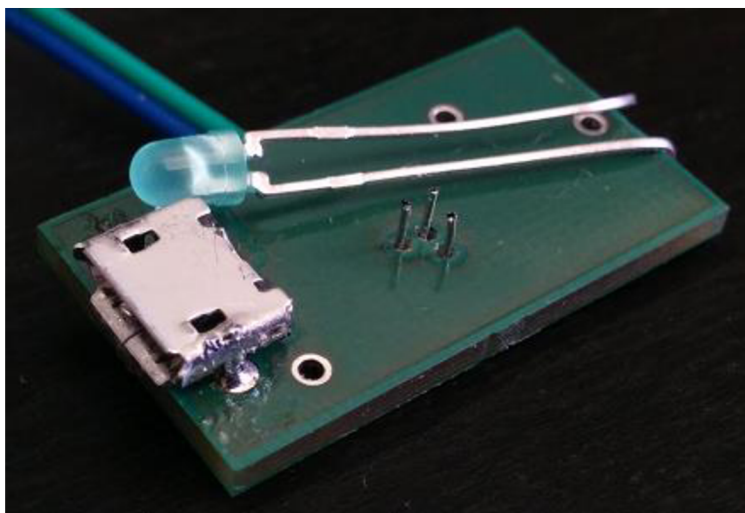
Vzhledem k jednoduchosti výsledného schématu byla zvolena dvouvrstvá deska plošných spojů, která byla vyrobena v rámci POOL služby firmy Gatema a následně ručně osazena. Navržená deska plošných spojů má celkově rozměry 27x15 mm. Pro propojovací piny se zařízením SugarCube jsou na desce přítomny tři otvory společně s ploškami mědi pro snadné připájení.



Obr. 42: 3D model nabíjecí stanice

Krabička pro nabíjecí stanici byla vyrobena na 3D tiskárně jako prototyp a obsahuje speciálně navržený otvor, který velikostně odpovídá zařízení SugarCube a zamezuje špatné orientaci pinů nabíjecí stanice a zdiřek umístěných uvnitř zařízení SugarCube. Její 3D model je na obr. 42.

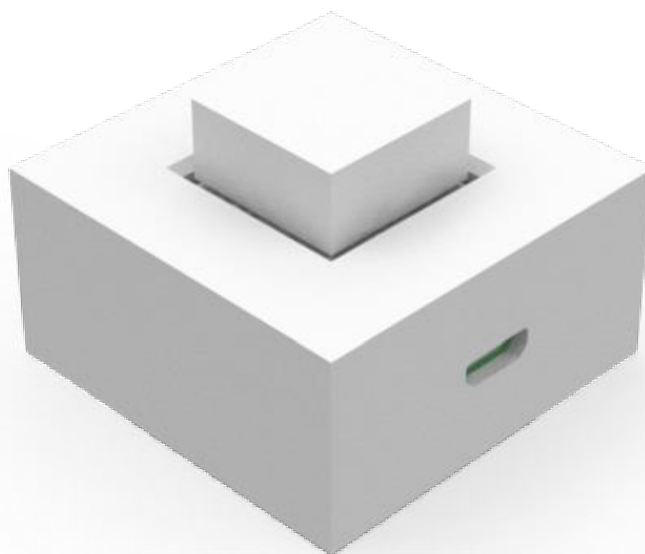
Jediným problémem vzniklým při kompletaci nabíjecí stanice se stala nedostupnost propojovacích pinů, kdy výrobce nebyl schopen dodat vybrané piny do termínu dokončení této diplomové práce. Pro účely testování vyrobené nabíjecí stanice tedy byly použity ručně vyrobené propojovací piny (ukázka na obr. 43).



Obr. 43: Fotografie desky plošných spojů pro nabíjecí stanici

## ZÁVĚR

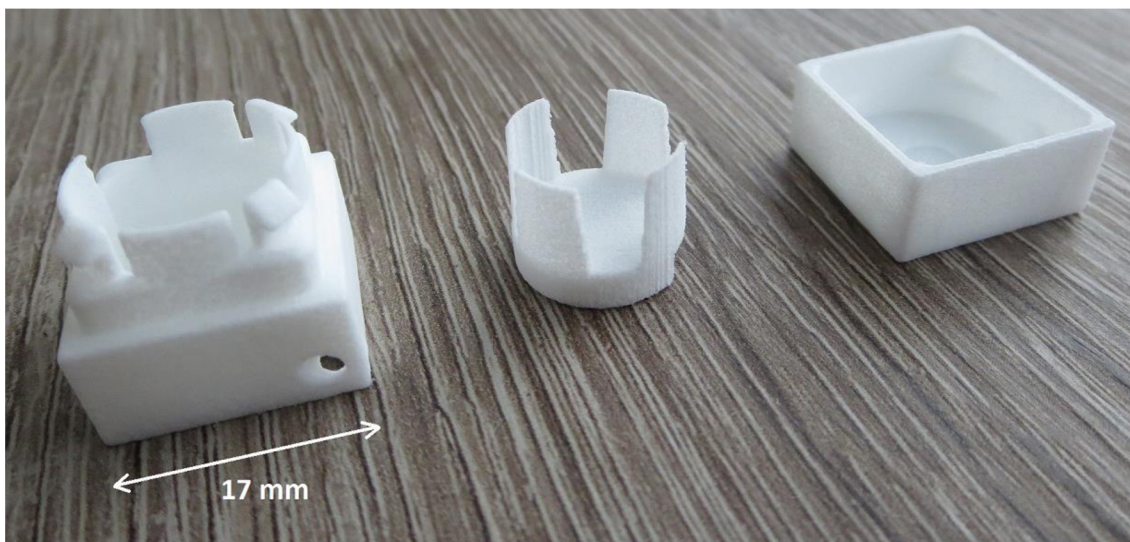
Výsledkem této diplomové práce je nositelné zařízení nazvané SugarCube, které umožňuje dálkové ovládání libovolného zařízení se systémem Android. Zařízení vzniklo ve spolupráci se začínající firmou Saphirio. Toto zařízení využívá pro vstup informací od uživatele mechanické tlačítko a akcelerometr. Pro přímou zpětnou vazbu s uživatelem je použit vibrační motorek a pro komunikaci s chytrými mobilními zařízeními byl vybrán mikroprocesor podporující bezdrátovou technologii Bluetooth. Zařízení SugarCube je tedy schopno zaznamenávat pohyby uživatele pomocí akcelerometru a ukládat tyto informace ve formě ušlých kroků a dále zaznamenávat stisknutí tlačítka. Tlačítko bylo v rámci této práce pro demonstraci použito jako dálková spoušť fotoaparátu umístěného na přední části chytrého zařízení. Pokud je tedy zařízení SugarCube připojeno pomocí technologie Bluetooth s chytrým mobilním zařízením (telefonem či tabletem), které má nainstalovanou aplikaci SugarCube, může uživatel na příslušné obrazovce aplikace použít tlačítko na zařízení SugarCube jako dálkovou spoušť. Druhá obrazovka mobilní aplikace obsahuje souhrn ušlých kroků a poslední obrazovka aplikace slouží pro zobrazení informací o stavu baterie zařízení SugarCube, síle signálu Bluetooth spojení a také obsahuje tlačítko sloužící ke krátkému spuštění vibrací zařízení. Tato funkce slouží pro jednoduchou lokalizaci zařízení SugarCube v okolí uživatele.



Obr. 44: 3D model zařízení SugarCube v nabíjecí stanici

Součástí nositelného zařízení SugarCube je také vyrobená nabíjecí stanice, která obsahuje speciálně navržený otvor, který slouží ke správnému vložení zařízení SugarCube. Propojení mezi zařízením a nabíjecí stanicí pak probíhá pomocí tří

propojovacích pinů, které jsou umístěny mimo osu zařízení právě tak, aby nemohlo dojít ke špatnému propojení a tím k možnému zničení zařízení. Krabičky pro zařízení SugarCube a nabíjecí stanici byly navrženy v 3D modelovacím software a vyrobeny na 3D tiskárně (ukázka 3D modelů na obr. 44, fotografie reálného zařízení na obr. 45).



Obr. 45: Fotografie zařízení SugarCube

Při testování zařízení bylo provedeno kontrolní měření a průměrný odběr proudu se pohybuje okolo 0,75 mA. Při běžném používání zařízení SugarCube je tedy možné dosáhnout s aktuální baterií o kapacitě 50 mAh doby provozu okolo 60 h, tedy 2-3 dnů, avšak tuto dobu bude možné ještě prodloužit po provedení optimalizací v obslužném programu mikroprocesoru.

# LITERATURA

1. Robertson, Rhiannon. *The Ultimate Guide to Wearable Technology 2014* [online]. 16. 09. 2014 [cit. 2015-10-31]. Dostupné z: <http://www.unionroom.com/2014-guide-wearable-technology/>
2. Powell, Will. *Wearables are perfect for the enterprise* [online]. 2015 [cit. 2015-10-31]. Dostupné z: <http://betanews.com/2015/03/09/wearables-are-perfect-for-the-enterprise/>
3. Tech News. *Apple Orders More S1 Chips For Apple Watch While Google Glass Go For Intel* [online]. 2014 [cit. 2015-10-31]. Dostupné z: <https://newstechnews.com/apple-orders-more-s1-chips-for-apple-watch-while-google-glass-go-for-intel/>
4. Tehrani, Kiana; Andrew, Michael. *Wearable Technology and Wearable Devices: Everything You Need to Know* [online]. 26. 03. 2014 [cit. 2015-10-31]. Dostupné z: <http://www.wearabledevices.com/what-is-a-wearable-device/>
5. Kuang, Cliff. *How Wired designed the ultimate smartwatch* [online]. 2014 [cit. 2015-10-31]. Dostupné z: <http://www.wired.com/2014/01/how-we-designed-the-smart-watch-of-our-dreams/>
6. Stevens, Tim. *Universal Display ships eight wrist-worn OLED displays to military* [online]. 2010 [cit. 2015-11-01]. Dostupné z: <http://www.engadget.com/2010/10/07/universal-display-ships-eight-wrist-worn-oled-displays-to-milita/>
7. Jawbone. *UP Move* [online]. 2015 [cit. 2015-11-01]. Dostupné z: <https://jawbone.com/store/buy/upmove>
8. Xiaomi. *Mi Band* [online]. 2015 [cit. 2015-11-01]. Dostupné z: <http://www.mi.com/en/miband/>
9. CZC.cz. *Velký průvodce: Fenomén zvaný nositelná elektronika* [online]. 04. 08. 2015 [cit. 2015-11-01]. Dostupné z: <http://www.czc.cz/velky-pruvodce-fenomen-zvany-nositelna-elektronika/clanek>
10. Apple. *Watch* [online]. 2015 [cit. 2015-11-01]. Dostupné z: <http://www.apple.com/watch/>
11. Cookoo. *Cookoo watch 2* [online]. 2014 [cit. 2015-11-01]. Dostupné z: <http://www.cookoo2.com>

12. Hernandez, Damon. *Head Mounted Displays and Augmented Reality Headgear* [online]. 2015 [cit. 2015-11-08]. Dostupné z: <http://damonhernandez.blogspot.cz/2015/01/head-mounted-displays-and-augmented.html>
13. Nosta, John. *Forbes: Google Glass Meets Prescription Lenses* [online]. 2014 [cit. 2015-11-01]. Dostupné z: <http://www.forbes.com/sites/johnnosta/2014/01/05/google-glass-meets-prescription-lenses-something-every-geek-will-love/>
14. Vitalconnect. *HealthPatch MD* [online]. 2015 [cit. 2015-11-02]. Dostupné z: <http://www.vitalconnect.com/healthpatch-md>
15. Vincent, James. *Google contact lenses* [online]. 2014 [cit. 2015-11-02]. Dostupné z: <http://www.independent.co.uk/life-style/gadgets-and-tech/google-licenses-smart-contact-lens-technology-to-help-diabetics-and-glasses-wearers-9607368.html>
16. *Heddoko* [online]. 2015 [cit. 2015-11-02]. Dostupné z: <http://www.heddoko.com>
17. *Sensoria Fitness* [online]. 2016 [cit. 2016-05-20]. Dostupné z: <http://www.sensoriafitness.com/>
18. MATOUŠEK, D. *Práce s mikrokontroléry ATMEL AT89C2051 - 1. díl - edice uP a praxe*. Praha: BEN - technická literatura, 2002. ISBN 80-7300-094-6.
19. Nordic Semiconductor. *nRF51822* [online]. 2014 [cit. 2015-11-03]. Dostupné z: <https://www.nordicsemi.com/eng/Products/Bluetooth-Smart-Bluetooth-low-energy/nRF51822>
20. ARM. *Cortex-M Series* [online]. 2015 [cit. 2015-11-04]. Dostupné z: <http://www.arm.com/products/processors/cortex-m/>
21. STMicroelectronics. *STM32 MCU Nucleo* [online]. 2015 [cit. 2015-11-04]. Dostupné z: [www.st.com/stm32nucleo](http://www.st.com/stm32nucleo)
22. RIPKA, P. et al. *Senzory a převodníky*. Praha: ČVUT, 2005. ISBN: 80-01-03123-3.
23. Texas Instruments. *TMP275* [online]. 2015 [cit. 2015-11-04]. Dostupné z: <http://www.ti.com/product/TMP275/>
24. Kionix. *KXCNL-1010* [online]. 2015 [cit. 2015-11-05]. Dostupné z: <http://www.kionix.com/product/KXCNL-1010>

25. Texas Instruments. *CC2564* [online]. 2014 [cit. 2015-11-05]. Dostupné z: <http://www.ti.com/product/CC2564/description>
26. Texas Instruments. *TLV702* [online]. 2015 [cit. 2015-11-05]. Dostupné z: <http://www.ti.com/product/TLV702/description>
27. Würth Elektronik. *760308101103* [online]. 2014 [cit. 2015-11-05]. Dostupné z: <http://katalog.we-online.de/pbs/datasheet/760308101103.pdf>
28. Texas Instruments. *BQ500212A* [online]. 2014 [cit. 2015-11-05]. Dostupné z: <http://www.ti.com/product/bq500212a>
29. Würth Elektronik. *760308101303* [online]. 2014 [cit. 2015-11-05]. Dostupné z: <http://katalog.we-online.de/pbs/datasheet/760308101303.pdf>
30. Texas Instruments. *BQ51050B* [online]. 2015 [cit. 2015-11-05]. Dostupné z: <http://www.ti.com/product/BQ51050B/description>
31. Varta. *Data Sheet – CP 1254 A2* [online]. 2016 [cit. 2016-05-10]. Dostupné z: [http://www.varta-microbattery.com/applications/mb\\_data/documents/data\\_sheets/DS63125.pdf](http://www.varta-microbattery.com/applications/mb_data/documents/data_sheets/DS63125.pdf)
32. Precision Microdrives. *8MM VIBRATION MOTOR - 2MM TYPE* [online]. 2016 [cit. 2016-05-10]. Dostupné z: <https://www.precisionmicrodrives.com/product/308-107-8mm-vibration-motor-2mm-type>
33. Wireless Power Consortium. *Wireless Power specification* [online]. 2016 [cit. 2016-05-09]. Dostupné z: <https://www.wirelesspowerconsortium.com/downloads/wireless-power-specification-part-1.html>
34. Texas Instruments. *Low Power Wearable TX Reference Design* [online]. 2016 [cit. 2016-05-09]. Dostupné z: <http://www.ti.com/tool/TIDA-00415>
35. Texas Instruments. *Tiny Wireless Receiver for Low Power* [online]. 2016 [cit. 2016-05-10]. Dostupné z: <http://www.ti.com/tool/TIDA-00329>
36. Johanson Technology. *2450AT18D0100* [online]. 2015 [cit. 2015-12-14]. Dostupné z: <http://www.johansontechnology.com/datasheets/antennas/2450AT18D0100.pdf>
37. Nordic Semiconductor. *S110 SoftDevice v7.0* [online]. 2016 [cit. 2016-05-10]. Dostupné z: <https://www.nordicsemi.com/eng/Products/S110-SoftDevice-v7.0>
38. Segger. *J-Link EDU* [online]. 2016 [cit. 2016-05-10]. Dostupné z: <https://www.segger.com/j-link-edu.html>



39. Nordic Semiconductor. *nRFgo Studio* [online]. 2016 [cit. 2016-05-10]. Dostupné z: [https://www.nordicsemi.com/chi/node\\_176/2.4GHz-RF/nRFgo-Studio](https://www.nordicsemi.com/chi/node_176/2.4GHz-RF/nRFgo-Studio)
40. Microchip. *MCP73831* [online]. 2016 [cit. 2016-05-10]. Dostupné z: <http://www.microchip.com/wwwproducts/en/en024903>

# SEZNAM PŘÍLOH

<b>A</b>	<b>Obsah přiloženého CD</b>	<b>59</b>
<b>B</b>	<b>Návrh zařízení</b>	<b>60</b>
B.1	Schéma desky plošných spojů SugarCube.....	60
B.2	Strana spojů desky plošných spojů SugarCube .....	64
B.3	Schéma desky plošných spojů nabíjecí stanice.....	65
B.4	Strana spojů desky plošných spojů nabíjecí stanice .....	66

## A OBSAH PŘILOŽENÉHO CD

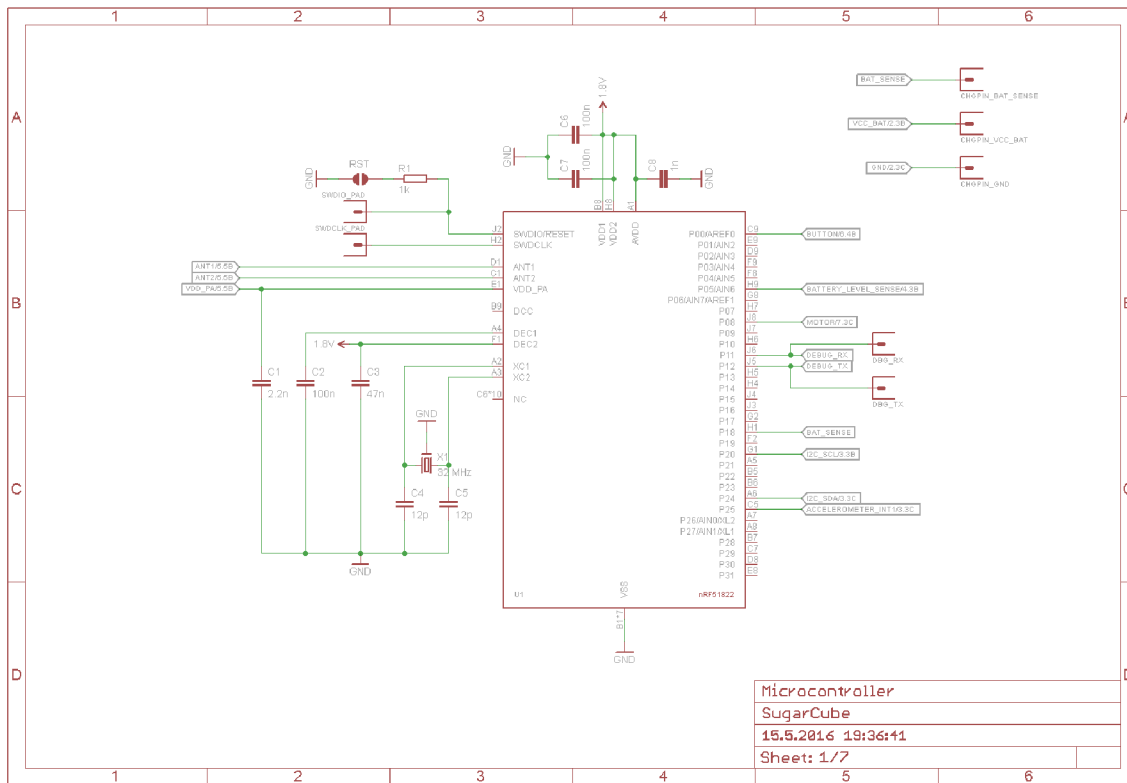
Na přiloženém CD jsou uloženy kromě elektronické verze práce také všechny zdrojové soubory a návrhy plošných spojů obou desek.

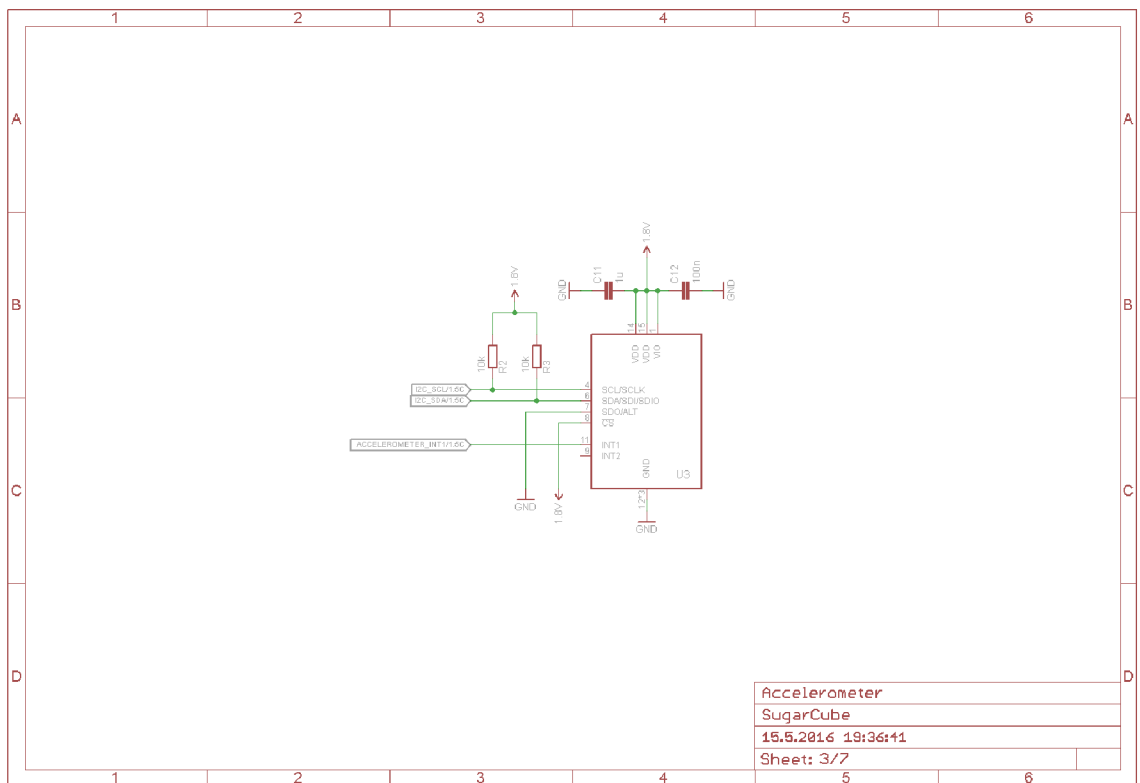
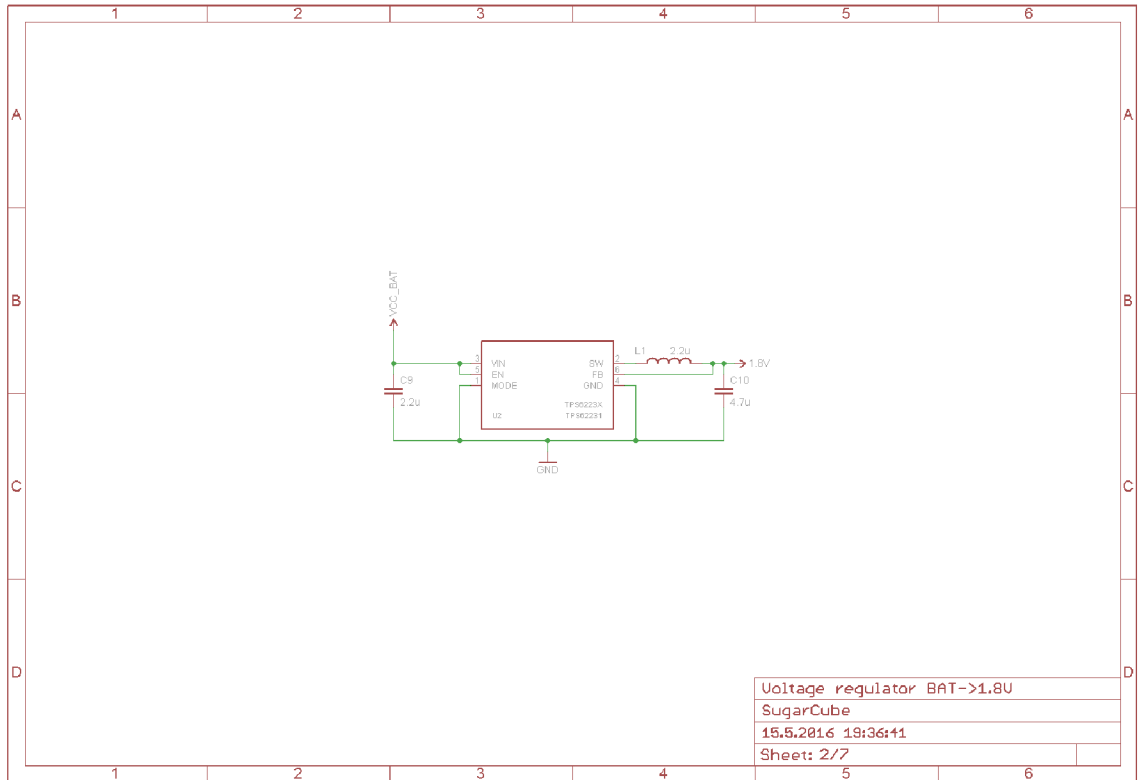
Popis jednotlivých složek s přílohami na CD:

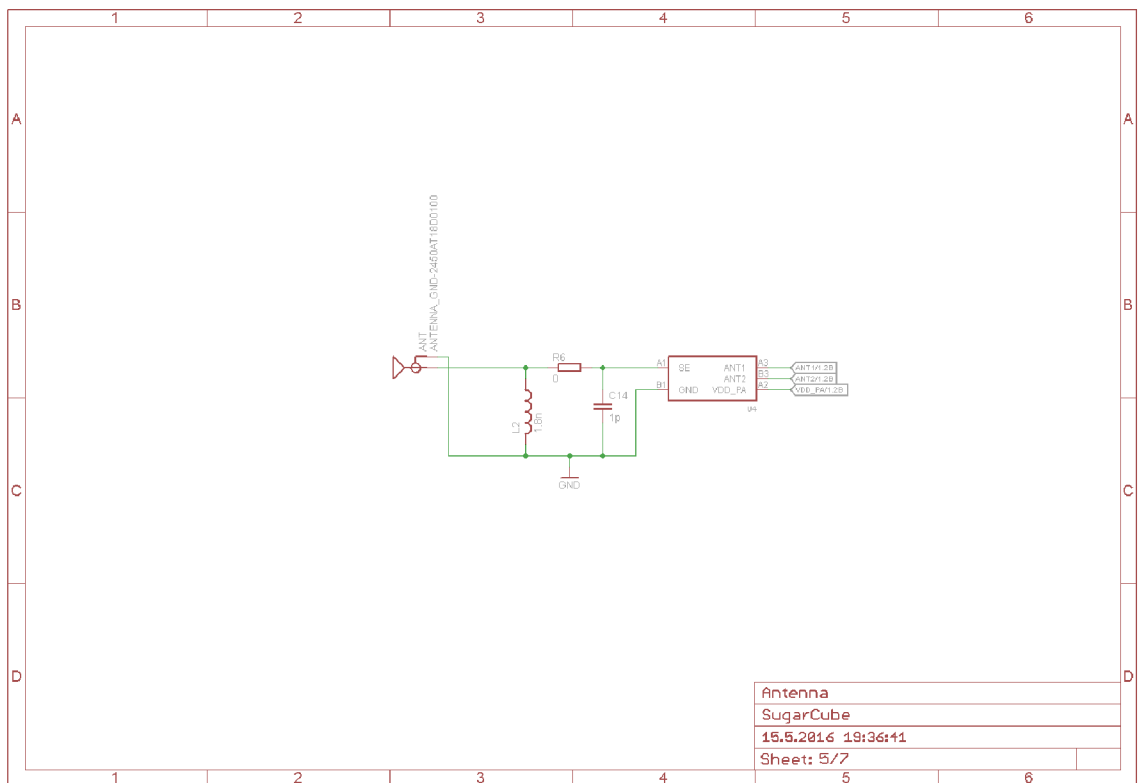
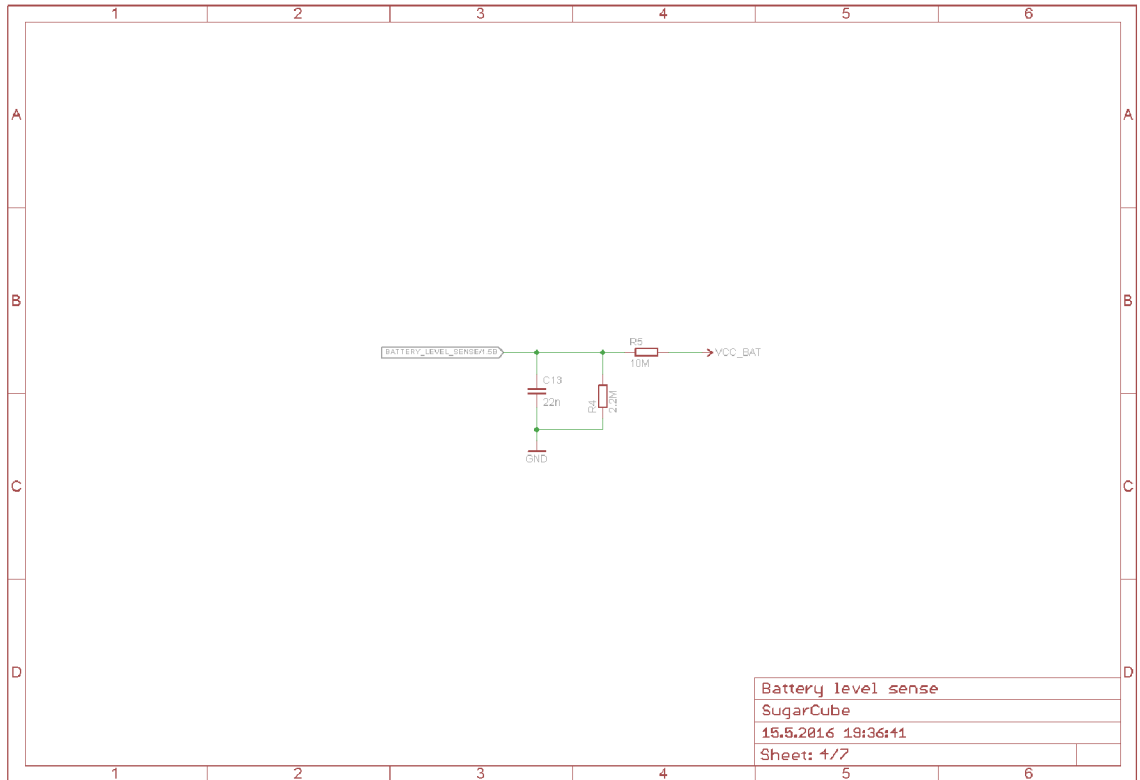
- **Desky** – v této složce jsou uloženy návrhy vytvořených desek plošných spojů v programu Eagle
- **Zdrojové programy** – složka obsahuje zdrojové programy potřebné pro oživení zařízení SugarCube, tedy SoftDevice a obsah programové paměti mikroprocesoru
- **Práce** – ve složce je uložena elektronická verze práce ve formátu PDF
- **Software** – v této složce se nachází instalační balíček programu nRFgo Studio pro nahrávání programu do mikroprocesoru a mobilní aplikace SugarCube pro operační systém Android

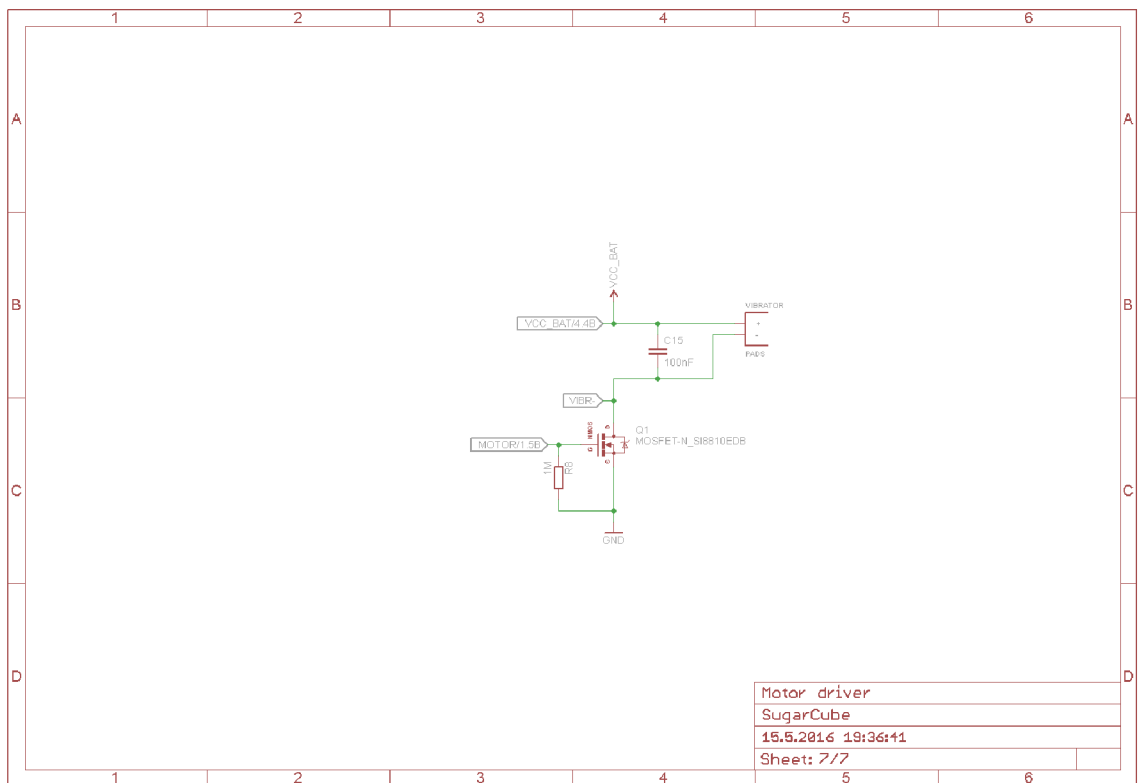
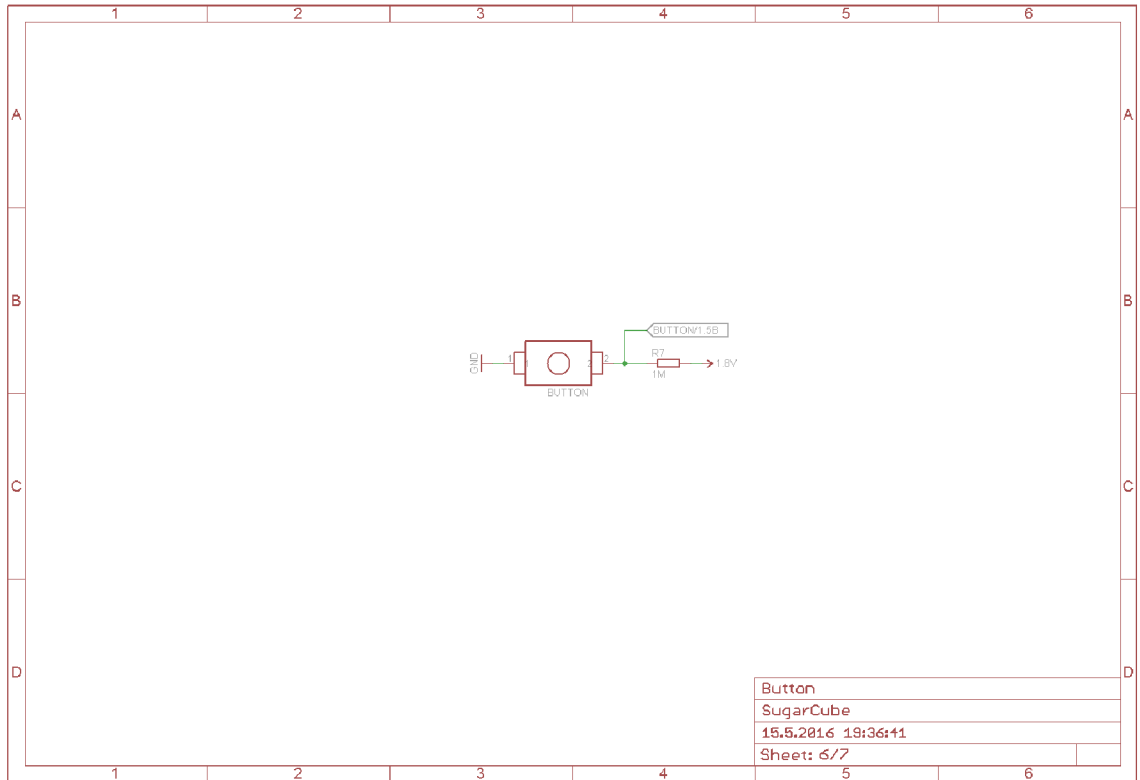
# B NÁVRH ZAŘÍZENÍ

## B.1 Schéma desky plošných spojů SugarCube









## B.2 Strana spojů desky plošných spojů SugarCube



Obr. 46: Strana spojů SugarCube - vrstva TOP, měřítko 4:1

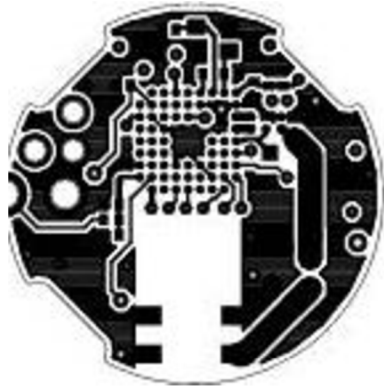


Obr. 47: Strana spojů SugarCube - vrstva LAYER2, měřítko 4:1



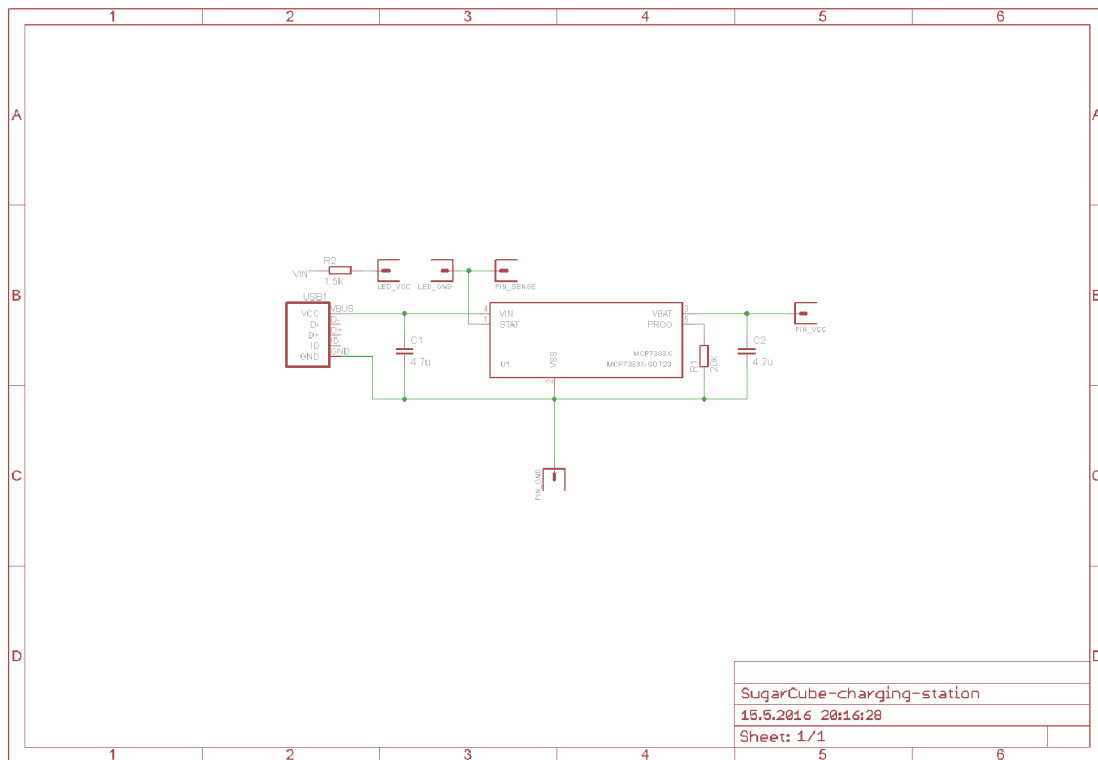
Obr. 48: Strana spojů SugarCube - vrstva LAYER3, měřítko 4:1



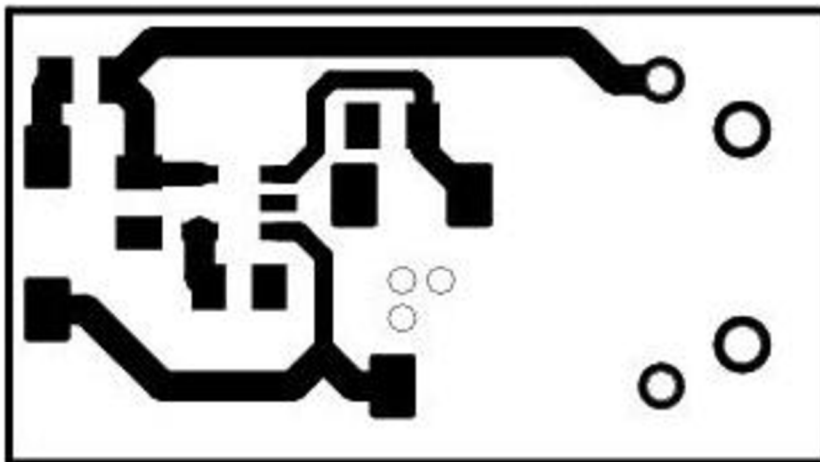


Obr. 49: Strana spojů SugarCube - vrstva BOTTOM, měřítko 4:1

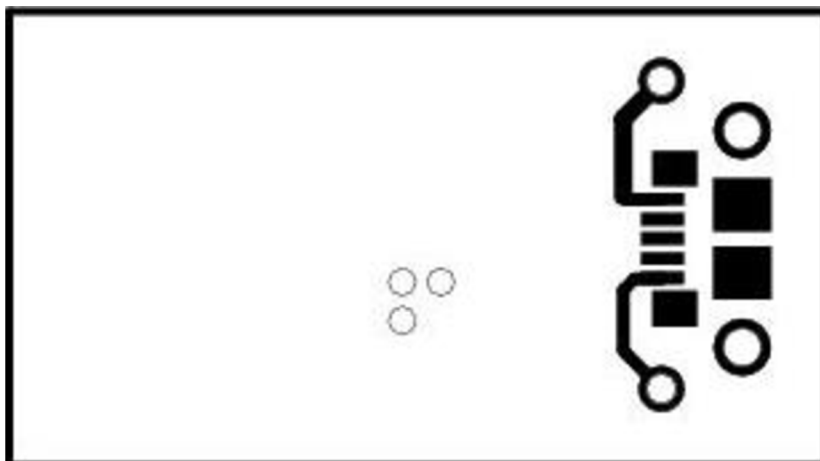
### B.3 Schéma desky plošných spojů nabíjecí stanice



#### B.4 Strana spojů desky plošných spojů nabíjecí stanice



Obr. 50: Strana spojů nabíjecí stanice - vrstva TOP, měřítko 4:1



Obr. 51: Strana spojů nabíjecí stanice - vrstva BOTTOM, měřítko 4:1