



# VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

## FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH TECHNOLOGIÍ

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION

## ÚSTAV AUTOMATIZACE A MĚŘICÍ TECHNIKY

DEPARTMENT OF CONTROL AND INSTRUMENTATION

## SYSTÉM FLATCON – BYTOVÁ ÚSTŘEDNA S RF KOMUNIKACÍ

FLATCON SYSTEM – FLAT CONTROL SYSTEM WITH RF COMMUNICATION

### BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

### AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Filip Krivoklatský

### VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

doc. Ing. Zdeněk Bradáč, Ph.D.

BRNO 2017



# Bakalářská práce

bakalářský studijní obor **Automatizační a měřicí technika**  
Ústav automatizace a měřicí techniky

**Student:** Filip Krivoklatský

**ID:** 173684

**Ročník:** 3

**Akademický rok:** 2016/17

**NÁZEV TÉMATU:**

## **System FLATcon – bytová ústředna s RF komunikací**

**POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:**

Navrhněte koncepci bateriově napájeného mikrokontrolérového systému pro řízení domácnosti s komunikačním rozhraním 433MHz/868MHz. Systém navrhněte jako miniaturní systém vybavený mikrokontrolérem a nezbytnými vstupy/výstupy. Navrhněte elektroniku, realizujte DPS, osadte a oživte. Vybavte programovým vybavením, otestujte a demonstруйте funkčnost.

1. Proveďte literární rešerši
2. Navrhněte koncepci systému a obvodové schéma
3. Realizujte DPS, osadte a oživte
4. Vytvořte programové vybavení, které otestujte a demonstруйте
5. Zhodnoťte řešení a demonstруйте jeho funkčnost

**DOPORUČENÁ LITERATURA:**

Pavel Herout: Učebnice jazyka C, KOPP, 2004, IV. přepracované vydání, ISBN 80-7232-220-6

Dle pokynů vedoucího práce.

**Termín zadání:** 6.2.2017

**Termín odevzdání:** 29.5.2017

**Vedoucí práce:** doc. Ing. Zdeněk Bradáč, Ph.D.

**Konzultant:**

**doc. Ing. Václav Jirsík, CSc.**  
*předseda oborové rady*

**UPOZORNĚNÍ:**

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

## **Abstrakt**

Táto bakalárska práca sa zaoberá riešeniami inteligentných domácností. Predstavuje niektoré dostupné riešenia na trhu a poukazuje na ich výhody a nevýhody. Primárne sa práca zameriava na riešenia, ktoré podporujú bezdrôtovú komunikáciu. Následne sa venuje návrhu vlastného systému inteligentnej domácnosti s názvom FLATcon. Vykonaný je návrh ústredne, ktorá je riadiacim centrom celého systému. Pri návrhu je najskôr venovaná pozornosť hardvéru, ktorého základom je minipočítač Raspberry Pi 3 s potrebnými perifériami. Súčasťou návrhu je tiež záložný zdroj a bezdrôtové komunikačné rozhranie. Následne sa práca venuje návrhu riadiaceho softvéru a užívateľského rozhrania v podobe webového servera. V závere sú prezentované dosiahnuté výsledky.

## **Kľúčové slová**

FLATcon, bytová ústredňa, inteligentná domácnosť, RF bezdrôtová komunikácia, Li-Ion batéria, UPS, Raspberry Pi, RFM22B, TPS61230, MCP73834, bq27441-G1, Homebridge

## **Abstract**

This bachelor's thesis discusses solutions of smart houses. It presents some of the available solutions on market and points out its positives and negatives. The thesis itself focuses on solutions which support wireless communication. Subsequently, the design of custom solution named FLATcon is being proposed. It includes designing of central unit, which is the main part of the system. First, the hardware part is being designed. Base of this is minicomputer Raspberry Pi 3 B with necessary inputs and outputs. Uninterruptible power supply and wireless communication interface are also part of the design. Subsequently, thesis focuses on control software design and on user interface in form of web server. At the end of this thesis, achieved results are presented.

## **Keywords**

FLATcon, smart home, RF wireless communication, Li-Ion battery, UPS, Raspberry Pi, RFM22B, TPS61230, MCP73834, bq27441-G1, Homebridge

### **Bibliografická citácia:**

KRIVOKLATSKÝ, F. Systém FLATcon – bytová ústředna s RF komunikací. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2017. 55 s. Vedoucí práce: doc. Ing. Zdeněk Bradáč, Ph.D.

## Prehlásenie

„Prehlasujem, že svoju záverečnú prácu na tému *Systém FLATcon – bytová ústredna s RF komunikáci* som vypracoval samostatne pod vedením vedúceho záverečnej práce a s použitím odbornej literatúry a ďalších informačných zdrojov, ktoré sú všetky citované v práci a uvedené v zozname literatúry na konci práce.

Ako autor uvedenej záverečnej práce ďalej prehlasujem, že v súvislosti s vytvorením tejto práce som neporušil autorské práva tretích osôb, najmä som nezasiahol nedovoleným spôsobom do cudzích autorských práv osobnostných a som si plne vedomý následkov porušenia ustanovení § 11 a nasledujúcich autorského zákona č. 121/2000 Sb., vrátane možných trestnoprávných dôsledkov vyplývajúcich z ustanovenia časti druhej hlavy VI. diel 4 Trestného zákonníku č. 40/2009 Sb.

V Brne dňa .....

.....

podpis autora

## **Pod'akovanie**

Ďakujem vedúcemu bakalárskej práce doc. Ing. Zdeněkovi Bradáčovi, Ph.D za účinnú metodickú, pedagogickú a odbornú pomoc a ďalšie cenné rady pri spracovaní mojej bakalárskej práce.

V Brne dňa .....

.....

podpis autora

# Obsah

Úvod.....	1
<b>1 Elektroinštalácie v domácnosti .....</b>	<b>3</b>
1.1 Klasická elektroinštalácia.....	3
1.2 Inteligentná domácnosť.....	3
1.2.1 Možnosti inteligentnej domácnosti.....	4
1.3 Systémová inštalácia KNX .....	5
1.4 Systém LOXONE .....	6
1.5 Systém Fibaro.....	6
1.5.1 Z-Wave .....	7
1.6 Zhrnutie.....	7
1.7 Kedy použiť systém inteligentnej domácnosti?.....	8
<b>2 Systém FLATcon.....</b>	<b>9</b>
2.1 Koncept systému FLATcon .....	9
2.2 Komunikácia medzi zariadeniami systému FLATcon.....	10
2.2.1 Bezpečnosť.....	10
<b>3 Návrh vlastného zariadenia (Hardvér) .....</b>	<b>12</b>
3.1 Požiadavky na zariadenie.....	12
3.2 Výber riadiacej dosky.....	12
3.2.1 Raspberry Pi 3 B.....	13
3.2.2 Dotykový 7" displej pre Raspberry Pi.....	14
3.3 Výber bezdrôtového modulu .....	15
3.3.1 RFM22B .....	15
3.4 Bloková schéma navrhnutého systému FLATcon .....	17
3.5 Návrh napájacieho zdroja.....	17
3.5.1 Požiadavky na napájanie.....	18
3.5.2 Nabíjačka batérií MCP73834.....	18
3.5.3 Li-Ion a Li-Pol batérie.....	19
3.5.4 Použitá batéria .....	19
3.5.5 Sledovanie kapacity obvodom BQ27441-G1 .....	20
3.5.6 DC-DC menič TPS61230 (TPS61232) .....	20
3.6 Popis návrhu plošného spoja .....	21
3.6.1 Zapojenie DC-DC meniča TPS61230.....	21
3.6.2 Zapojenie obvodov batérie.....	22
3.6.3 Digitálne vstupy a výstupy .....	23
3.6.4 Problém so zapínaním Raspberry Pi .....	25

3.6.5	Chladienie.....	26
3.7	Navrhnutá doska plošných spojov (DPS).....	26
3.8	Druhá revízia dosky plošných spojov.....	27
3.9	Testovací modul s relé.....	28
<b>4</b>	<b>Návrh vlastného zariadenia (Softvér).....</b>	<b>29</b>
4.1	Požiadavky na softvér.....	29
4.2	Hlavný program.....	30
4.2.1	Popis hlavného programu.....	31
4.2.2	Popis knižnice RF22.....	35
4.2.3	Popis knižnice BQ27441.....	36
4.3	Webové rozhranie.....	37
4.3.1	Popis stránky.....	37
4.4	Softvér pre testovací modul s relé.....	39
4.5	Postup pri návrhu zariadenia (modulu) pre systém FLATcon.....	39
	<b>Záver.....</b>	<b>41</b>
	<b>Zoznam použitých zdrojov.....</b>	<b>43</b>
	<b>Zoznam príloh.....</b>	<b>45</b>



## Zoznam obrázkov

Obr. 1: Model inteligentnej domácnosti FLATcon [22] .....	9
Obr. 2: Rôzne topológie pripojenia k sieti v systéme .....	10
Obr. 3: Raspberry Pi 3 B [22] .....	13
Obr. 4: Bezdrôtový modul RFM22B-433-S1 [24] .....	15
Obr. 5: Bloková schéma systému FLATcon s modulmi [19][20] .....	17
Obr. 6: Zapojenie DC-DC meniča TPS61230 .....	22
Obr. 7: Zapojenie obvodov batérie .....	23
Obr. 8: Zapojenie digitálneho výstupu DO1 .....	24
Obr. 9: Zapojenie digitálneho vstupu DI1 .....	24
Obr. 10: Obvod zapínania Raspberry Pi s NAND hradlami .....	26
Obr. 11: Zobrazenie DPS z vrchu spolu s doskou Raspberry Pi .....	26
Obr. 12: Model programov centrálnej jednotky .....	29
Obr. 13: Zjednodušený vývojový diagram programu .....	30
Obr. 14: Model upraveného protokolu DHCP .....	32
Obr. 15: Formát paketu modulu RFM22 .....	36
Obr. 16: Snímka hlavnej stránky .....	37
Obr. 17: Demo stránka webového serveru .....	38

# Zoznam tabuliek

Tab. 1: Prehľad parametrov navrhnutého zariadenia .....	27
---------------------------------------------------------	----

# ÚVOD

V dnešnej dobe, kedy sa ľudia snažia automatizovať takmer každú činnosť a tým si ušetriť čas a zjednodušiť život, sa stále viac rozvíja záujem o oblasť inteligentnej správy domácnosti. Systémy inteligentných domácností ponúkajú nespočetné množstvo výhod oproti klasickej inštalácii. Poskytujú väčší komfort a prinášajú pohodlný spôsob spravovania a sledovania domácnosti. Prispievajú k šetreniu energiami a prinášajú pocit bezpečnosti do domácnosti. Aj napriek týmto výhodám sa takýto typ inštalácii nepoužíva primárne pri nových stavbách. Dôvodom môžu byť vyššie investičné náklady alebo pocit, že zavedenie takéhoto systému do svojej domácnosti by museli sprevádzať rozsiahle zásahy do klasickej inštalácie, čo pri dnešných bezdrôtových riešeniach už nie je potrebné.

Táto práca sa bude zameriavať práve na bezdrôtové systémy inteligentných domácností a návrh takéhoto systému s názvom FLATcon. Inšpirácia bude predovšetkým čerpaná z komerčných profesionálnych riešení. Jednotlivé riešenia budú postupne popísané a na ich základe bude vytvorený vlastný koncept systému inteligentnej domácnosti.

Systém FLATcon je témou viacerých bakalárskych prác, pričom každá z nich rieši inú perifériu alebo zariadenie systému. Spolu tieto práce vytvárajú komplexné riešenie inteligentnej domácnosti. Tento rok boli zadané nasledujúce práce:

*Systém FLATcon – bytová ústredňa s RF komunikácií*

*Systém FLATcon – CCD detekce stavu patníčků s RF komunikácií*

*Systém FLATcon – elektronická termohlavice s RF komunikácií*

Táto práca sa bude venovať návrhu riadiacej ústredne tohto systému. Riadiaca ústredňa alebo riadiaca jednotka systému je zariadenie, ktoré má na starosti spravovanie všetkých pripojených modulov a zariadení v systéme. Jedná sa o základnú časť, bez ktorej by systém nemohol fungovať. Pripojené zariadenia môžu byť pripojené k riadiacej jednotke drôtovo alebo bezdrôtovo. V tejto práci bude realizované iba bezdrôtové rozhranie, cez ktoré budú zariadenia komunikovať. Zároveň riadiaca jednotka vytvára rozhranie pre užívateľov na ovládanie a správu pripojených zariadení. Toto rozhranie má najčastejšie podobu webovej stránky, prípadne môže byť dostupná aj aplikácia pre smartfón. Užívateľské rozhranie v tejto práci bude mať podobu webovej stránky a dostupné bude iba v rámci lokálnej siete domácnosti.

Požiadavkou zadania je aby bolo navrhnuté zariadenie miniatúrne, preto bude pri návrhu kladený dôraz na výber komponentov s minimálnymi rozmermi a veľká pozornosť bude tiež venovaná návrhu plošného spoja.

Na otestovanie funkčnosti navrhnutého zariadenia bude vytvorený jednoduchý testovací modul s relé. Ten bude mať definované len jednoduché funkcie a reprezentovať bude elektronický spínač.

# 1 ELEKTROINŠTALÁCIE V DOMÁCNOSTI

V tejto kapitole budú popísané typy elektroinštalácii používaných v domácnostiach a väčší priestor bude venovaný jednotlivým riešeniam známych firiem v oblasti inteligentných domácností.

## 1.1 Klasická elektroinštalácia

V minulosti bol toto jediný typ inštalácie, ktorý mohol byť do domácnosti zavedený. Tento typ elektroinštalácie je aj dnes stále najpoužívanejší vďaka svojej jednoduchosti a menším investičným nákladom v prípade rodinných domov. Pomocou klasických silových elektrických rozvodov s vypínačmi je možné ovládať okruhy len jednotlivo a bez akejkoľvek väzby na iné zariadenia. Jedným vypínačom teda môžeme ovládať len jeden okruh a túto funkciu už nemôžeme neskôr zmeniť bez nutnosti zásahu do elektroinštalácie.

## 1.2 Inteligentná domácnosť

Vývoj moderných technológií na výrobu elektronických súčiastok a obvodov umožnil rozšírenie elektronických zariadení do všetkých odvetví. Miniaturizácia a zvýšenie výkonu týchto zariadení otvorilo nové oblasti použitia. Jednou z týchto oblastí sa stala aj domácnosť.

S pojmom inteligentná domácnosť sa v dnešnej dobe stretávame stále častejšie. Ide o označenie domácnosti, ktorá obsahuje rôzne zariadenia a periférie, ktoré uľahčujú život obyvateľom domu, zvyšujú komfort a poskytujú lepšie hospodárenie s energiami. Okrem toho môže poskytovať aj ďalšie užitočné funkcie pre domácnosť. Na to aby bol dom inteligentný, nemusí ísť nevyhnutne o dom preplnený technológiami, ktorý môžeme vidieť v sci-fi filmoch z budúcnosti, ale môže ním byť každý dom po doplnení potrebných zariadení. Dnešné inteligentné domy sú väčšinou nerozoznateľné od obyčajných. Líšia sa len tým, že obsahujú rôzne snímače, ovládateľné výstupné členy (akčné členy) a riadiaci člen, ktorý vytvára samotnú inteligenciu domu. Riadiaci člen je najdôležitejšia časť inteligentného domu. Nejde však o inteligenciu domu v pravom slova zmysle. Inteligenciu domu vytvára program, ktorý riadi výstupné členy na základe vstupných dát zo sensorov alebo iných dostupných dát (počasie, čas a iné dáta z internetu) a spracováva ich pomocou rôznych algoritmov. Je teda zrejmé, že dom nedokáže rozmýšľať a ani reagovať na nezvyčajné situácie, ale iba na tie naprogramované. Aby sme v dnešnej dobe spravili z obyčajného domu inteligentný, netreba robiť rozsiahle zmeny v elektroinštalácii. Pre takéto domy sú určené bezdrôtové riešenia, ktoré ponúkajú rôzne firmy. Samozrejme, použitie káblového

riešenia oproti bezdrôtovému má veľa výhod. Pri káblovom spojení nemusíme väčšinou riešiť bezpečnosť ako v prípade bezdrôtového prenosu, káblové spojenie má väčšiu spoľahlivosť a dostupnosť a odpadá tu problém s napájaním senzorov (batérie). Nevýhodou však je, že káblové riešenie sa dá použiť iba v novej inštalácii, alebo v prípade rozsiahlej rekonštrukcie.

Teraz si uvedieme niektoré možnosti použitia a funkcie, ktoré nám inteligentná inštalácia ponúka.

### 1.2.1 Možnosti inteligentnej domácnosti

**Centrálne funkcie** – napr. vypnutie všetkých svetiel v dome, zatiahnutie žalúzií.

**Vzdialené ovládanie** – diaľkové ovládanie pripojených zariadení ľubovoľným tlačidlom na stene alebo pomocou mobilných zariadení, kontrola pomocou kamerového systému.

**Prepojiteľnosť** – možnosť prepojenia s inými systémami (EZS – elektronický zabezpečovací systém, EPS – elektronický požiarny systém).

**Časové funkcie** – napr. rozsvietenie svetla, rozťahnutie žalúzií a zapnutie kúrenia v závislosti na nastavenom budíku alebo otáčanie roliet na základe polohy slnka a času pre optimálny jas v miestnosti.

**Podmienené funkcie** – nastavenie funkcie tlačidla v závislosti na čase (napr. uprostred noci môže tlačidlo nastaviť iba polovičnú intenzitu jasu svetla kvôli oslneniu; pri bezpečnostnom poplachu všade zasvietiť a zabrániť zhasnutiu tlačidlami; vypnúť nepotrebné zariadenia ak je vypnutá televízia a tým šetriť energiu; na základe počasia ovládať zavlažovanie).

**Scény a prednastavené režimy** – možnosť prepnúť jedným tlačidlom inú svetelnú scénu (večera, pozeranie televízie, relax, práca a pod.).

**Simulácia prítomnosti** – možnosť simulovať prítomnosť obyvateľov kvôli odradeniu zlodejov napr. zopínaním svetiel, ovládaním žalúzií.

**Upozornenia a signalizácia stavov** – podrobný prehľad domácnosti na paneli alebo mobilnom zariadení (teplota v danej miestnosti, či je otvorené okno alebo zatiahnuté žalúzie alebo nastaviť priamo upozornenie na takéto udalosti).

**Štatistika** – systém môže známe údaje zo senzorov ukladať a z nich následne vytvoriť štatistiku napr. spotreby el. energie, vykurovania, atď..

**Inteligentná správa vykurovania** – v prípade neprítomnosti je teplota udržiavaná na nižšej hodnote.

S inteligentnou domácnosťou je možné spraviť a prepojiť v podstate ľubovoľné systémy, ale závisí pri tom na konkrétnom systéme, či takéto funkcie podporuje. Niektoré systémy sú iba parametrizovateľné a na výber sú k danému zariadeniu dostupné iba niektoré funkcie. Niektoré systémy však obsahujú centrálnu jednotku (napr. PLC) a v nich dokážeme zariadeniam definovať ľubovoľnú funkciu pomocou

programu. Tieto systémy sú ale zložitejšie a napísať program musí obvykle skúsený odborník.

Teraz si uvedieme prehľad niektorých dostupných riešení na trhu s ich špecifickými vlastnosťami. Medzi najznámejšie systémy patria: KNX, Fibaro, Tecomat Foxtrot, ABB, Loxone, IntelioBox, iNels, Control4 a mnoho ďalších. Viac sa budeme zaoberať systémami KNX, Loxone a Fibaro.

### **1.3 Systémová inštalácia KNX**

Systém KNX ponúka inteligentnú technológiu, pri ktorej možno požiadavky na bezpečnosť, komfort, flexibilitu a hospodárnosť spojiť a riešiť v rámci jedného inštaláčného systému. Používa sa nielen v domácnostiach, ale aj vo väčších budovách a jej možnosti použitia sú širšie ako iných systémov. Patrí medzi systémy, ktoré neobsahujú centrálnu riadiacu jednotku, ale iba jednotlivé senzory a akčné členy, ktoré medzi sebou navzájom komunikujú cez zbernicu. Každé zariadenie musí byť pripojené na túto zbernicu. Systém je možné doplniť aj o bezdrôtové periférie pomocou rozširujúceho bezdrôtového modulu pripojeného na zbernicu. Ďalším spôsobom pripojenia periférií je pomocou siete 230V a rozširujúcich modulov. [13]

#### **Dátová komunikácia KNX**

Komunikácia prebieha adresne na vlastnom protokole a smerom do ostatných systémov na protokole TCP/IP. KNX podporuje prenos dát po IP/Ethernete, metalickom krútenom páre, optickom vlákne, rádiový frekvenčnom prenose a využitím silnoprúdových vedení. [11] Vďaka súladu s normami EN 50090-3-1, EN 50090-4-1, EN 50090-4-2, EN 50090-5-2 a EN 50090-7-1 je systém KNX celosvetovým štandardom pre technológie automatizovaného riadenia v domoch a budovách. Svojimi vlastnosťami a možnosťami spĺňa kritériá, požadované pre budovy v energetickej triede A, B a C.

Systém KNX je podporovaný množstvom výrobcov ako ABB, Schneider Electric, Siemens, Jung, Gira, Merten a približne 100 ďalšími. [13]

#### **Úspora pri použití KNX**

Brémska univerzita aplikovanej vedy urobila zaujímavý pokus. V jednej prednáškovej miestnosti použila inteligentnú elektroinštaláciu KNX a druhú, identickú, ponechala so štandardnou elektroinštaláciou. Počas štyroch rokov merali spotrebu oboch miestností a došli k zaujímavému výsledku. Pri použití KNX inteligentnej elektroinštalácie dosiahli až 50% úspor energií. [12]

## 1.4 Systém LOXONE

Systém inteligentnej domácnosti Loxone ponúka tiež podobné funkcie pre ovládanie domácnosti ako ostatné riešenia. Základom systému Loxone je miniserver. Jedná sa o riadiacu jednotku na spôsob PLC. Miniserver obsahuje vstupy a výstupy, konektor na napájanie a svorky na pripojenie komunikačnej zbernice medzi zariadeniami. Činnosť miniserveru je možné prispôbiť podľa potrieb každej domácnosti. Nastavenie sa vykonáva pomocou konfiguračného softvéru Loxone Config. Loxone ponúka miniserver v dvoch prevedeniach. Prvé prevedenie je uspokojené na umiestnenie na DIN lištu a umiestňuje sa do rozvádzača, kde sa môžu nachádzať aj ďalšie rozširujúce moduly. Miniserver komunikuje potom pomocou fyzickej zbernice s pripojenými perifériami. Pridaním rozširujúcich modulov je možné systém prepojiť s inými systémami napr. KNX, DALI a iné. Druhé prevedenie je určené prevažne pre rekonštrukcie, pretože s perifériami komunikuje bezdrôtovo. Riadiacou jednotkou je Miniserver Go, ktorý využíva technológiu Loxone Air. Tomuto zariadeniu stačí zabezpečiť napájanie a prístup do siete LAN. Bezdrôtovo môže zariadenie komunikovať až so 128 zariadeniami. [14]

### Technológia Loxone Air

Loxone Air je názov pre bezdrôtovú komunikačnú technológiu, ktorú používa systém Loxone. Komunikácia medzi zariadeniami prebieha na frekvencii 868MHz. Pripojené zariadenia spolu vytvárajú sieť typu „mesh“, vďaka ktorej je dosah signálu v domácnosti vždy zabezpečený, pretože každé pripojené zariadenie rozširuje signál a zvyšuje tak stabilitu spojenia. Pripojené zariadenia teda nekomunikujú iba s miniserverom, ako je to v topológii „star“, ale informácie si predávajú navzájom. Vysielací výkon teda nemusí byť taký veľký, čo znižuje spotrebu pripojených zariadení. [14]

## 1.5 Systém Fibaro

Systém Fibaro je bezdrôtový systém inteligentnej domácnosti zložený z bezdrôtových modulov. Základom je centrálna riadiaca jednotka HomeCenter, ktorú je potrebné pripojiť do siete LAN a zabezpečiť napájanie. Výhodou je jednoduchá inštalácia bez nutnosti stavebných úprav pri nasadzovaní, pretože všetky moduly spolu komunikujú bezdrôtovo pomocou technológie Z-Wave. Systém je vďaka mobilným aplikáciám a webovému rozhraniu jednoduché ovládať na diaľku. Je možné ho ľahko pripojiť už k existujúcemu zabezpečovaciemu systému. Riadiaca centrála spravuje a riadi všetky pripojené moduly, no v prípade poruchy riadiacej centrály, moduly dokážu komunikovať navzájom a vykonať v prípade požiaru alebo iného ohrozenia potrebné úkony. [15]



### 1.5.1 Z-Wave

Z-Wave je komunikačný bezdrôtový štandard od firmy Sigma Designs, ktorý používa systém Fibaro a mnoho ďalších svetových výrobcov. Má vedúce postavenie na trhu v oblasti inteligentných domácností a používa sa v rôznych produktoch (svetlá, zámky na dvere, termostaty, zásuvky a iné). Výhodou Z-Wave komunikácie je jej podpora medzi viacerými výrobcami. Zákazník má teda k dispozícii väčší výber zariadení a môže si vybrať podľa svojho uváženia, pretože všetky Z-wave zariadenia sú kompatibilné. Sigma Designs tiež ponúka samostatné Z-Wave moduly, ktoré je možné použiť vo vlastnom zariadení a zabezpečiť tak kompatibilitu so Z-Wave štandardom. Každý si teda môže vytvoriť vlastné zariadenie a nie je tak obmedzovaný len zariadeniami výrobcov. [16]

#### Výhody Z-Wave

- jednoduchá inštalácia bez zásahu do elektroinštalácie,
- možnosť postupného rozširovania inteligentnej inštalácie,
- systém používa šifrovanie kvôli bezpečnosti IPsec,
- množstvo produktov, ktoré podporujú Z-Wave.

#### RaZberry

RaZberry je projekt, ktorý sa zaoberá pripojením počítača Raspberry Pi do systému s komunikáciou Z-Wave. Spojením modulu Z-Wave a Raspberry Pi tak dostaneme plnohodnotné a lacné zariadenie pracujúce s týmto systémom. Vďaka tomuto prepojeniu si môžu užívatelia vytvoriť vlastné zariadenie a pripojiť ho do siete a pomocou programu v Raspberry Pi si môžu svoj systém prispôbiť podľa seba.

## 1.6 Zhrnutie

Predstavené profesionálne systémy poskytujú kompletné riešenia pre rodinné domy a iné objekty. Ponúkajú prepracovaný dizajn a technológie, vďaka ktorým je používanie zariadení a život v domácnosti jednoduchší. Každý výrobca ponúka svoje špecifické riešenie. Niektoré lepšie systémy podporujú komunikačné prevodníky, vďaka ktorým sa dajú pripojiť zariadenia aj od iných výrobcov. Takéto systémy tiež ponúkajú väčšiu voľnosť v prepájaní zariadení a dajú sa s nimi urobiť pokročilejšie funkcie namiesto jednoduchých parametrických systémov.

Táto práca sa bude zameriavať na bezdrôtovú komunikáciu. Bude to teda podobný systém ako používa Fibaro s technológiou Z-Wave.

## **1.7 Kedy použiť systém inteligentnej domácnosti?**

Systémy inteligentnej domácnosti poskytujú nespočetné množstvo výhod oproti klasickej elektroinštalácii. Pri zvažovaní investície do inteligentnej domácnosti, ktorá stojí nemalé peniaze, sa ale musíme zamyslieť či to má v danom prípade zmysel. Ak dom alebo byt, ktorý plánujeme vybaviť touto technológiou nemá veľa možností umiestnenia periférií a zariadení, môže byť táto investícia neopodstatnená, pretože tým nezískame veľa výhod, ktoré tieto systémy ponúkajú. Tiež je potrebné zvážiť, či energia potrebná na beh rôznych senzorov, akčných členov, žalúzií spotrebu zníži alebo ju naopak zvýši.

## 2 SYSTÉM FLATCON

V predchádzajúcej kapitole boli predstavené rôzne systémy a ich možnosti použitia v domácnosti. Na základe týchto vlastností, bude teraz navrhnutý vlastný systém inteligentnej domácnosti so zameraním sa na bezdrôtové technológie.

### 2.1 Koncept systému FLATcon

Základom systému FLATcon je centrálna riadiaca jednotka – ústredňa. Tá obsahuje dotykový displej, potrebné vstupy a výstupy, bezdrôtový modul a napájací zdroj zálohovaný batériou. K nej sa potom pomocou bezdrôtovej technológie pripájajú rôzne zariadenia alebo moduly. Na bezdrôtové spojenie sa využíva frekvenčná oblasť 433MHz. Výhodou je, že pri nasadzovaní nie je potrebné nič búrať ani inak zasahovať do elektroinštalácie. Stačí zariadenia rozmiestniť a všetko je pripravené. Ďalšou výhodou je, že moduly, ktoré sú napájané batériou je možné pohodlne premiestňovať z miesta na miesto. V prípade, že úroveň batérie klesne pod určitú hranicu, periféria na to upozorní centrálnu jednotku a tá zobrazí hlásenie na displeji. Na displeji vidíme tiež všetky požadované informácie z pripojených senzorov (napr. teplota v miestnosti alebo vonku, stav batérií, atď...) a tiež môžeme ovládať pripojené periférie (vykurovanie, osvetlenie, žalúzie, kamerový systém, monitorovanie spotreby, atď...).

Systém FLATcon by mal ďalej podporovať rôzne funkcie (napr. nastavenie svetelných scén, globálne vypínanie osvetlenia, nastavenie časovačov, spustenie zariadení, logovanie dát do súborov pre neskoršie štatistiky, zobrazenie aktuálnej spotreby pripojených zariadení, a iné).

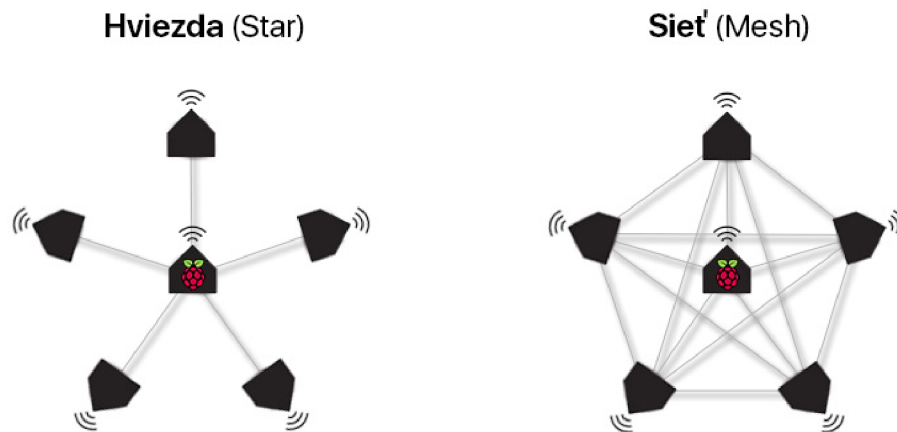
Na nasledujúcom obrázku 1 môžeme vidieť model inteligentnej domácnosti FLATcon. Sú na ňom znázornené niektoré zariadenia, ktoré je možné do systému pripojiť.



Obr. 1: Model inteligentnej domácnosti FLATcon [22]

## 2.2 Komunikácia medzi zariadeniami systému FLATcon

Zariadenia v systéme FLATcon komunikujú pomocou bezdrôtového komunikačného modulu. Každé zariadenie obsahuje jeden tento modul a prípadne ďalšie nadradené riadiace obvody. Komunikácia v systéme môže mať topológiu typu *hviezda* (star) alebo *sieť* (mesh). V prípade topológie typu hviezda každé zariadenie pre odovzdanie a prijímanie dát komunikuje iba s riadiacou jednotkou. Pri druhom type komunikuje každé zariadenie s každým. Topológia typu sieť je výhodnejšia, pretože zariadenia nemusia komunikovať priamo s centrálnou jednotkou v prípade, že sa nachádza ďaleko, ale iba s najbližšími zariadeniami a tak ušetriť výkon potrebný na vysielanie. Nevýhodou je, že je zložitejšia. Porovnanie topológií môžeme vidieť na nasledujúcom obrázku 2.



Obr. 2: Rôzne topológie pripojenia k sieti v systéme

Pre jednoduchosť bude v systéme implementovaná topológia typu hviezda (star). V systéme FLATcon centrálna jednotka obsluhuje všetky zariadenia a udržuje s nimi spojenie. Každé zariadenie má priradenú vlastnú adresu, ktorá ho v tejto sieti zariadení jednoznačne identifikuje. Adresu získa zariadenie na základe požiadavky, ktorú posiela riadiacej centrálnej jednotke. Tá po zaregistrovaní požiadavky pridá zariadenie do svojej tabuľky a pridelí mu voľnú adresu. Takýmto spôsobom by mal systém byť schopný jednoznačne identifikovať minimálne 255 rôznych zariadení. Po pripojení zariadenia by mala centrálna jednotka automaticky identifikovať typ zariadenia a používateľovi poskytnúť príslušné možnosti ovládania a správy daného zariadenia.

### 2.2.1 Bezpečnosť

Pri použití bezdrôtových systémov v praxi je potrebné riešiť otázku zabezpečenia komunikácie medzi zariadeniami v systéme. Takéto systémy by mali používať šifrovanú komunikáciu, aby sa do systému nemohol pripojiť hocikto. Ďalej

je potrebné riešiť bezpečnosť aj v prípade použitia vzdialenej správy systému cez internet. Možnosť ovládať systém cez internet musí mať iba osoba s dostatočným oprávnením. Kvôli nedostatku času a rozsiahlosti tejto tematiky sa bezpečnosťou táto práca nebude zaoberať.

## 3 NÁVRH VLASTNÉHO ZARIADENIA (HARDVÉR)

Nasledujúca kapitola sa zaoberá návrhom hardvérovej časti centrálnej jednotky systému FLATcon. Na začiatku sú najskôr stanovené požiadavky na zariadenie a následne je riešený výber komponentov, ktoré toto spĺňajú. Jednotlivé časti zariadenia sú tu konkrétne popísané a vysvetlený je princíp činnosti na schémach zapojenia.

### 3.1 Požiadavky na zariadenie

Pri návrhu zariadenia bolo najskôr nutné definovať požiadavky, ktoré bude treba v návrhu zohľadniť. K požiadavkám, ktoré boli dané zadaním boli doplnené ďalšie, ktoré zo systému vytvárajú univerzálnejšie zariadenie.

#### Požiadavky zadania

- Schopnosť bezdrôtovej komunikácie,
- Digitálne vstupy a výstupy pre ovládanie zariadení v blízkosti samotného zariadenia, prípadne priamo v centrálnej jednotke,
- Napájací zdroj zálohovaný batériou, ktorý v prípade výpadku zabezpečí napájanie,
- Dostatočný výpočtový výkon pre chod webového rozhrania na ovládanie pripojených periférií a obsluhu pripojených zariadení,
- Malé rozmery zariadenia (napr. pre možnosť umiestnenia zariadenia na stenu).

#### Rozšírené požiadavky

- Podpora ovládania všetkých periférií pomocou natívnej aplikácie *Home* od spoločnosti Apple pomocou zariadení s operačným systémom *iOS*,
- Možnosť použitia zariadenia ako *NAS server* (Network Attached Storage server) po pripojení úložného zariadenia na port USB a zdieľanie domácej knižnice,
- Možnosť použitia zariadenia ako *Print Server* po pripojení domácej tlačiarne.

### 3.2 Výber riadiacej dosky

Pri výbere riadiacej dosky bolo treba zvážiť viacero faktorov:

- Dostatočný výkon na beh niektorej z linuxových distribúcií a potrebných aplikácií (webový server, SQL, NAS server, prípadne streamovanie hudby, videí),
- Dostatočný počet vstupno-výstupných portov,

- Ethernet, prípadne Wifi na pripojenie k lokálnej sieti a internetu,
- Jednoduchá rozšíriteľnosť o displej,
- Dostupnosť návodov a materiálov na riešenie potrebnej úlohy,
- Malé rozmery,
- Nízka cena.

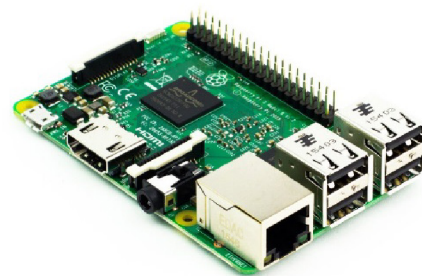
Pôvodný návrh zahŕňal vytvorenie vlastnej dosky plošných spojov s použitím ARM procesora, ale táto možnosť bola zamietnutá kvôli zložitej realizovateľnosti niektorých požadovaných funkcií a nedostatku času. Nakoniec bola vybratá doska s minipočítačom Raspberry Pi, ktorú odporučil konzultant. Táto doska spĺňa všetky spomínané požiadavky a výhodou je, že na internete je veľa návodov a vzorových projektov ako realizovať potrebné úlohy. Spoločnosť *Raspberry Pi Foundation*, ktorá tieto dosky vyrába ponúka niekoľko variant a generácií tohto produktu. Konzultantom odporúčaná bola verzia Raspberry Pi 2 B. Po zohľadnení ceny a výkonu však bola pre zariadenie vybratá verzia Raspberry Pi 3 B, ktorá však má mierne vyššiu cenu a spotrebu ako spomínaný model 2, ale za to ponúka 64-bitový procesor, ktorý má vyšší výkon a na viac má priamo v sebe zabudovanú wifi a bluetooth, čo zvyšuje mobilitu výsledného zariadenia, pretože nie je nutné k zariadeniu pripájať ethernetový kábel.

### 3.2.1 Raspberry Pi 3 B

Raspberry Pi 3 je už 3. generácia úspešného jednodoskového počítača s malými rozmermi (56x87,1mm). Pôvodne vznikol s cieľom podporiť výučbu informatiky na školách, ale našiel veľké uplatnenie aj v iných aplikáciách vďaka svojej veľkej podpore a rozšírenosti medzi užívateľmi. Základom tohto počítača je mikrokontrolér BCM2837, ktorý obsahuje 64-bitový 4-jadrový ARM Cortex-A53 procesor. Výkon tohto počítača je v porovnaní s prvou generáciou asi 10-krát väčší.

Na Raspberry Pi je možné nainštalovať viacero systémov. Väčšinou sa jedná o linuxové distribúcie, ale podporovaný je aj Windows 10 IoT.

Najpoužívanejší je systém *Raspbian*, čo je linuxová distribúcia založená na systéme Debian. Tento systém bude preto použitý aj v tejto práci. Ako disková jednotka pre systém a dáta bude použitá microSD karta s kapacitou 32GB.



Obr. 3: Raspberry Pi 3 B [22]

#### Základné vlastnosti Raspberry Pi 3 B

- Nízka cena: 41€ [farnell.com, 2016-12-22],

- Malé rozmery: 56 x 87,1mm,
- 64-bitový 4-jadrový procesor 1,2GHz,
- 1GB RAM,
- 40-pinový rozširujúci GPIO konektor,
- 4x USB 2.0 porty,
- Stereo audio výstup (3,5mm jack),
- HDMI 1.3 výstup,
- CSI camera port na pripojenie Raspberry Pi kamery,
- DSI display port na pripojenie Raspberry Pi dotykového displeja,
- 10/100 Mbit/s Ethernet, 802.11n wireless, Bluetooth 4.1,
- Typická spotreba samotnej dosky približne 400mA,
- Systémové úložisko do veľkosti 64GB s microSD kartou.

### 3.2.2 Dotykový 7“ displej pre Raspberry Pi

Kvôli väčšiemu komfortu pri nastavovaní pripojených zariadení a prehľadu domácnosti bude do ústredne pridaná podpora pre dotykový displej. Displej bude implementovaný ako voliteľná súčasť, teda pre fungovanie systému nebude nutné jeho pripojenie. Pri nepoužití displeja je možné konfiguráciu spraviť cez vzdialený prístup k webovému serveru, ktorý bude spustený na Raspberry Pi. Rovnakým spôsobom bude možné pripojené zariadenia aj ovládať.

Aby nebolo nutné vytvárať zbytočne dve rôzne rozhrania na ovládanie domácnosti (cez displej a cez vzdialený prístup), bude na displeji spustená aplikácia zobrazujúca rovnakú stránku správy zariadenia, ktorá je použitá aj pre vzdialené ovládanie. Pomocou aplikácie v Raspberry Pi tak bude možné získať rýchly prístup k informáciám zo senzorov, ovládaniu výstupov a k nastaveniam. Vybratý displej je priamo vyvinutý spoločnosťou Raspberry Pi Foundation vďaka čomu je jeho pripojenie jednoduché.

#### Základné parametre displeja

- Veľkosť displeja: 7“ (približne 177,8mm),
- Rozlíšenie: 800 x 480 @ 60fps,
- Pozorovacie uhly: 70°,
- Rozmery displeja: 194 x 110 x 20mm,
- Kapacitné snímanie dotyku, možnosť použiť až 10 prstov naraz,
- Napájanie: 5V 500mA,
- Cena: 65,70€ [farnell.com, 2016-12-30].

Displej je k Raspberry Pi pripojený pomocou konektoru DSI (Display Serial Interface). Pretože systém v Raspberry Pi je už nakonfigurovaný na používanie tohto displeja, stačí ho len v nastaveniach povoliť. Napájať displej je možné viacerou



spôsobmi. V našom prípade je nutné použiť napájanie zo záložného zdroja, ktorý napája Raspberry Pi, aby displej fungoval aj pri výpadku sieťového napájania.

### 3.3 Výber bezdrôtového modulu

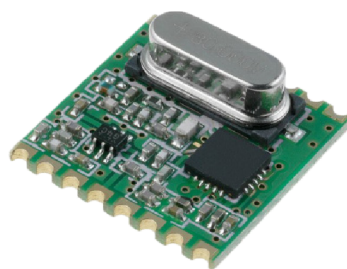
Pri výbere bezdrôtového modulu bolo nutné dbať najmä na spotrebu zariadenia kvôli použitiu v bezdrôtových aplikáciách. Zohľadniť bolo treba aj ďalšie požiadavky:

- Dostatočný výkon na pokrytie signálom celého domu a pozemku, možnosť obmedzenia vyžarovaného výkonu podľa normy,
- Prenosová frekvencia 433MHz alebo 868MHz,
- Dostatočná prenosová rýchlosť pre komunikáciu,
- Pripojenie pomocou štandardnej zbernice (I2C, ISP, UART),
- Nízka spotreba,
- Nízka cena.

Po preskúmaní možností sa ako najlepšie riešenie javili komunikačné moduly od firmy HopeRF. Do úvahy prichádzali len dve varianty bezdrôtových modulov. Variant s modulom RFM22B, ktorý odporučil konzultant a RFM69HW, ktorý je novší, lacnejší a podporuje viac štandardov. Aj napriek týmto výhodám bol použitý modul RFM22B kvôli kompatibilitate s ďalšími rozpracovanými FLATcon zariadeniami založenými na tomto module. Iné typy modulov neboli uvažované kvôli ich niekoľkonásobne vyššej cene.

#### 3.3.1 RFM22B

RFM22B je vysoko integrovaný, pomerne lacný bezdrôtový komunikačný modul. Vďaka svojim malým rozmerom a nízkej spotrebe sa veľmi hodí do miniatúrnych, batériou napájaných zariadení pre inteligentnú domácnosť. Tento modul sa vyrába v prevedeniach s rôznymi konektormi a rôznou pracovnou frekvenciou: 433, 470, 868 alebo 915MHz. Pre európsky trh sú určené 2 varianty: 433MHz a 868MHz. Na obrázku 4 je zobrazená verzia *RFM22B-433-S1*, ktorá je určená priamo na montáž na dosku plošných spojov. Jej veľkosť je len 16x16mm. [4]



Obr. 4: Bezdrôtový modul RFM22B-433-S1 [24]

#### Základné vlastnosti RFM22B

- Podporované frekvencie: 433, 470, 868, 915MHz,
- Citlivosť: -121dBm,
- Výstupný výkon nastaviteľný po 3dBm kroku s maximom +20dBm,

- Malá spotreba: 0,8mA v pohotovostnom režime, 18,5mA pri prijímaní a 30mA pri vysielaní s výkonom +13dBm,
- Prenosová rýchlosť: 0,123 – 256kbps,
- Napájacie napätie: 1,8 – 3,6V,
- Automatická kalibrácia frekvencie (AFC),
- Teplotný senzor,
- Indikátor slabej batérie.

Modul RFM22B využíva na komunikáciu techniku *Time Division Duplexing (TDD)*. Tá umožňuje simultánnu obojsmernú komunikáciu v jednom frekvenčnom pásme. Čas je rozdelený na časové sloty, ktoré sú vyhradené vysielaniu a prijímaniu. V jednom časovom slote modul prijíma a v druhom vysieľa, pričom veľkosť časových slotov sa môže meniť. [4]

Na komunikáciu nadradeného systému s týmto systémom sa používa štandardná 4 pinová zbernica SPI. Obvod obsahuje aj 3 GPIO vstupy/výstupy, ktorým je možné nakonfigurovať rôzne funkcie. V našom zariadení ich využijeme na výber RX/TX zosilňovača.

Na to, aby sme mohli jednoducho zachytávať prichádzajúcu bezdrôtovú komunikáciu, potrebujeme vedieť, kedy čítať dáta z RFM22B. Na toto slúži pin nIRQ bezdrôtového modulu. Obvod takto dokáže upozorniť nadradený riadiaci systém o prijatí dát tým, že pin nIRQ nastaví do log. 0. V systéme môže byť na tomto pine nastavené generovanie prerušenia pri úrovni log. 0 pre pohodlnú obsluhu tejto udalosti. Udalosti, pri ktorých je vyvolané prerušenie môžeme ľubovoľne nastaviť v dvoch registroch modulu. Takýmto spôsobom môžeme pohodlne vyriešiť prijímanie dát z modulu. Pre nastavenie tejto funkcie stačí povoliť v nastaveniach prerušenie pri prijímaní dát.

### **Maximálny vysielací výkon v ČR**

Aby sme zariadenie v pásme 433MHz mohli na území ČR legálne používať musíme vysielací výkon zariadenia obmedziť na hodnotu 10mW (10dBm) podľa Českého Telekomunikačného Úradu (ČTÚ). Nastavenie sa robí tiež pomocou registrov. Tento modul podporuje znižovanie vysielacieho výkonu iba po 3dBm krokoch, preto je nutné modul nakonfigurovať na vysielací výkon 8dBm.[8]

### **Anténa pre modul RFM22B**

Aby modul mohol s ostatnými zariadeniami komunikovať, potrebuje mať pripojenú anténu. Konkrétne modul RFM22B potrebuje anténu s vlnovou impedanciou 50Ω. Použitá anténa musí byť určená na frekvenciu 434MHz. Takúto anténu je možné kúpiť alebo jednoduchú náhradu vyrobiť. Postačí na to kus obyčajného pevného drôtu s izoláciou. Priemer drôtu je vhodné zvoliť v rozsahu 0,8

až 1mm. Dĺžku je potrebné vypočítať z použitej frekvencie ako  $\frac{1}{4}$  vlnovej dĺžky vynásobenú činiteľom skrátenia. Týmto vznikne anténa typu štvrt' vlnový monopól. Pre frekvenciu 434MHz určíme vlnovú dĺžku z nasledujúceho vzťahu:

$$\lambda = \frac{c}{f} = \frac{299\,792\,458}{434\,000\,000} = 690,77 \text{ mm} \quad (1)$$

$\lambda$  – vlnová dĺžka,  $c$  – rýchlosť svetla vo vzduchu,  $f$  – frekvencia signálu (v našom prípade 434MHz)

Z vlnovej dĺžky určíme potom dĺžku antény takto:

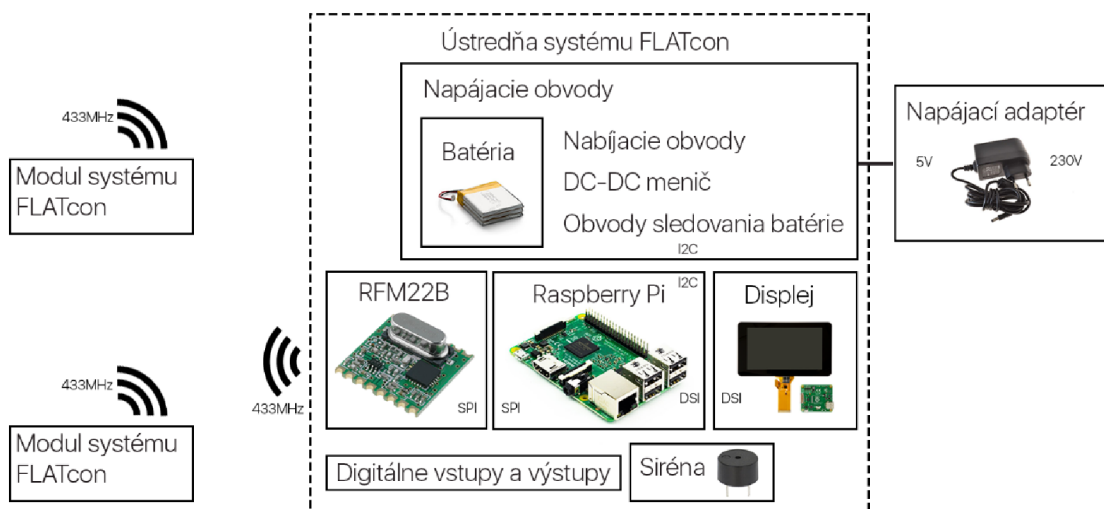
$$l = \frac{\lambda}{4} \cdot k = \frac{690,77 \cdot 10^{-3}}{4} \cdot 0,98 = 169 \text{ mm} \quad (2)$$

$l$  – dĺžka antény,  $k$  – činiteľ skrátenia (pre antény vo vzduchu má hodnotu 0,9 až 0,98)

Pre modul RFM22B použijeme anténu s dĺžkou 169mm.

### 3.4 Bloková schéma navrhnutého systému FLATcon

Na nasledujúcom obrázku je pre lepšiu predstavu uvedená bloková schéma centrálnej jednotky s modulmi systému FLATcon.



**Obr. 5: Bloková schéma systému FLATcon s modulmi [19]** Chyba! Nenašiel sa žiaden zdroj odkazov.[20]

### 3.5 Návrh napájacieho zdroja

Napájací zdroj je jedna z hlavných súčastí tohto projektu. Je potrebné, aby zdroj zabezpečil nepretržitú dodávku el. energie aj pri výpadkoch sieťového napätia.

Preto navrhovaný zdroj v sebe obsahuje aj batériu s DC-DC meničom, ktoré tieto požiadavky zabezpečia.

### 3.5.1 Požiadavky na napájanie

V nasledujúcich odrážkach budú uvedené jednotlivé požiadavky na napájanie periférií centrálnej jednotky:

- Raspberry Pi 3 B: DC 5V 1,34A max. pri zaťažení (priemerne 0,3A), [9]
- Raspberry Pi 7" displej: DC 5V 0,5A max., [18]
- Bezdrôtový modul RFM22B: DC 3,3V 30mA @ +13dBm max., [4]
- Nabíjanie batérie: DC 5V, max. 1A,
- Siréna: DC 5V 35mA max.,
- Digitálne výstupy DC 5V 0,5A max. spolu.

Pre dosiahnutie týchto požiadaviek a zabezpečenie určitej rezervy bol zvolený spínaný zdroj firmy BENQ SYS1298-1505-W2E s maximálnym výstupným výkonom 15W. Adaptér je schopný dodať pri napätí 5V maximálne 3A.

Raspberry Pi potrebuje na napájanie 5V, ale batéria poskytuje iba napätie 3V až 4,2V. Z tohto dôvodu bolo potrebné použiť DC-DC zvyšujúci „step-up“ menič. Požiadavky na výber meniča boli tieto: dodávaný prúd minimálne 2A pri 5V a miniatúrne puzdro meniča. Po prehľadaní rôznych online katalógov sa ako najlepšie riešenie javil obvod TPS61230 od firmy Texas Instruments. Tento obvod spĺňa požadované parametre a vo svojom puzdre už má integrovaný výkonový tranzistor, takže celkový návrh sa zjednoduší. Tento obvod je priamo určený na podobné aplikácie a potrebuje k svojej činnosti len niekoľko ďalších súčiastok. V katalógovom liste súčiastky sa nachádza priamo schéma zapojenia už s vypočítanými hodnotami potrebných súčiastok, takže nebolo potrebné robiť ďalšie výpočty. Veľký dôraz však bol kladený na výber komponentov a návrh plošného spoja, pretože nesprávny výber a rozloženie návrhu by mohli znamenať nefunkčnosť samotného zariadenia.

Na napájanie bezdrôtového modulu RFM22B je potrebné napätie 3,3V. Keďže na doske Raspberry Pi už je integrovaný stabilizátor napätia na 3,3V, s výhodou môžeme použiť ten a ušetríme tým ďalšie komponenty a miesto na plošnom spoji. Maximálny prúd, ktorý môžeme z 3,3V výstupu na Raspberry Pi odoberať je 50mA. Táto hodnota je dostačujúca, pretože použitý modul odoberá prúd 30mA maximálne pri vysielacom výkone 13dBm, ktorý v našej aplikácii nebudeme prekračovať.

### 3.5.2 Nabíjačka batérií MCP73834

Na nabíjanie batérie bol použitý obvod MCP73834 slúžiaci na nabíjanie Li-Pol alebo Li-Ion batérii. Obvod v sebe obsahuje všetko potrebné na zabezpečenie ideálneho nabíjacieho priebehu batérií. Nabíjací prúd batérie sa dá zvoliť pomocou

rezistoru v zapojení a jeho maximálna hodnota je 1A. Tento obvod v sebe zahŕňa aj tepelnú ochranu a vnútorný časovač nastavený na 6 hodín. Obe tieto funkcie zabezpečia vypnutie nabíjacieho cyklu a odpojenie batérie v prípade prekročenia času nabíjania alebo teploty batérie. Obvod je tiež vybavený tepelnou reguláciou prúdu. Pri vyšších teplotách je nabíjací prúd obmedzený a ak prekročí batéria teplotu 50°C, zareaguje tepelná ochrana a nabíjanie je pozastavené pokiaľ sa batéria neochladí o približne 10°C.

Ďalšou funkciou, ktorú obvod má, je automatické udržiavanie batérie nabitej. Po nabití batérie sa obvod odpojí, ale stále sleduje napätie na batérii. Ak napätie poklesne pod limitnú úroveň, batéria sa začne znova dobíjať.

Vďaka funkcii nastaviteľného nabíjacieho prúdu je možné nabíjanie batérie zapínať a vypínať tým, že za rezistor určujúci nabíjací prúd vložíme tranzistor. Potom pomocou napätia privedeného na tranzistor môžeme nabíjanie zapnúť alebo vypnúť.

### **3.5.3 Li-Ion a Li-Pol batérie**

V návrhu zariadenia boli kvôli zvoleným požiadavkám uvažované iba typy batérií Li-Ion a Li-Pol. Výhodou je, že tieto batérie sa dajú vyrobiť veľmi malé a v rôznych rozmeroch. Tieto batérie je potrebné nabíjať najskôr konštantným prúdom a pri dosiahnutí menovitého napätia (na jeden článok väčšinou 4,2V) sa nabíja konštantným napätím. Nabíjací prúd býva väčšinou volený 0,2C až 1C, pričom C označuje kapacitu batérie. Napr. batéria s kapacitou 2000mAh sa nabíja pri 0,5C prúdom 1A.

### **3.5.4 Použitá batéria**

Pri výbere batérie bolo potrebné zohľadniť požiadavky napájania. Najväčšou požiadavkou bola dostatočná prúdová zaťažiteľnosť a kapacita, ktorá zabezpečí niekoľkohodinovú prevádzku aj bez sieťového napájania. Ďalšími požiadavkami boli minimálne rozmery batérie a nízka cena. Po zohľadnení týchto požiadaviek bola pre navrhnuté zariadenie vybratá batéria s označením CL-18650-26H/1S3P od firmy *Cellevia Batteries*, ktorá týmto potrebám vyhovovala. Rozmery batérie sú iba 21×56×68mm. Jedná sa o Li-Ion batériu vytvorenú z 3 rovnakých článkov typu 18650 zapojených paralelne, z ktorých každý má kapacitu 2600mAh a nominálne napätie 3,6V. Výsledná kapacita je teda 7800mAh. Články sú vyberané tak, aby mali rovnakú vnútornú impedanciu, takže je možné ich nabíjať súčasne. Táto batéria v sebe obsahuje aj ochranné obvody proti nadmernému prúdu a skratu, a obvody na ochranu pred nabitím na vyššie ako menovité napätie (4,2V) alebo vybitie pod minimálnu úroveň (2,5V).

### 3.5.5 Sledovanie kapacity obvodom BQ27441-G1

Na sledovanie kapacity batérie bol použitý obvod BQ27441-G1 od Texas Instruments. Je to mikrokontrolérová periféria poskytujúca kompletné riešenie na sledovanie kapacity jednočlánkovej batérie s umiestnením na systémovej doske. Obvod vyžaduje minimálnu užívateľskú konfiguráciu a programové vybavenie. Pracuje na princípe počítania náboja, ktorý je dodávaný a odoberaný z batérie. Obvod meria napätie na pripojenej batérii a sleduje prúd, ktorý vteká do batérie pomocou bočníku. Na základe týchto údajov je potom obvod schopný určiť kapacitu batérie. Na výpočet zostávajúcej kapacity batérie používa obvod rôzne algoritmy. Technológia použitá v tomto obvode má názov *Impedance Track™* a je patentovaná spoločnosťou Texas Instruments. Pre užívateľa sú potom informácie o kapacite jednoducho získané vyčítaním dát z tohto obvodu pomocou I2C zbernice. Ďalšie informácie, ktoré obvod poskytuje sú: zostávajúci čas do vybitia, napätie na batérii, úroveň nabitia a teplota batérie. Vďaka svojim malým rozmerom (2,5x4mm) je obvod ideálny na aplikácie, kde je kladený veľký dôraz na miniaturizáciu. [6]

#### Technológia Impedance Track™

Táto technológia je založená na meraní impedancie batérie. Zistená impedancia je kľúčovým parametrom na odhadnutie zostávajúcej kapacity. Obvod meria a ukladá v reálnom čase odpor batérie ako funkciu stavu nabitia batérie. Zmerané profily odporu spolu s uloženými tabuľkami napätí naprázdno dovoľia obvodu odhadnúť vybíjaciu krivku v ľubovoľnom stave a pri ľubovoľnej teplote. Algoritmus integruje prúd (počíta náboj), keď je systém napájaný, a sleduje napätie naprázdno, keď je systém vypnutý na spresnenie stavu nabitia batérie. Na základe predpokladanej vybíjacej krivky dokáže obvod presne odhadnúť zostávajúcu kapacitu batérie a zostávajúci čas do vybitia batérie. Pretože obvod neustále upravuje zostávajúcu kapacitu a čas do vybitia na základe zmien v impedancii, sú v tomto odhade brané do úvahy aj teplota a starnutie batérie, čo poskytuje veľmi presné hodnoty počas celého života batérie v systéme. Ďalšou výhodou sledovania kapacity založenej na meraní impedancie je, že obvod môže byť umiestnený na systémovej doske (plošnom spoji) v aplikáciách s jedným batériovým článkom. Batériu je možné v aplikácii v prípade potreby aj vymieňať. [17]

### 3.5.6 DC-DC menič TPS61230 (TPS61232)

TPS61230 je synchronný zvyšujúci „step up“ DC-DC menič od Texas Instruments. Používa sa v batériovo napájaných zariadeniach, tabletoch, napájacích adaptéroch a v „power“ bankách. V našom zapojení slúži na udržanie konštantného výstupného napätia 5V pri napájaní z batérie. Výhodou je, že menič dosahuje veľkú účinnosť. Pri napájaní z 5V adaptéra až 96% a pri napájaní z batérie minimálne

85%. Vďaka svojim malým rozmerom (3x3mm) je obvod ideálny na aplikácie, kde je kladený veľký dôraz na miniaturizáciu. [5]

### **Základné parametre TPS61230**

- Rozsah vstupného napätia: 2,3V až 5,5V,
- Rozsah výstupného napätia: 2,5V až 5,5V (pri TPS61232 konštantne 5V),
- Minimálna účinnosť: 90% @  $U_{IN} > 4,2V$ , 85% @  $U_{IN} > 3V$ ,
- Maximálny výstupný prúd pri napájaní z batérie: 2,1A,
- Nastaviteľná hysteréza vstupného napätia,
- Odpojenie záťaže pri vypnutí,
- Výstupná prepäťová ochrana,
- Spínacia frekvencia: 2MHz.

## **3.6 Popis návrhu plošného spoja**

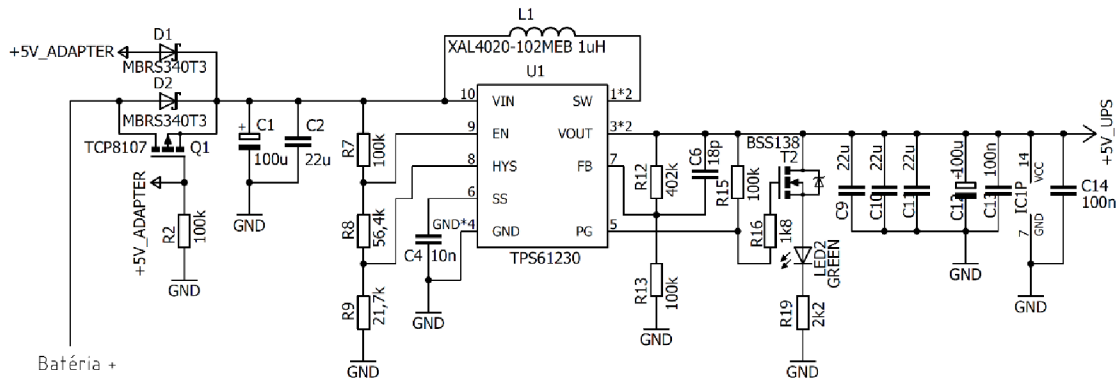
Pri návrhu plošného spoja bol veľký dôraz kladený na to, aby bolo výsledné zariadenie čo najmenšie a aby sa dalo pohodlne pripojiť k Raspberry Pi. Po zohľadnení množstva súčiastok potrebných na vytvorenie zariadenia bola veľkosť plošného spoja stanovená tak, aby sa dal plošný spoj jednoducho pripevniť pomocou dištančných stĺpikov a skrutiek priamo na Raspberry Pi. Rozmery boli volené tak aby sa neprekročila šírka a dĺžka Raspberry Pi. Na zabezpečenie napájania a prepojenie plošných spojov dátovo bol použitý GPIO konektor. Aby sa na túto dosku zmestili všetky súčiastky, bolo nutné použiť puzdrá SMD, ktoré zaberajú menej miesta.

### **3.6.1 Zapojenie DC-DC meniča TPS61230**

Tento obvod ku svojej činnosti potrebuje iba zopár súčiastok, ale kvôli funkčnosti je potrebné výberu venovať náležitú pozornosť. Hlavný komponent – cievka – musí byť dimenzovaná na dostatočný prúd a tiež musí mať dostatočný saturačný prúd. Zvolená cievka Coilcraft XAL4020-102MEB má maximálny prúd 9,6A a saturačný prúd 8,7A, čo poskytuje určitú rezervu. Zapojenie celého obvodu je možné vidieť na obrázku 6. Aby sme zabezpečili, že napájacie napätie pri výpadkoch nepoklesne, sú v zapojení použité Schottkyho diódy D1 a D2, ktoré zabezpečujú výber zdroja energie (adaptér alebo batéria). Pri napájaní z batérie je na zníženie strát a predĺženie výdrže batérie použitý P-MOSFET tranzistor Q1 zapojený paralelne k Schottkyho dióde. V prípade, že napájacie napätie vypadne, je tranzistor zopnutý a kladie pretekajúcemu prúdu len malý odpor veľkosti približne 10mΩ. Straty na ňom sú podstatne menšie ako na Schottkyho dióde. Schottkyho dióda je tu použitá kvôli tomu, že zopnutie tranzistora Q1 trvá dlho, pretože sa musia vybiť kondenzátory v adaptéri. Keramické kondenzátory na výstupe sú zapojené

paralelne pre zníženie celkového výstupného odporu. Na signalizáciu správneho výstupného napájania je použitá LED dióda LED2.

V zapojení je možné použiť aj obvod TPS61232. Jediným rozdielom je, že tento obvod nemá nastaviteľné výstupné napätie, ale výstup je konštantných 5V vďaka vnútornému deliču. Pri použití tohto obvodu je nutné namiesto rezistora R12 použiť rezistor s hodnotou 0Ω a neosadiť súčiastky R13 a C6.



Obr. 6: Zapojenie DC-DC meniča TPS61230

### Hysteréza vstupného napätia

Pre obmedzenie podvybitia pripojenej batérie umožňuje menič nastaviť napätové úrovne, pri ktorých sa menič zapína a vypína. Takto dokážeme nastaviť potrebnú hysterézu vstupného napätia. Pripojenú batériu nemôžeme vybíjať pod hodnotu 2,5V. Po zohľadnení úbytkov napätia na meracom bočníku a na tranzistore (maximálne 60mV), sme zvolili vypínacie napätie pre menič  $U_{OFF} = 2,6V$ . Zapínacie napätie sme zvolili s dostatočnou rezervou, aby sa obvod nerozkmital, keď odpojíme záťaž a napätie na batérii stúpne. Použili sme hodnotu  $U_{ON} = 3,3V$ . Pre výpočet hodnôt rezistorov bolo potrebné najskôr stanoviť hodnotu rezistoru R7, tú sme zvolili 100kΩ. Potom pomocou vzťahov 1 a 2 sme dopočítali potrebné hodnoty rezistorov R8 a R9. Použité vzťahy boli prevzaté z katalógového listu súčiastky. [5]

$$U_{OFF} = 1,14 \cdot \left(1 + \frac{R7}{R8+R9}\right) \quad (3)$$

$$U_{ON} = 1,19 \cdot \left(1 + \frac{R7}{R8}\right) \quad (4)$$

$$R8 = \frac{1,19 \cdot R7}{U_{ON} - 1,19} = \frac{1,19 \cdot 100\,000}{3,3 - 1,19} = 56,398\,k\Omega \quad (5)$$

$$R9 = \frac{1,14 \cdot R7}{U_{OFF} - 1,14} - R8 = \frac{1,14 \cdot 100\,000}{2,6 - 1,14} - 56398 = 21,7\,k\Omega \quad (6)$$

### 3.6.2 Zapojenie obvodov batérie

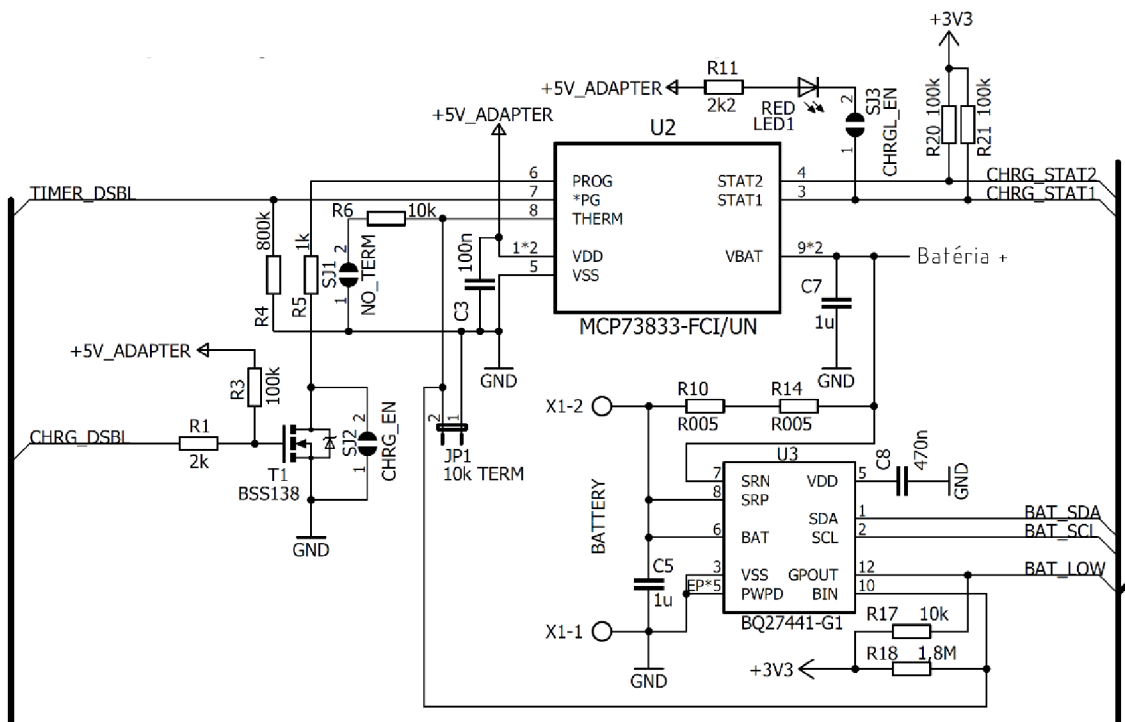
Obvod MCP73833 v zapojení zabezpečuje správne nabíjanie Li-Pol batérie. Batéria je k obvodu pripojená cez 2 rezistory R10 a R14, kvôli meraniu prúdu



obvodom BQ27441-G1. Rezistory majú menovitú hodnotu 5mΩ a nevzniká tak na nich veľký úbytok napätia. Kvôli bezpečnosti musí mať pripájaná batéria ochranné obvody priamo na plošnom spoji batérie, pretože v tomto návrhu takáto ochrana riešená nie je.

Na signalizovanie stavu batérie sú signály *STAT1* a *STAT2* privedené na GPIO Raspberry Pi. Signál *STAT1*, ktorý je aktívny počas nabíjania, je signalizovaný aj diódou LED1. Pre ovládanie nabíjania batérie bol zapojený tranzistor T3, ktorý pri zopnutí pripojí k obvodu rezistor R5 určujúci nabíjací prúd. Tento obvod takisto obsahuje časovač nastavený na 6 hodín pre ochranu batérie. Táto funkcia sa dá vypnúť v prípade použitia väčšej batérie, kedy by nabíjací cyklus trval dlhšie ako 6 hodín. Na to slúži výstup *TIMER\_DSBL* pripojený pomocou GPIO do Raspberry Pi. Pre správnu funkčnosť nabíjačky a ochranu zariadenia sa k obvodu pripája 10kΩ termistor umiestnený na batérii. Pomocou neho obvod meria teplotu batérie. Na pripojenie tohto termistora slúži konektor JP1.

Obvod BQ27441-G1 je pripojený zbernicou I2C do Raspberry Pi pinmi *SDA* a *SCL*. Tento obvod ďalej obsahuje výstup *BAT\_LOW*, ktorý je aktivovaný, keď batéria dosiahne kritickú úroveň. Pinom *BIN* je k obvodu tiež pripojený spoločný termistor.



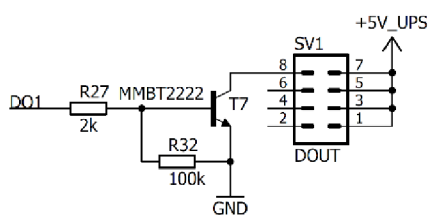
Obr. 7: Zapojenie obvodov batérie

### 3.6.3 Digitálne vstupy a výstupy

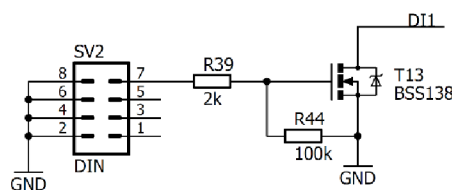
Pretože počítač Raspberry Pi má dostatok IO pinov, boli do návrhu zakomponované aj 4 digitálne vstupy a 4 digitálne výstupy. Na spínanie výstupov

boli použité tranzistory, schopné dodať prúd 500mA pri 5V, ale kvôli obmedzeniu napájacieho zdroja, ktorý nie je schopný pokryť takúto spotrebu, je nutné zabezpečiť, aby celkový prúd zo všetkých výstupov neprekročil 500mA. Digitálne výstupy nie sú nijako chránené, zapojenie je jednoduché a použitý je iba jeden NPN tranzistor. Báza tranzistora je pripojená na GPIO pin Raspberry Pi cez rezistor s hodnotou 2k $\Omega$ . Pre definovanie stavu digitálneho výstupu v prípade, že je pin Raspberry Pi v stave vysokej impedancie, je použitý druhý rezistor s hodnotou 100k $\Omega$ , ktorý zabezpečí vypnutie tranzistora. Zapojenie možno vidieť na obrázku 8. Tieto výstupy môžeme použiť na ovládanie iných periférií v blízkosti tohto zariadenia alebo ovládanie pridaných periférií priamo do centrálnej jednotky (napr. RFID modul).

Digitálne vstupy takisto nie sú chránené. Na zapnutie digitálneho vstupu je nutné naň priložiť napätie 5V. Po pripojení sa daný MOSFET tranzistor zopne a vstupný GPIO pin je pripojený na zem, čím môžeme generovať prerušenie a zabezpečiť potrebnú obsluhu.



**Obr. 8: Zapojenie digitálneho výstupu DO1**



**Obr. 9: Zapojenie digitálneho vstupu DI1**

### Signalizácia pomocou LED

Do výsledného návrhu boli zahrnuté aj 3 LED. Tieto LED sú pripojené cez SMD prepajky, ktoré je v prípade potreby možné prerušiť a LED takto vyradiť z funkcie. LED diódy majú nasledovné funkcie:

1. Zelená LED – signalizuje pripojený napájací adaptér,
2. Zelená LED – signalizuje, že napájacie napätie pre Raspberry Pi a obvody je na hodnote 5V, v prípade poklesu napätia pod 4,5V, LED zhasne,
3. Červená LED – signalizuje nabíjanie batérie.

### Siréna

Do návrhu plošného spoja bola ďalej zakomponovaná aj malá siréna („bzučiak“) pre zvukovú signalizáciu. Použiť ju je možné napríklad pri udalosti, ktorá vyžaduje zásah užívateľa. Ovládanie sirény je zabezpečené pomocou výstupného GPIO pinu. Zapojenie je možné vidieť v schéme zapojenia v prílohe A.

## Stav napájania

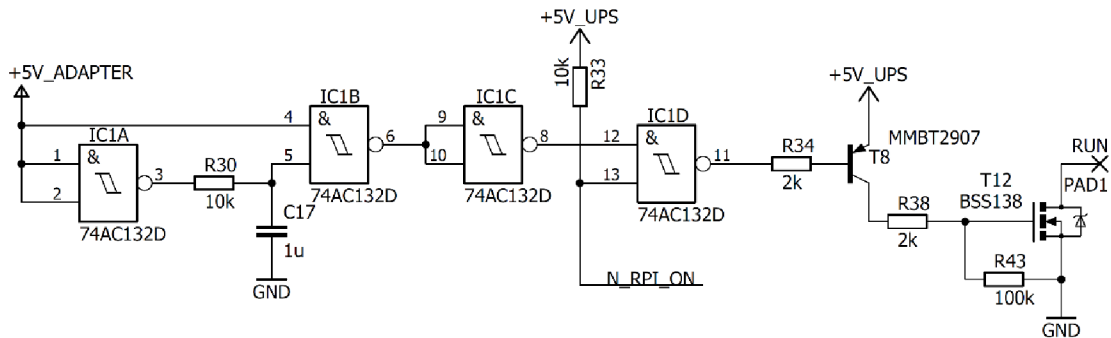
Aby Raspberry Pi malo informáciu o tom, či je sieťové napájanie pripojené, bolo použité zapojenie s tranzistorom T2. Jedná sa o jednoduché zapojenie NPN tranzistora. V prípade, že je napájanie pripojené, je tranzistor zopnutý a GPIO pin Raspberry Pi je uzemnený. Pri strate dôjde k vypnutiu tranzistoru a na GPIO sa objaví log. 1, vďaka vnútornému „pull-up“ rezistoru. Zapojenie je možné vidieť v schéme zapojenia v prílohe A.

### 3.6.4 Problém so zapínaním Raspberry Pi

Raspberry Pi je nastavené tak, aby sa vždy pri nábehu napájania zaplo a nabootovalo do operačného systému. Problém však nastáva, ak Raspberry Pi softvérovo vypneme, ale napájanie ponecháme. V tomto prípade môžeme zariadenie znova zapnúť tak, že odpojíme napájanie a znovu ho pripojíme čo v našom prípade použitia záložnej batérie nie je jednoduché zabezpečiť. Preto je na doske Raspberry Pi vyvedený pin s názvom *RUN*, ktorý zariadenie reštartuje ak ho uzemníme. Tento pin teda môžeme s výhodou použiť na zapínanie zariadenia v prípade, že dôjde k jeho vypnutiu. K vypnutiu zariadenia môže dôjsť, keď batéria dosiahne kritickú úroveň. V tomto stave môže byť softvérovo zabezpečené, aby sa zariadenie bezpečne vyplo a nedošlo tak k strate údajov. Po vypnutí Raspberry Pi už zostanú bežať iba napájacie obvody, ktoré nemajú veľkú spotrebu a batéria tak vydrží obvod napájať dlhšie. V prípade poklesu napätia batérie pod kritickú úroveň 2,6V dôjde k vypnutiu meniča, a tým k úplnému odpojeniu napájacích obvodov. Batéria je potom zaťažená už iba obvodom sledovania kapacity BQ27441-G1, ktorý má spotrebu nižšiu ako 0,1mA. Po opätovnom nábehu sieťového napájania, sa batéria začne dobíjať a zapne sa menič, ktorého prahová úroveň je nastavená na min. 3,3V.

V prípade, že po softvérovom vypnutí Raspberry Pi a nábehu napájania k vypnutiu meniča nedôjde, Raspberry Pi zostane vypnuté. Je teda nutné využiť funkciu pinu *RUN*. Na toto sú vytvorené logické obvody, ktoré zabezpečia generovanie impulzu na tento pin iba vtedy, ak bolo Raspberry Pi vypnuté a došlo k pripojeniu sieťového napájania. To či je Raspberry Pi zapnuté alebo vypnuté je signalizované GPIO pinom na Raspberry Pi s názvom *N\_RPI\_ON*. Zapojenie je možné vidieť na nasledujúcom obrázku 10. Rezistor R30 a kondenzátor C17 spolu tvoria RC článok s časovou konštantou  $\tau = R_{30} \cdot C_{17} = 10\,000 \cdot 1 \cdot 10^{-6} = 10\text{ms}$ . Pri zapnutí napájania sa zmení výstup na prvom NAND člene IC1A do log. 0. Vďaka RC členu je táto zmena prenesená na vstup IC1B s oneskorením  $\tau$ . Počas tohto oneskorenia je na oboch vstupoch IC1B log. 1. IC1C slúži iba ako invertor a na vstup IC1D privádza log. 1. Pri splnení podmienky, že je Raspberry Pi vypnuté (na pine *N\_RPI\_ON* je stav vysokej impedancie), je na oboch pinoch IC1D log. 1. Týmto sa

zmení výstup IC1D do log. 0, a tým sa zopne tranzistor T8a T12. Tranzistor T12 uzemní pin RUN a Raspberry Pi sa zapne.



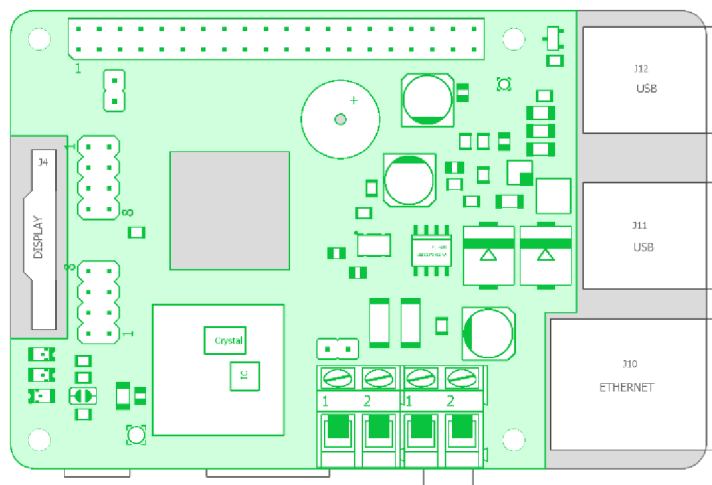
Obr. 10: Obvod zapínania Raspberry Pi s NAND hradlami

### 3.6.5 Chladienie

Pre lepšie chladienie dosky Raspberry Pi a jeho procesora je na plošnom spoji vytvorená diera, ktorou môže teplý vzduch vychádzať. V prípade väčšieho zahrievania, je tak možné na procesor umiestniť chladič.

### 3.7 Navrhnutá doska plošných spojov (DPS)

Pri návrhu dosky plošných spojov bol dôraz kladený na čo najväčšiu miniaturizáciu zariadenia. Tvar a veľkosť plošného spoja je zvolený tak, aby sa dal plošný spoj pripevniť na vrch Raspberry Pi a aby plošný spoj nepretrel za okraje. Pre lepšiu predstavu vytvoreného plošného spoja je na nasledujúcom obrázku 11 zobrazený plošný spoj spolu s doskou Raspberry Pi. Zelenou farbou je vyznačená navrhnutá doska. Ostatné časti patria doske Raspberry Pi.



Obr. 11: Zobrazenie DPS z vrchu spolu s doskou Raspberry Pi

V nasledujúcej tabuľke sú pre lepší prehľad uvedené základné parametre navrhnutého plošného spoja a batérie.

Rozmery DPS	56 x 65,4 mm
Vstupné napätie	5V
Priemerná prúdová spotreba v klude (bez LCD)	0,5A
Priemerná prúdová spotreba v klude (s LCD)	1A
Maximálna špičková spotreba	2,9A
Maximálny výstupný prúd záložného zdroja	2A
Parametre batérie	3,6V 7800mAh
Nabíjací prúd batérie	max. 1A
Maximálna povolená zaťažiteľnosť batérie	5A
Maximálny odoberaný prúd z batérie riadiacou jednotkou	3,9A (pri výstupe 5V 2A)

**Tab. 1: Prehľad parametrov navrhnutého zariadenia**

### 3.8 Druhá revízia dosky plošných spojov

Na základe vyrobeného prototypu dosky plošných spojov zo semestrálnej práce boli odhalené niektoré funkčné chyby v zapojení a doska bola upravená. V novej verzii boli vymenené niektoré bipolárne tranzistory za unipolárne a tiež bol vykonaný prepočet hodnôt rezistorov v zapojení DC-DC meniča, ktoré určujú hysterézu vstupného napätia. Prepočet bol nutný kvôli zmene batérie. Ďalej bolo potrebné vymeniť obyčajný preklápací obvod s hradlami NAND za Schmittov obvod. Tento obvod bol použitý vďaka jeho hysteréze na vstupe. Vďaka tejto vlastnosti môže byť na vstup privedený aj pomaly sa meniaci signál a výstup hradla nezakmitá.

Ďalšou zmenou na doske plošných spojov bola zmena veľkosti otvoru na chladenie procesoru na doske počítača Raspberry Pi. Otvor bol zväčšený a bol zmenený jeho tvar z guľatého na štvorcový, aby bolo možné na procesor umiestniť štandardný chladič.

Poslednou úpravou v druhej verzii bola zmena antény zo štvrt' vlnového monopólu na špirálovú anténu. Účelom tejto zmeny bolo zmenšiť veľkosť antény, ktorá prekážala. Týmto sa dosiahla zmena dĺžky na približne jednu štvrtinu. Zároveň sa ale zhoršil dosah antény, čo však pri súčasnom stave testovania nie je podstatné.

Pri nasadení zariadenia na väčšie vzdialenosti (napr. pokrytie záhrady, priľahlého pozemku) je nutné použiť pôvodnú anténu typu štvrt' vlnový monopól.

### 3.9 Testovací modul s relé

Na otestovanie funkčnosti a odladenie riadiacej jednotky bol navrhnutý jednoduchý testovací modul s bezdrôtovým modulom RFM22B a relé. V návrhu bol použitý mikroprocesor AVR ATTiny13. Po vyrobení dosky plošných spojov sa však pri oživovaní vyskytli problémy. Program napísaný pre tento mikroprocesor presahoval niekoľkonásobne veľkosť FLASH pamäte tohto mikroprocesora. Nebolo možné ho teda nahráť do tohto modulu. Preto bolo nutné vymyslieť iné riešenie. Vďaka tomu, že na použitom testovacom module boli všetky potrebné kontakty vyvedené na konektore, bolo možné použiť na prepojenie externú vývojovú dosku. Použitá bola doska s mikroprocesorom AVR Atmega32 s pamäťou 32KiB. Keďže mikroprocesor na vývojovej doske pracuje na napätí 5V a modul môže pracovať s napätím maximálne 3,3V, bolo nutné vytvoriť prevodník napätových úrovní. Prevod bol vytvorený pomocou jednoduchých napätových deličov v smere dát z vývojovej dosky do modulu. V opačnom smere nebolo nutné nijako úrovne prevádzať a kontakty sa mohli prepojiť priamo, pretože hodnota napätia 3,3V je na vstupe mikroprocesora reprezentovaná už za log. 1.

Originálna schéma a návrh plošného spoja testovacieho modulu sú uvedené v prílohe E. Keďže tento návrh nie je možné použiť bez externej vývojovej dosky, je nutné ju pre použitie upraviť. V schéme stačí vymeniť len spomínaný mikroprocesor za typ s väčšou FLASH pamäťou. Odporúčaná veľkosť pamäte je minimálne 16KiB.

## 4 NÁVRH VLASTNÉHO ZARIADENIA (SOFTVÉR)

Táto kapitola sa zaoberá návrhom a programovaním softvéru pre navrhnutú centrálnu jednotku. Softvér sa skladá z niekoľkých častí, ktoré spolu vytvárajú rozhranie pre jednoduchú správu pripojených zariadení. Jednotlivé časti:

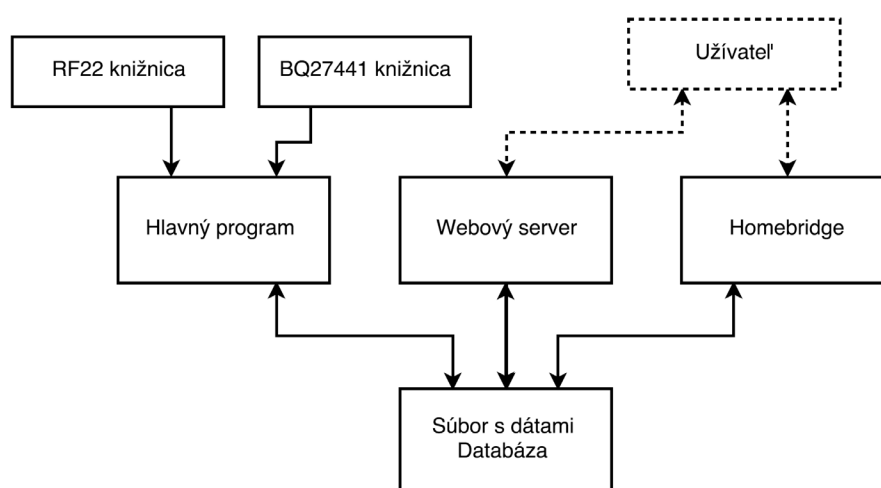
- Hlavný riadiaci program,
- Webový server,
- Pomocný server pre ovládanie pomocou Apple zariadení (Homebridge).

### 4.1 Požiadavky na softvér

Softvér musí spĺňať nasledovné funkcie:

- Vytvoriť jednoduché rozhranie pre užívateľa na ovládanie domácnosti,
- Zabezpečiť pripojenie daného modulu do systému FLATcon,
- Zaistiť dynamické priradenie adresy každému pripojenému modulu,
- Zabezpečiť spoľahlivú komunikáciu s pripojenými modulmi,
- Informácie o zariadeniach ukladať do súboru (prípadne do databázy),
- Zabezpečiť správu batérie, nabíjanie, sledovanie kapacity,
- Zabezpečiť obsluhu a sledovanie hardvéru (pripojenie napájania, batéria, SPI, I2C komunikácia, siréna, digitálne vstupy a výstupy).

Na základe týchto požiadaviek bol navrhnutý jednoduchý model programov, ktoré budú zabezpečovať uvedené funkcie. Model je zobrazený na nasledujúcom obrázku.



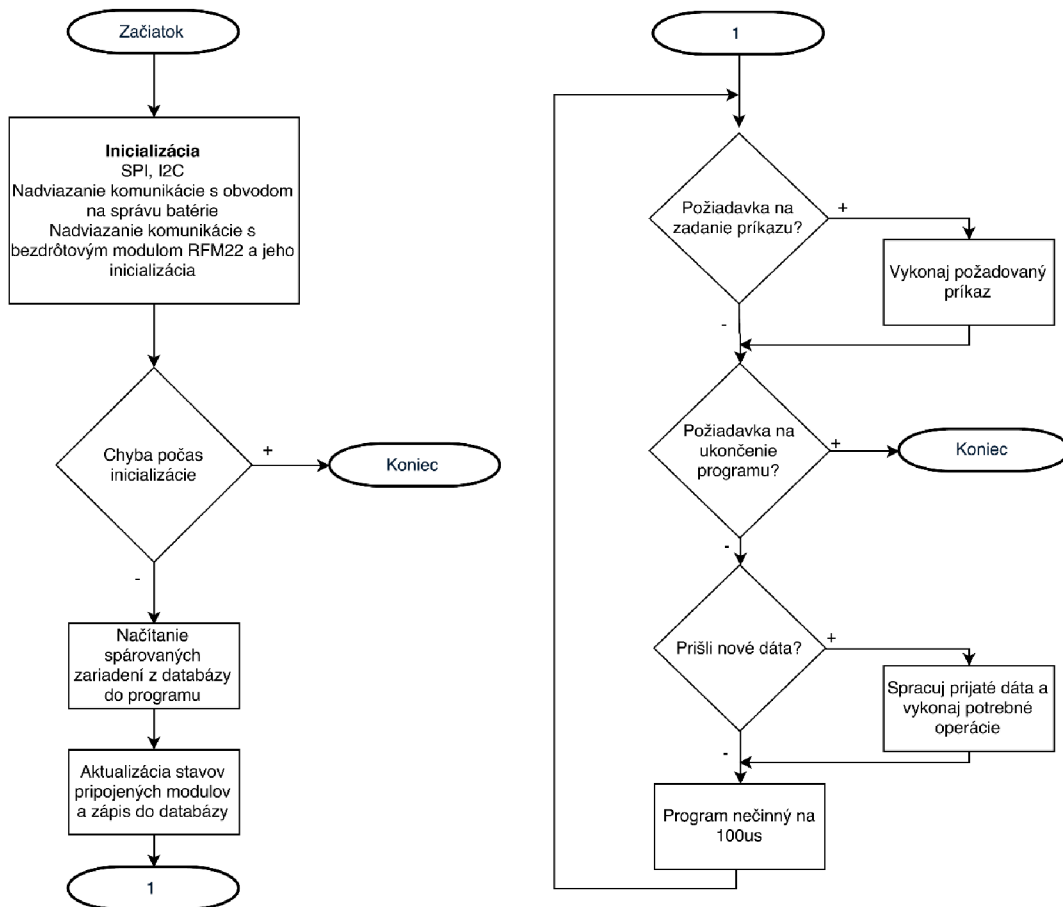
**Obr. 12: Model programov centrálnej jednotky**

Na obrázku sú znázornené tri hlavné programové bloky tvoriace softvérové vybavenie centrálnej jednotky. Webový server a program *Homebridge* tvoria

vstupno-výstupné rozhranie pre užívateľa. Užívateľ pomocou nich zadáva príkazy alebo číta stavy pripojených zariadení. Pre realizáciu požiadaviek zadaných do systému užívateľom sa využíva hlavný program, ktorý príkazy z webového servera a programu *Homebridge* realizuje. Na obrázku sú ďalej znázornené použité knižnice, ktoré program pri svojej činnosti používa. Bližší popis činnosti uvedených blokov bude rozobraný v jednotlivých podkapitolách. Nasledujúca podkapitola sa bude venovať zjednodušenému popisu hlavného programu. Knižnice a použité funkcie budú popísané v ďalších podkapitolách.

## 4.2 Hlavný program

Tento program je napísaný v jazyku C++ a spúšťa sa vždy pri štarte minipočítača Raspberry Pi. Program riadi hardvér počítača a ovláda komunikačné zbernice SPI a I2C. Zároveň sa stará o prijímanie a odosielanie dát pre moduly, a ich adresáciu. V programe boli použité dve voľne šíriteľné knižnice na prácu s bezdrôtovým modulom RFM22[24] a obvodom na sledovanie batérie BQ27441[25]. Nasledujúci obrázok ukazuje zjednodušený vývojový diagram tohto programu.



Obr. 13: Zjednodušený vývojový diagram programu



## 4.2.1 Popis hlavného programu

Program pri svojom štarte najskôr vykoná inicializáciu. Nastaví vstupno-výstupné porty, ktoré sú použité na ovládanie pripojených periférií. Pre prácu so vstupno-výstupnými portami na počítači Raspberry Pi je použitá voľne dostupná knižnica *WiringPi* [26], ktorá poskytuje jednoduché rozhranie a obsahuje všetky potrebné funkcie na obsluhu periférií, vrátane rozhraní SPI a I2C. Pri inicializácii je nastavený jeden digitálny výstup na signalizáciu, že Raspberry Pi je zapnuté, kvôli obvodom resetovania, ktoré boli opísané v podkapitole 3.6.4. Po úspešnom dokončení inicializácie sú všetky periférie nastavené a program pokračuje ďalej, v prípade chyby sa vypíše hlásenie o chybe a program sa ukončí.

Po inicializácii program načíta obsah databázového súboru. Tento súbor obsahuje zoznam pripojených modulov a informácie o nich v prípade, že už nejaké moduly boli spárované. Bližší popis tohto súboru bude uvedený neskôr.

Pre každý modul sa v programe vytvorí objekt, ktorý daný modul reprezentuje. Každý typ modulu má definovanú svoju vlastnú triedu, pričom všetky majú spoločného predka, triedu „FLATconNode“. Táto trieda slúži ako základ každého modulu. Obsahuje parametre a metódy, potrebné pre reprezentáciu modulu v programe a definuje spoločné parametre pre každý modul. Trieda definuje tieto parametre: adresa daného modulu, typ, názov, číslo modulu a jeho momentálna dostupnosť v systéme. Jednotlivé moduly potom stavajú na tomto základe a definujú si ďalšie potrebné parametre. Napríklad pre vytvorený testovací modul s relé, ktorý môže binárne spínať svoj výstup, je definovaný iba jeden parameter, ktorý reprezentuje stav zopnutia relé. Trieda pre tento typ modulu má definované jednoduché rozhranie, ktorým zariadenie ovládame. V tomto prípade sú to funkcie „on()“ a „off()“, pomocou ktorých meníme stav relé a funkcia „state()“ na zistenie súčasného stavu relé bez jeho zmeny.

Po vytvorení všetkých objektov reprezentujúcich pripojené zariadenia, program zistí dostupnosť každého pripojeného modulu a súčasný stav a zapíše ich do databázového súboru. Potom nasleduje spustenie serveru *Homebridge* pre podporu natívneho ovládania pomocou Apple zariadení. Po spustení serveru program prechádza do nekonečného cyklu, v ktorom kontroluje prijatie požiadaviek a zabezpečuje obsluhu prijatých dát z modulu RFM22.

V nasledujúcich odsekoch budú teraz popísané jednotlivé časti programu obširnejšie.

### Spracovanie požiadaviek (signály)

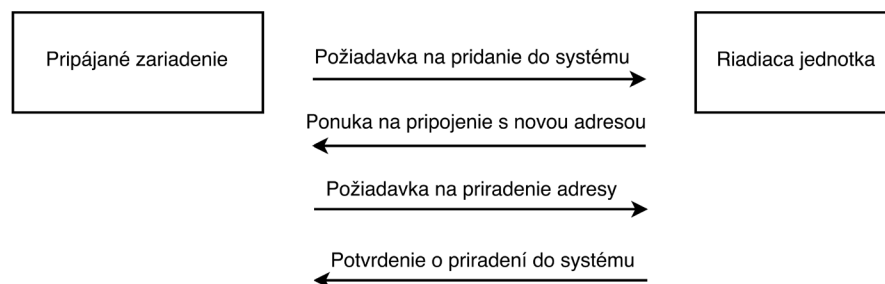
Do programu je možné posilať asynchrónne požiadavky pomocou signálov operačného systému. Definované sú 3 signály. Prvý definovaný signál je *SIGINT*, po ktorého prijatí sa program správne ukončí. Tento signál môžeme poslať programu

pomocou konzoly, stlačením klávesovej skratky Ctrl+C. Ďalším definovaným signálom je *SIGUSR1*. Po prijatí tohto signálu program prečíta databázový súbor a stavy aktualizuje podľa neho. Tento signál posielajú hlavnému programu ďalšie programy po aktualizácii databázového súboru. Posledný signál, ktorý má priradenú svoju funkciu je signál *SIGSTOP*, tento signál je využitý na testovacie účely. Tento signál môžeme poslať programu pomocou konzoly, stlačením Ctrl+Z. Po poslaní tohto signálu do programu, môžeme v riadiacom termináli programu zadávať príkazy. Definovaných je niekoľko príkazov, ktoré majú iba testovací účel a pri prevádzke nie sú využívané.

### Pridanie zariadenia do systému (spárovanie)

Spárovanie patrí medzi kľúčové procesy prebiehajúce v systéme, preto bude tejto téme venovaná väčšia pozornosť. Pri riešení tohto problému bol dôraz kladený na to, aby bolo pridanie nového zariadenia do systému čo najjednoduchšie.

Do systému FLATcon je možné pridať ľubovoľný počet zariadení jedného typu, ktoré je nutné v systéme od seba odlišiť. Každé zariadenie musí byť v sieti jednoznačne identifikované svojou adresou. Statické adresovanie teda nemôže byť použité, pretože zariadenia rovnakého typu by nebolo možné rozlíšiť. Prípadne by sa musela každému modulu ručne nastaviť adresa. To by pri niektorých moduloch nemuselo byť realizovateľné. Riešenie tohto problému spočíva v implementácii dynamickej adresácie modulov. Týmto sa vyhneme kolíziám, ktoré by mohli nastať pri statickom adresovaní a pripájanie modulu do systému sa zjednoduší. Na implementáciu dynamickej adresácie bol použitý model protokolu DHCP. Tento protokol slúži na dynamické priradovanie adres v počítačovej sieti. Model tohto protokolu upravený pre potreby systému FLATcon je zobrazený na nasledujúcom obrázku.



**Obr. 14: Model upraveného protokolu DHCP**

Vo vytvorenej sieti modulov má každý modul pri prvom zapnutí implicitne nastavenú adresu 0. Tá označuje, že modul ešte nebol pripojený k žiadnej centrálnej jednotke a nemôže vykonávať žiadnu činnosť. Modul sa najskôr musí do siete systému pripojiť. Pre pripojenie je nutné, aby dané zariadenie poslalo požiadavku

do systému. Toto bolo v testovacom module realizované tlačidlom. Pri podržaní tlačidla na 3 sekundy sa zariadenie prepne do párovacieho režimu a pošle požiadavku centrálnej jednotke. Tá odpovie naspäť s ponukou voľnej adresy. Pripájaný modul potom musí ešte potvrdiť, že si priradí túto adresu, tým že pošle požiadavku s adresou späť do centrálnej jednotky. Ak nenastala chyba a centrálna jednotka prijme požiadavku so správnou adresou, danému modulu priradí túto adresu a pošle mu potvrdenie. Modul si až potom túto adresu priradí a začne ju používať. Ak počas priradovania adresy nastane chyba, modul zostáva v nepripojenom stave a je nutné túto akciu zopakovať.

Po úspešnom pripojení modulu začne centrálna jednotka s daným modulom komunikovať už pomocou novej adresy a pošle mu požiadavku aby sa identifikoval. Na túto požiadavku modul pošle do centrálnej jednotky informácie o type modulu. Po spracovaní týchto dát vytvorí centrálna jednotka potrebné objekty na reprezentáciu modulu a párovanie je týmto dokončené.

### **Získanie voľnej adresy**

Aby dynamické adresovanie fungovalo, musí mať centrálna jednotka prehľad o používaných a voľných adresách. Na tento účel bola vytvorená nová trieda s názvom „AddressPool“, ktorá sa stará o správu adries v programe. Pomocou metód tejto triedy môžeme adresy jednoducho vyberať a vracať späť.

### **Ovládanie pripojených zariadení**

Na ovládanie pripojeného modulu používa program metódy definované v triede zariadenia. Vytvorený testovací modul má definované metódy na zapnutie a vypnutie relé. Pri zavolaní príslušnej metódy sú do zariadenia odoslané potrebné dáta reprezentujúce žiadaný príkaz. Príkazy sú do daného zariadenia posielané v prípade zmeny jeho stavu v databázovom súbore. Tie môže užívateľ zmeniť pomocou webového serveru alebo cez Apple zariadenie. Podrobnosti ohľadom zdieľania informácií medzi programami budú opísané v nasledujúcom odseku.

### **Zdieľanie informácií medzi hlavným programom a webovým serverom**

Aby mohli byť aktuálne informácie o zariadeniach zobrazené na stránke, bolo nutné vytvoriť mechanizmus, ktorý informácie z programu zapíše na miesto, odkiaľ si ich potom webový server môže načítať. Pri riešení tohto problému bolo zvažované použitie klasického súboru a *mysql* databázy. Pre jednoduchosť realizácie bola zvolená implementácia tohto prenosu pomocou klasického textového súboru.

Hlavný program pri spustení generuje súbor s názvom „rpihome.data“. Vzorový obsah súboru pri použití testovacieho modulu s relé:

```
00 #This file contains FLATcon devices and its current states.
01 #Type Number Address Avail. Other device parameters
02 switch 1 100 1 1
```

### Kód 1: Ukážka súboru „rpihome.data“

Z nasledujúcej ukážky je vidieť, že každý riadok reprezentuje jedno pripojené zariadenie. Každé zariadenie je identifikované svojim číslom a adresou. Adresa každého zariadenia je unikátna a používa sa na prenos informácií bezdrôtovo. Ďalší parameter, „Avail.“, označuje, či je zariadenie v dosahu. Program parameter nastaví na „1“ v prípade, že so zariadením sa dá komunikovať a na „0“, ak sa zariadenie stratí z dosahu alebo je vypnuté, prípadne sa vybijú batérie. Za týmito všeobecnými parametrami sa nachádzajú konkrétne parametre daného typu modulu. V prípade zariadenia „switch“, ktoré označuje testovací modul s relé, sa tu nachádza iba jedna informácia o jeho stave ( log. 1 alebo 0). Iné zariadenia môžu mať nadefinované ľubovoľné množstvo informácií, pričom ukončené musia byť znakom nového riadku.

### Prístup k databázovému súboru

Na prístup do databázového súboru a prepis hodnôt spárovaných zariadení je potrebné vytvoriť pre každý typ zariadenia skript v jazyku *bash*. Pre testovacie účely bol zatiaľ vytvorený iba súbor „switch.sh“, ktorý dokáže pracovať iba so zariadením typu *switch*, ktorý reprezentuje testovací modul. Skript dokáže čítať alebo nastavovať stav zariadenia, adresu, počet pripojených zariadení a zistiť stav zariadenia. Pre vykonanie danej operácie, musíme skript zavolať s príslušnými parametrami. Tu je zoznam podporovaných operácií (začiatková bodka a lomítko v príkazoch slúži na spustenie príkazu v danom adresári):

- `./switch "číslo zariadenia"` – prečíta stav zariadenia a vráti ho v návratovej hodnote,
- `./switch "číslo zariadenia" „stav zariadenia“` – nastaví zariadenie do žiadaného stavu,
- `./switch -a "číslo zariadenia"` – zistí adresu daného zariadenia a vráti ju v návratovej hodnote,
- `./switch -o "číslo zariadenia"` – zistí, či je dané zariadenie dostupné, výsledok v návratovej hodnote,
- `./switch -r "číslo zariadenia"` – odstráni zariadenie zo systému.

Tento skript využíva webový server aj program *Homebridge*.

## **Natívna podpora pre Apple zariadenia (Homebridge)**

Podpora pre Apple zariadenia, ktoré ponúkajú vlastné centrum na spravovanie inteligentnej domácnosti, bolo implementované pomocou programu *Homebridge*. Tento program vytvára vrstvu zabezpečujúcu potrebné prepojenie. Za týmto programom stoja programátori Nick Farina a Khaos Tian a niekoľko ďalších, ktorí dodali podporu pre jednotlivé zariadenia. Prenos údajov medzi hlavným programom a serverom *Homebridge* prebieha rovnako ako prenos z webového servera, ktorý je popísaný vyššie.

### **4.2.2 Popis knižnice RF22**

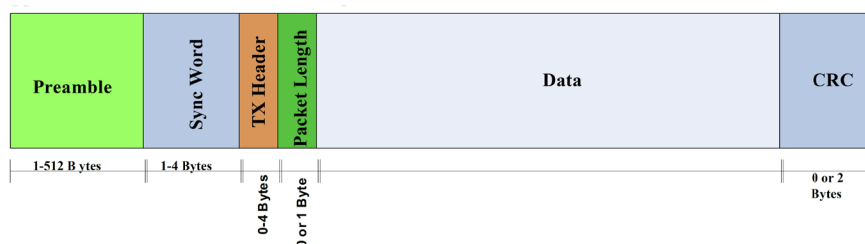
Táto knižnica bola voľne prevzatá z internetu, odkaz na stránku môžete nájsť v zozname použitých zdrojov [24]. Napísaná je v jazyku C++, vďaka čomu ju bolo jednoduché implementovať do nášho programu, ktorý bol napísaný v rovnakom jazyku. Knižnica ponúka vďaka definovaným triedam vysokú abstrakciu. Základnou triedou, ktorú je možné použiť je „RF22“. Táto trieda má definované všetky potrebné funkcie na prácu s bezdrôtovým modulom. Keďže je knižnica napísaná originálne pre použitie na platformách s *Arduinom*, bolo potrebné niektoré funkcie modifikovať, aby boli použiteľné aj na našej platforme – Raspberry Pi. Prepísať bolo nutné funkcie na komunikáciu cez SPI. Tie boli nahradené funkciami z použitej knižnice *WiringPi*, ktorá obsahuje podporu SPI pre Raspberry Pi.

Knižnica ponúka rôzne spôsoby komunikácie medzi zariadeniami. Každý spôsob komunikácie je definovaný vlastnou triedou. Základný spôsob komunikácie definovaný triedou „RF22“ poslúžil iba na testovacie účely, pretože zariadenia nemajú priradenú vlastnú adresu a všetky odoslané dáta sú prijímané všetkými zapnutými zariadeniami v dosahu. Tento spôsob komunikácie je nespoľahlivý, pretože odosielateľ nedostane informáciu o tom či odoslaná informácia príjemcovi dorazila. Nadstavbou na túto triedu je trieda „RF22Datagram“, ktorá už ponúka adresovanie zariadení, ale prenos je stále nespoľahlivý. Nadstavbou na túto triedu je „RF22ReliableDatagram“, ktorá už zabezpečuje spoľahlivý prenos a vyhovuje tak potrebám bezdrôtovej komunikácie v systéme.

### **Popis pripojenia**

Pripojenie modulov je bezdrôtové a pracuje na frekvencii 434MHz. Všetky potrebné parametre bezdrôtovej komunikácie robí samotná knižnica svojou inicializačnou funkciou. Implicitne knižnica nastaví tieto parametre komunikácie: modulácia typu FSK, bez kódovania „Manchester“, dátový tok 2.4kbs, odchýlka frekvencie 36kHz. Tieto nastavenia sme ponechali implicitne nastavené. Ďalej je pre odosielanie dát do ďalšieho modulu nutné nastaviť správne parametre RFM22 pre

paket. Paket tvoria synchronizačné dáta, hlavička, užívateľské dáta a kontrolný súčet. Presný obsah paketu RFM22:



**Obr. 15: Formát paketu modulu RFM22**

Parametre komunikácie (Preamble (slúži na doladenie frekvencie), synchronizačné slovo, CRC) sa nastavujú pri inicializácii modulu. Pri odosielaní dát je nutné už iba nastaviť hlavičku (príjemcu, odosielateľa) a dáta môžeme odoslať. Na tieto účely sú v knižnici vytvorené potrebné funkcie.

### **Prenos dát medzi zariadeniami**

Odoslanie dát medzi zariadeniami prebieha v dvoch krokoch. Prvý krok je odoslanie dát. Zariadenie zavolá príslušnú funkciu a nastaví adresu príjemcu. Dáta pošle do modulu RFM22 a čaká dokedy sa neodošlú. Potom v cykle kontroluje či bolo prijaté potvrdenie od daného zariadenia. Ak bolo prijaté, funkcia vráti log. 1 v opačnom prípade vráti log. 0. Podmienka v cykle je kontrolovaná maximálne stanovenú dobu, v našom prípade 200ms. Tento cyklus sa zopakuje niekoľkokrát v závislosti na nastavenom počte opakovaní odosielenia.

Pri prijatí dát modulom RFM22 ďalšieho zariadenia je vygenerované prerušenie. Ak nastane chyba počas odosielenia a neseď kontrolný súčet, prerušenie nie je generované a dáta sú zahodené. Kontrolný súčet sa overuje priamo v bezdrôtovom module a nadradený mikroprocesor sa tak o chybe nedozvie.

V prípade, že nenastala chyba, je prerušenie generované bezdrôtovým modulom spracované mikroprocesorom a ten si potom z vnútorného FIFO registra prečíta prijaté dáta. Ak sú dáta v poriadku prečítané, zariadenie odošle naspäť potvrdenie o prijatí a týmto je prenos ukončený.

### **4.2.3 Popis knižnice BQ27441**

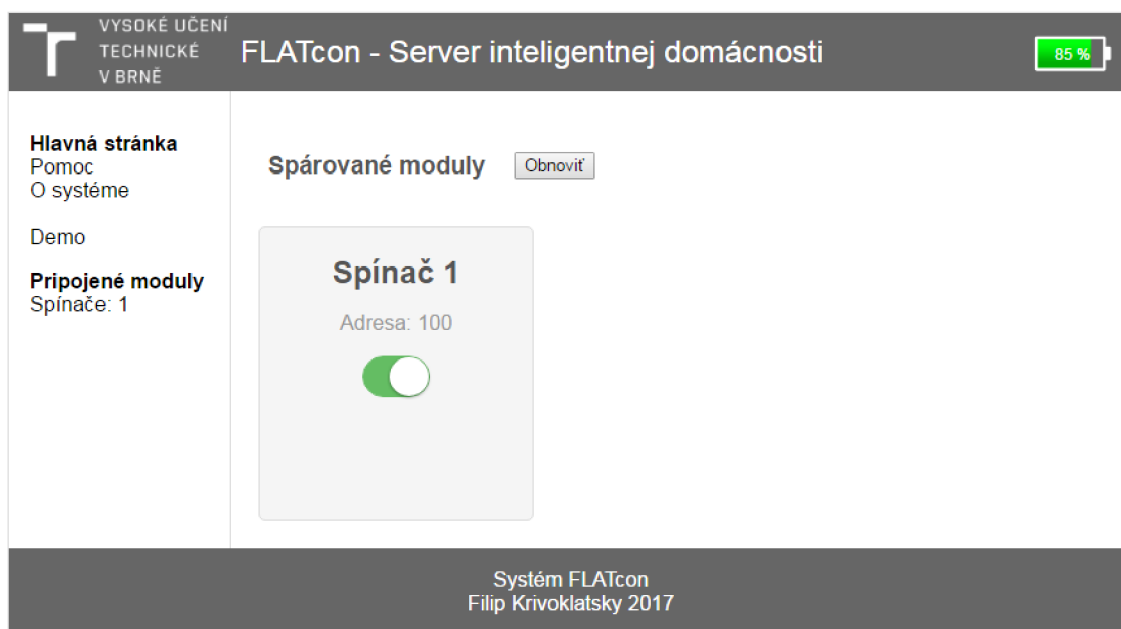
Táto knižnica slúži na inicializáciu a komunikáciu s obvodom sledovania kapacity batérie. Rozhranie je podobné ako v prípade knižnice RF22. Základom je definovaná trieda typu „BQ27441“. Trieda obsahuje všetky potrebné funkcie na správu a inicializáciu. V programe potom pomocou týchto funkcií prečítame aktuálne stavy batérie (percentuálny stav nabitia, zostávajúca kapacita, napätie, prúd a ďalšie informácie). Z týchto všetkých informácií je použitý iba jeden údaj s informáciou

o percentuálnom stave nabitia batérie, ktorý je zobrazený na stránke webového serveru.

## 4.3 Webové rozhranie

Na spravovanie a ovládanie zariadení pripojených do systému bol na Raspberry Pi vytvorený webový server. Jedná sa o „Apache 2“ server. Stránky na tomto serveri sú napísané v jazyku PHP. Vďaka PHP je stránka pred odoslaním klientovi preložená a sú do nej doplnené aktuálne informácie o zariadeniach. PHP server na načítanie informácií o zariadeniach používa definovaný skript „switch.sh“, popísaný vyššie.

Náhľad stránky môžete vidieť na nasledujúcom obrázku.



Obr. 16: Snímka hlavnej stránky

### 4.3.1 Popis stránky

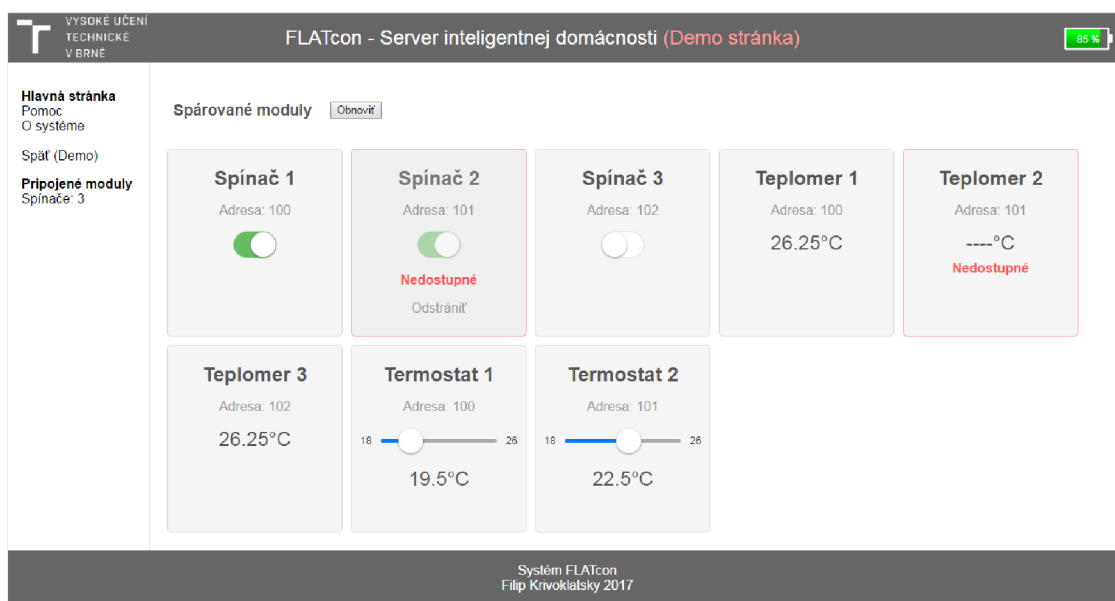
Na bočnom paneli stránky je možné zobrazit' informácie o systéme kliknutím na položku „O systéme“ alebo postup pri inštalácii systému a pridávaní zariadení kliknutím na položku „Pomoc“. Na hlavnej stránke sú zobrazené pripojené moduly. Každý pripojený modul je reprezentovaný jedným obdĺžnikom. V tomto prípade bol do systému pripojený iba jeden modul – Spínač 1. U každého modulu je zobrazená adresa a možnosti definované u daného modulu. V prípade spínača je tu zobrazený aj jeden prepínač.

Kvôli nepripravenosti ostatných prác zaoberajúcich sa systémom FLATcon a neúspešnej komunikácie so študentmi sa však nepodarilo nadefinovať iné zariadenia do našej knižnice, iba testovací modul reprezentovaný spínačom 1. Stav

relé v testovacom module môžeme ovládať zeleným prepínačom zobrazeným v obdĺžniku. Po kliknutí na prepínač sa zmení stav a sú zavolané príslušné funkcie zabezpečujúce zmenu stavu popísanú vyššie.

## Demo stránka

Na ukážku bola vytvorená demo stránka, na ktorej sú zobrazené ďalšie typy zariadení, ktoré by mohli byť do systému implementované. Avšak tieto zariadenia zatiaľ nemajú plnú podporu v systéme, ale ukazujú ako by mohlo vyzerat' nasadenie systému v praxi. Na ďalšom obrázku je zobrazená táto demo stránka.



**Obr. 17: Demo stránka webového serveru**

Na tejto stránke sú zobrazené ďalšie 2 typy zariadení: teplomer a termostat. Tiež sú tu zobrazené zariadenia, ktoré boli k systému pripojené, ale z nejakého dôvodu s nimi už centrálna jednotka nevie komunikovať. Preto ich označí za nedostupné a orámuje červenou farbou. Takisto v tomto stave nie je možné zmeniť polohu prepínača. Pre obnovenie stavu týchto zariadení slúži tlačidlo „Obnoviť“. Na stránke je ďalej zobrazená v pravom hornom rohu batéria, ktorá udáva aktuálnu kapacitu batérie v centrálnej jednotke.

## Pridanie/odstránenie modulu zo systému

Na pridanie nového modulu do systému je nutné, aby pridávaný modul odoslal požiadavku do centrálnej jednotky. Konkrétny popis tohto procesu je popísaný v úseku vyššie, ktorý sa venuje popisu hlavného programu.

Ak chceme pridané zariadenie zo systému odstrániť, môžeme to vykonať tlačidlom na stránke webového serveru. Po prejdení myškou na daný modul sa zobrazí tlačidlo „Odstrániť“. Tlačidlo je možné vidieť na obrázku 17, na spínači 2. Po



stlačení tlačidla dôjde k volaniu skriptu, ktorý zabezpečí odstránenie modulu z databázového súboru a k aktualizáciu dát hlavného programu, ktorý ho odstráni zo svojej pamäte.

#### **4.4 Softvér pre testovací modul s relé**

Softvér pre testovací modul je napísaný v jazyku C++. Na komunikáciu s RFM22 bola použitá rovnaká knižnica ako v prípade riadiacej jednotky. Pre jednoduchosť vývojového diagramu tohto programu tu nebude uvedený. Program bude popísaný iba slovne.

Program začína inicializáciou potrebných vstupov a výstupov pre pripojený modul a inicializuje LCD displej pripojený na zbernici vo vývojovej doske. LCD displej slúži na zobrazovanie testovacích dát a zobrazenie stavu modulu. Po úspešnej inicializácii si program vyčíta dáta z pamäte EEPROM. Pamäť EEPROM je použitá, pretože dokáže uchovať dáta aj po vypnutí napájania. V tejto pamäti sú uložené dáta z posledného spárovania. V prípade, že modul je spustený prvý krát a žiadne informácie sa tu nenachádzajú, modul spustí párovanie a pokúsi sa zaregistrovať do systému. Ak sa párovanie nepodarí, modul vypíše chybové hlásenie a zostáva nečinný. Ak párovanie prebehlo úspešne a modul dostane svoju adresu, program prechádza do nekonečnej slučky, v ktorej kontroluje, či neboli prijaté nejaké príkazy z centrálnej jednotky. Ak daný príkaz modul rozpozná, vykoná potrebné operácie a čaká ďalej v slučke. Softvér dokáže rozoznať iba 3 príkazy: zapnutie/vypnutie relé a zistenie typu modulu. Vďaka použitej knižnici RF22 je taktiež možné zistiť stav modulu (dostupnosť modulu), tým že po prijatí akejkoľvek správy pošle potvrdenie do centrálnej jednotky. Softvér testovacieho modulu je možné nájsť v prílohe na CD.

#### **4.5 Postup pri návrhu zariadenia (modulu) pre systém FLATcon**

Kvôli už spomínanému dôvodu nepripravenosti ostatných prác, zaoberajúcich sa systémom FLATcon, sa nepodarilo implementovať podporu iných zariadení, iba jednoduchého testovacieho modulu s relé, ktorý bol popísaný vyššie. Pre iné zariadenia boli vytvorené iba vizuálne reprezentácie na ukážku, ktorým je potrebné pre funkčnosť definovať komunikačné rozhrania a spôsob, ako pracovať s dátami, ktoré zariadenie ponúka. Pre možnosť použitia tejto jednotky s novými zariadeniami FLATcon bol softvér vytváraný s ohľadom na čo najjednoduchšie pridanie podpory iných zariadení.

Pre zaistenie kompatibility nového zariadenia s centrálnou jednotkou je tu uvedený postup, ktorý treba dodržať pri návrhu.

1. Pri programovaní zariadenia použiť knižnicu RF22 s triedou „RF22ReliableDatagramDHCP“. Jedná sa o triedu „RF22ReliableDatagram“ doplnenú o dynamickú adresáciu v rámci siete.
2. Definovať triedu pre typ tohto zariadenia, ktorá vytvorí rozhranie pre hlavný program. Inšpirovať sa je možné vytvorenou triedou „FLATconSwitch“, ktorá vytvára rozhranie pre testovací modul.
3. Vytvoriť grafickú reprezentáciu tohto zariadenia pre zobrazenie na stránke.
4. Vytvoriť skript, ktorý zabezpečí čítanie údajov a ich aktualizáciu pri volaní webovým serverom (podobne ako skript *switch.sh*).

Pri dodržaní týchto krokov je tak zabezpečená kompatibilita nového zariadenia s navrhnutou centrálnou jednotkou. Po vytvorení triedy zariadenia a skriptu, je nutné ich nahráť do centrálnej jednotky do určených priečinkov. Zoznam priečinkov kam treba súbory prekopírovať, vrátane ukážkových súborov sa nachádza v prílohe na CD.

Posledným krokom je úprava triedy „DeviceManager“. Táto trieda sa stará o správu zdrojov pre pripojené zariadenia. Do triedy treba pridať novú instanciu triedy zariadenia a definovať funkcie na jej vytvorenie a zmazanie. Na záver stačí už len hlavný program preložiť a implementácia nového zariadenia je dokončená.

## ZÁVER

Úlohou tejto práce bolo vytvoriť riadiacu ústredňu systému inteligentnej domácnosti. Pre vytvorenie zariadenia bolo najskôr potrebné vytvoriť koncept tohto systému a vymyslieť ako budú zariadenia navzájom komunikovať. Inšpirácia bola čerpaná z popísaných profesionálnych riešení od rôznych firiem. Pozornosť bola venovaná najmä použitiu bezdrôtového modulu s nízkou spotrebou pre zabezpečenie maximálnej výdrže na batériu. Použitý bezdrôtový modul RFM22B poskytuje dostatočný výkon na pokrytie celej domácnosti aj s príľahlým pozemkom a vďaka nastaviteľnému vysielaciemu výkonu vyhovuje norme pre použitie v ČR.

V priebehu tvorby práce bol najskôr vyrobený prototyp zariadenia v domácich podmienkach. Na tomto prototypy bolo možné otestovať funkčnosť navrhnutého hardvéru a na základe zistených výsledkov z testovania bol návrh plošného spoja upravený. Vykonané úpravy sú popísané v podkapitole 3.8. Takto upravený výsledný plošný spoj bol potom vyrobený profesionálne vo firme.

Do návrhu zariadenia bola zakomponovaná aj podpora pre pripojenie dotykového LCD displeja. Pomocou displeja tak môžeme domácnosť jednoducho ovládať z jedného miesta. V prípade použitia LCD displeja sa predpokladá umiestnenie zariadenia na stenu. V niektorých prípadoch nemusí byť použitie displeja potrebné a zbytočne tak môže predražiť celé zariadenie. Preto bol displej navrhnutý iba ako voliteľná časť. Na správu zariadení môžeme v tomto prípade použiť ľubovoľné zariadenie s prehliadačom a pripojením na sieť.

Batéria použitá v systéme zabezpečuje funkciu ovládania batéριοvo napájaných zariadení aj v prípade výpadku sieťového napájania a ochranu pred stratou dát. V prípade výpadku dokáže batéria napájať zariadenie ešte minimálne 8 hodín bez použitia displeja. Pri použití displeja sa predpokladá výrazné skrátenie výdrže na batériu. Na základe spotreby uvedenej v katalógovom liste displeja by sa výdrž mala skrátiť približne na polovicu oproti zapojeniu bez displeja.

Pri návrhu bolo zámerom navrhnúť riešenie, ktoré bude jednoduché na používanie, ale bude zároveň obsahovať pokročilé funkcie pre prispôsobenie domácnosti podľa vlastných potrieb. Toto bolo dosiahnuté vďaka použitému počítaču Raspberry Pi a operačnému systému Raspbian. Do tohto operačného systému si každý užívateľ môže pomocou dostupných návodov pridať vlastné funkcie a prispôbiť systém podľa seba.

Vytvorené zariadenie je plne funkčné, avšak zatiaľ len s podporou jedného systémového zariadenia. Ďalšie možno jednoducho pridať definovaním ich rozhrania do programu podľa postupu uvedeného v podkapitole 4.5. Aj keď je vytvorené zariadenie plne funkčné a spoľahlivo funguje s testovacím modulom, pri

nasadení do reálnej domácnosti sa odporúča pridať do systému aspoň základné prvky na zabezpečenie komunikácie v systéme.

Pri testovaní zariadenia boli odskúšané dva druhy antén: štvrt' vlnový monopól a špirálová anténa. Antény boli testované na dosah vzdialenosti v rámci domácnosti a príľahlého pozemku. Pri anténe typu monopól neboli zistené žiadne problémy dosahu a zariadenie spoľahlivo komunikovalo so zariadením aj vo vzdialenosti približne 50m od domu. Pri použití druhej antény sa vyskytli problémy už pri vzdialenosti niekoľkých metrov od domu. Preto je tento druhý typ antény vhodný len na testovanie a pri nasadení v reálnej domácnosti sa odporúča použiť anténa typu monopól.

V tejto práci sa všetky požiadavky stanovené zadaním podarilo úspešne splniť. Vytvorené zariadenie dosahuje minimálnych rozmerov vďaka premyslenému návrhu plošného spoja a výberu jednotlivých komponentov. Navrhnutý záložný zdroj je schopný pokryť krátkodobé výpadky elektrickej rozvodnej siete a tak zamedziť strate dát. Vďaka implementácii dynamickej adresácie je pripájanie modulov do systému jednoduché a nie je potrebné riešiť problémy, ktoré by mohli vzniknúť pri statickom adresovaní.

Rozšírené požiadavky stanovené na začiatku práce boli realizované čiastočne, pretože ich realizácia nemusí byť vždy potrebná. V prípade potreby je ale vytvorené zariadenie pripravené na ich implementáciu v budúcnosti, pretože sa jedná iba o softvérové úpravy.

Vytvorený softvér zariadenia sa skladá z niekoľkých častí. Hlavnú časť tvorí hlavný program, ktorý beží nepretržite od zapnutia napájania Raspberry Pi. Tento program má na starosti obsluhu pripojeného hardvéru: digitálne vstupy/výstupy, komunikačné zbernice SPI a I2C pre pripojený bezdrôtový modul a obvod sledovania batérie a ďalšie výstupné periférie. Zároveň program vytvára rozhranie medzi webovým serverom a hardvérom. Vďaka tomu môže webový server vykonávať príslušné operácie zadané užívateľom. Pre väčšiu pohodlnosť pri ovládaní domácnosti bola riadiaca jednotka vybavená aj programom homebridge, ktorý zabezpečuje spojovú vrstvu medzi pripojenými Apple zariadeniami a hardvérom riadiacej jednotky. Tie potom môžu ovládať zariadenia priamo pomocou vstavanej aplikácie.

Navrhnutá ústredňa môže slúžiť vďaka svojím vlastnostiam aj ako doplnkový zabezpečovací systém po pripojení potrebných senzorov. Možnosti celého systému sú obmedzené iba funkciami pripojených senzorov a programového vybavenia.

# Zoznam použitých zdrojov

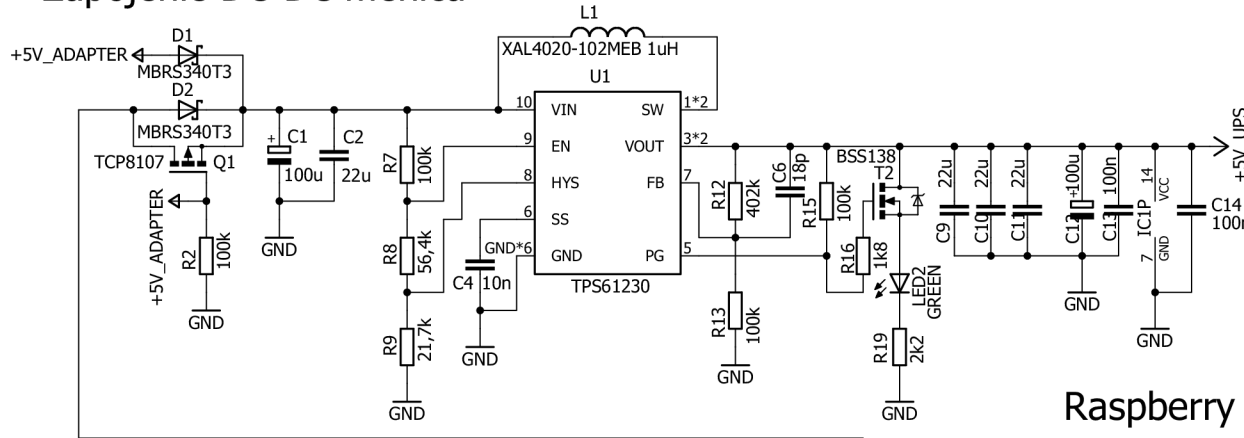
- [1] VALEŠ, Miroslav. *Inteligentní dům*. Brno: ERA. 2006. 21. století. ISBN 80-736-6062-8.
- [2] Cadex Electronics Inc. *BU-409: Charging Lithium-ion* [online]. [cit. 2016-12-20]. Dostupné z: [http://batteryuniversity.com/learn/article/charging\\_lithium\\_ion\\_batteries](http://batteryuniversity.com/learn/article/charging_lithium_ion_batteries)
- [3] Cadex Electronics Inc. *BU-903: How to Measure State-of-charge* [online]. [cit. 2016-12-20]. Dostupné z: [http://batteryuniversity.com/learn/article/how\\_to\\_measure\\_state\\_of\\_charge](http://batteryuniversity.com/learn/article/how_to_measure_state_of_charge)
- [4] HopeRF Electronic. *Datasheet RFM22B* [online]. [cit. 2016-12-20]. Dostupné z: <https://www.sparkfun.com/datasheets/Wireless/General/RFM22B.pdf>
- [5] Texas Instruments Inc. *Datasheet TPS6123x* [online]. [cit. 2016-12-20]. Dostupné z: <http://www.ti.com/lit/ds/symlink/tps61230.pdf>
- [6] Texas Instruments Inc. *Datasheet bq27441-G1* [online]. [cit. 2016-12-20]. Dostupné z: <http://www.ti.com/lit/ds/symlink/bq27441-g1.pdf>
- [7] Texas Instruments Inc. *Time Division Duplexing (TDD) Adjusted Carrier Feedthrough Evaluation* [online]. 2013 [cit. 2016-12-12]. Dostupné z: <http://www.ti.com/lit/an/slwa074/slwa074.pdf>
- [8] Český telekomunikační úřad. *Všeobecné oprávnění č. VO-R/10/05.2014-3 k využívání rádiových kmitočtů a k provozování zařízení krátkého dosahu* [online]. [cit. 2016-12-20]. Dostupné z: <http://www.ctu.cz/vyuzivani-vymezenych-radiovykh-kmitoctu>
- [9] Raspberry Pi Foundation. *FAQ Raspberry Pi*. [online]. [cit. 2016-12-20]. Dostupné z: <https://www.raspberrypi.org/help/faqs/>
- [10] Raspberry Pi. In: Wikipedia: the free encyclopedia [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2017-01-04]. Dostupné z: [https://en.wikipedia.org/wiki/Raspberry\\_Pi](https://en.wikipedia.org/wiki/Raspberry_Pi)
- [11] TECHNISERV, s. r. o. *Systém KNX - Využití* [online]. [cit. 2016-12-27]. Dostupné z: <http://www.knx-system.cz/vyuziti>
- [12] TECHNISERV, s. r. o. *Systém KNX - Zajímavosti o KNX* [online]. [cit. 2016-12-27]. Dostupné z: <http://www.knx-system.cz/zajimavosti-o-knx>
- [13] iinstalacie.sk. *Čo je KNX/EIB* [online]. [cit. 2016-12-27]. Dostupné z: <http://www.iinstalacie.sk/systemy/co-je-knxeib/>
- [14] Loxone Electronics. *Systém Loxone* [online]. [cit. 2016-12-28]. Dostupné z: <https://www.loxone.com/cscz/produkty/prehled/>
- [15] FIBAR GROUP. *Systém Fibaro* [online]. [cit. 2016-12-28]. Dostupné z: <http://www.fibaro.com/cz/Fibaro-syst%C3%A9m>
- [16] Sigma Designs. *Z-Wave* [online]. [cit. 2016-12-28]. Dostupné z: <http://www.z-wave.com/about>

- [17] Texas Instruments Inc. *Impedance Track™ Based Fuel Gauging* [online]. 2007. [cit. 2016-12-28]. Dostupné z: <http://www.ti.com/lit/wp/slpy002/slpy002.pdf>
- [18] Raspberry Pi Foundation. *The Eagerly awaited Raspberry Pi Display* [online]. [cit. 2016-12-30]. Dostupné z: <https://www.raspberrypi.org/blog/the-eagerly-awaited-raspberry-pi-display/>
- [19] *Raspberry Pi 7" Touchscreen Display* [online]. [cit. 2017-01-06]. Dostupné z: <https://www.element14.com/community/docs/DOC-78156/l/raspberry-pi-7-touchscreen-display>
- [20] *Napájací adaptér SYS1298-1505-W2E* [online]. [cit. 2017-05-22]. Dostupné z: <http://www.ebay.de/itm/Original-Netzteil-SUNNY-SYS1298-1505-W2E-5V-3-0A-15W-MAX-SYS1298-1505-A1-/181567008860>
- [21] Raspberry Pi Foundation. *Raspberry Pi 3* [online]. [cit. 2017-01-06]. Dostupné z: <https://shop.pimoroni.com/products/raspberry-pi-3>
- [22] ANTIK Technology. *ANTI-K Smart Home Systems* [online]. [cit. 2017-01-06]. Dostupné z: <http://www.antiktech.com/en/digital-signagebr--smart-home/smart-home>
- [23] HopeRF Microelectronics. *RFM22B-433-S1* [online]. [cit. 2017-01-06]. Dostupné z: <http://www.tme.eu/cz/details/rfm22-433-s1/komunikacni-moduly-rf/hope-microelectronics/rfm22b-433-s1/>
- [24] Mike McCauley. *RF22 library for Arduino* [online]. [cit. 2017-05-04]. Dostupné z: <http://www.airspayce.com/mikem/arduino/RF22/>
- [25] SparkFun Electronics. *SparkFun BQ27441-G1A LiPo Fuel Gauge Arduino Library* [online]. [cit. 2017-05-04]. Dostupné z: [https://github.com/sparkfun/SparkFun\\_BQ27441\\_Arduino\\_Library](https://github.com/sparkfun/SparkFun_BQ27441_Arduino_Library)
- [26] Drogon Systems. *WiringPi: Raspberry Pi BCM2835 GPIO Library* [online]. [cit. 2017-05-04]. Dostupné z: <http://wiringpi.com/>
- [27] Nick Farina. *Homebridge* [online]. [cit. 2017-05-05]. Dostupné z: <https://github.com/nfarina/homebridge>
- [28] B., Andrej. *Prenos telemetrie na 434MHz*. [online]. [cit. 2017-05-07]. Dostupné z: <http://aero.yweb.sk/node/15>

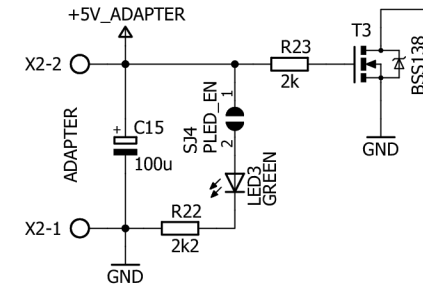
# Zoznam príloh

- Príloha A - Schéma zapojenia centrálnej jednotky
- Príloha B - Návrh plošného spoja a osadzovací plán
- Príloha C - Zoznam súčiastok
- Príloha D - Fotografie práce
- Príloha E - Schéma zapojenia testovacieho modulu
- Príloha F - Návrh plošného spoja a osadzovací plán testovacieho modulu
- Príloha G - Obsah priloženého CD

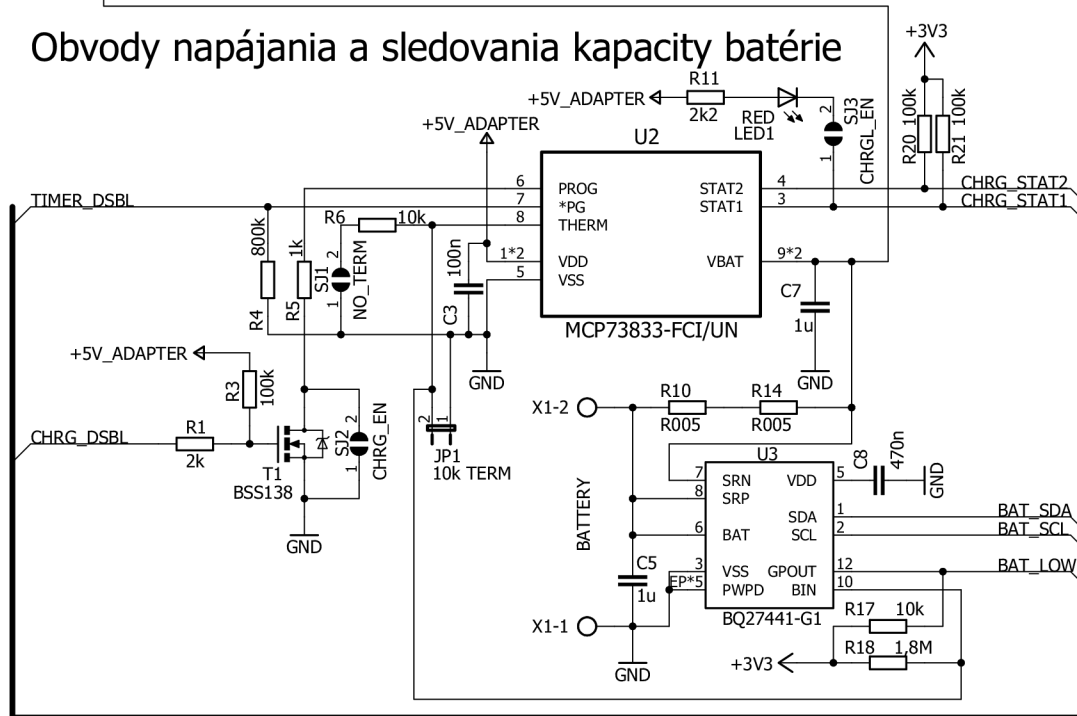
## Zapojenie DC-DC meniča



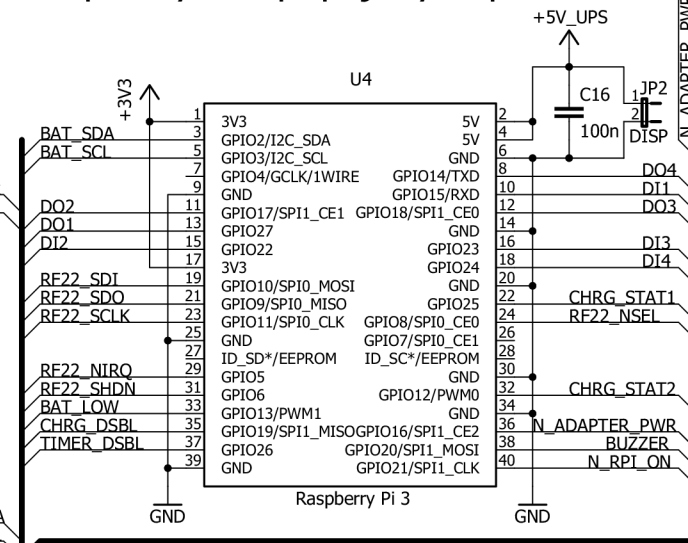
## Vstupné napájacie obvody



## Obvody napájania a sledovania kapacity batérie



## Raspberry Pi s pripojenými perifériami



System FLATcon  
Radiacia jednotka  
inteligentnej domácnosti

Filip Krivoklatský

\*Poznámka: Pre verziu TPS61232 R12=0R  
a C6 a R13 sa neosádza.

TITLE: RaspberryPiHome

Document Number:

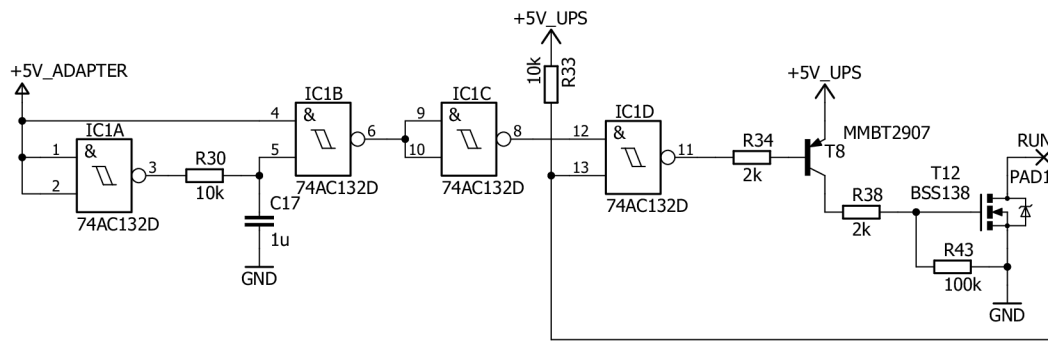
REV:  
1.1

Date: 21. 5. 2017 23:11

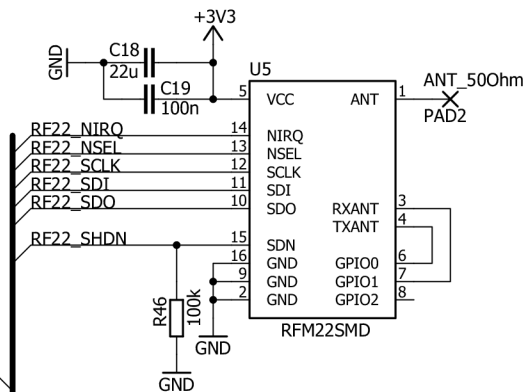
Sheet: 1/2



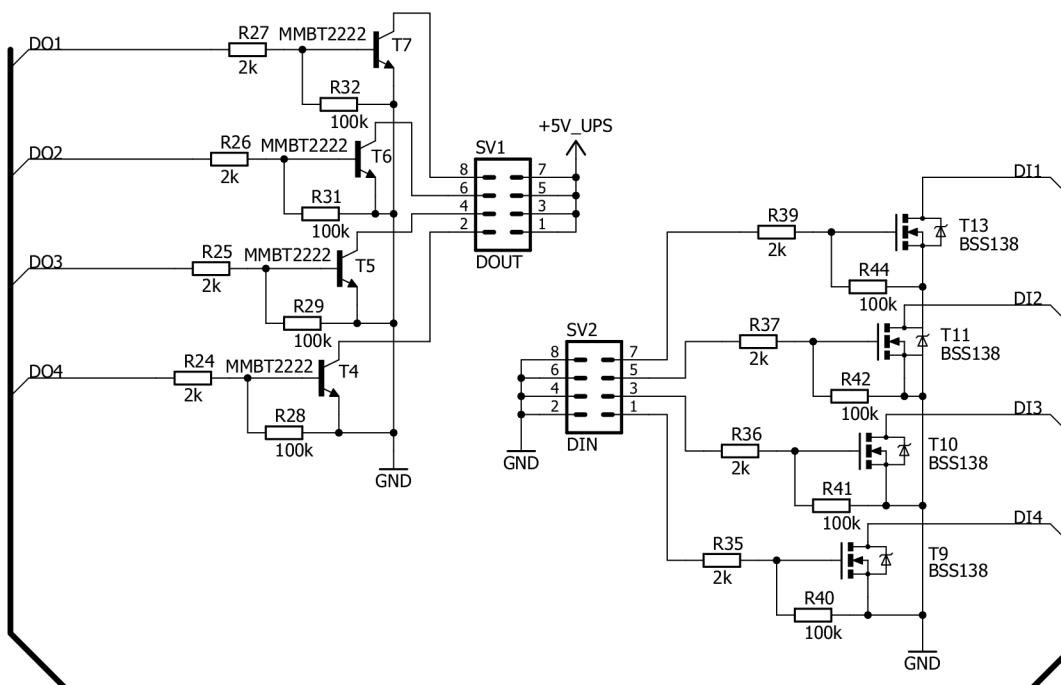
## Obvody pre generovanie pulzu po nábehu napájania



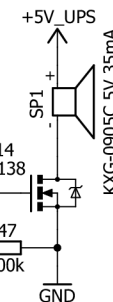
## Zapojenie modulu RFM22B



## Digitálne vstupy a výstupy



## Siréna



Systém FLATcon  
Riadiaca jednotka  
inteligentnej domácnosti

Filip Krivoklatský

TITLE: RaspberryPiHome

Document Number:

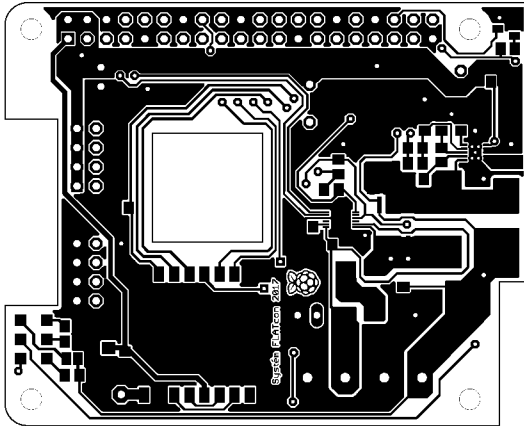
REV:  
1.1

Date: 21. 5. 2017 23:11

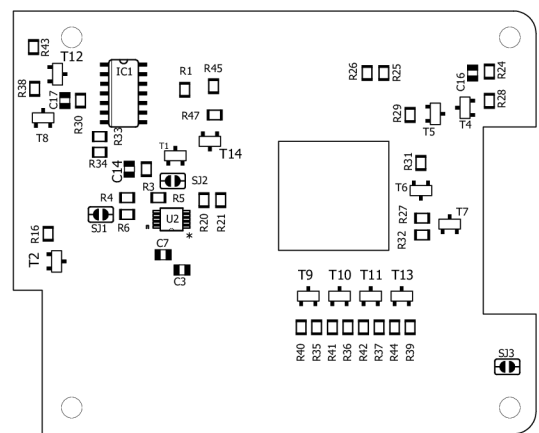
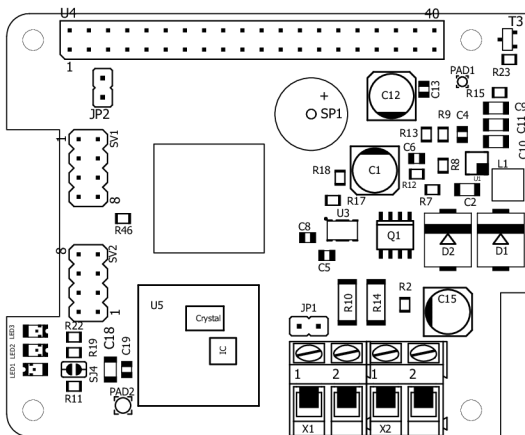
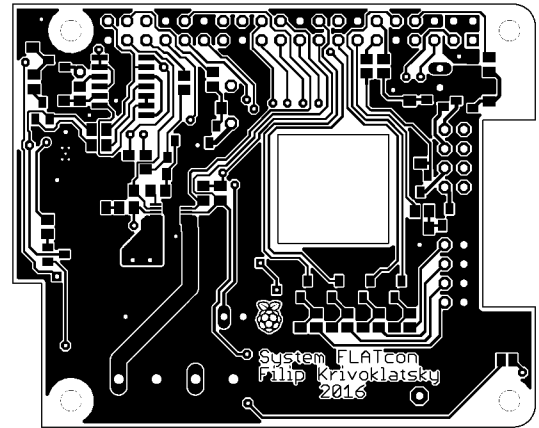
Sheet: 2/2

# Príloha B – Návrh plošného spoja a osadzovací plán

Vrchná strana  
(Top side)



Spodná strana  
(Bottom side)



Poznámka: Všetky mierky sú 1:1. Rozmery plošného spoja: 56 x 65,4mm.

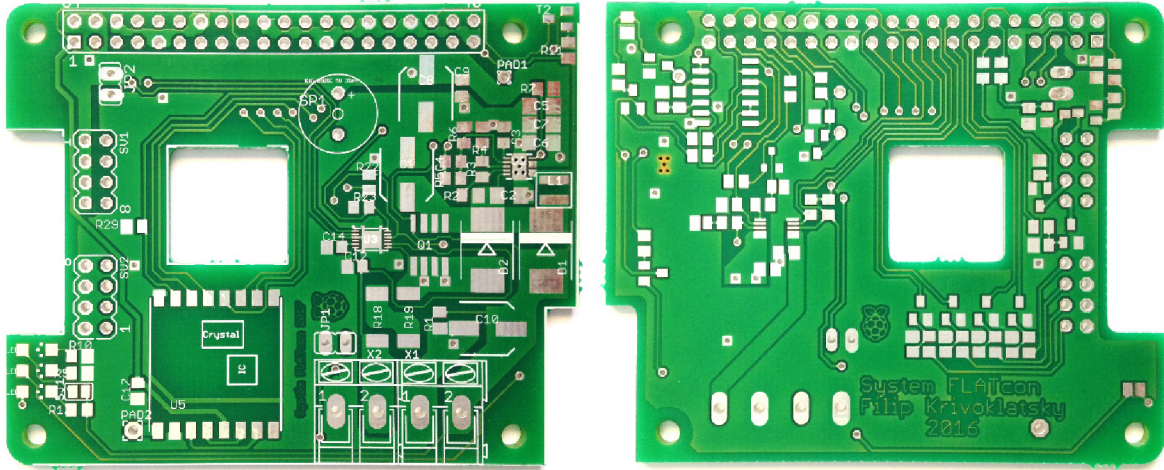
## Príloha C – Zoznam súčiastok

Počet	Hodnota	Typ súčiastky	Puzdro	Súčiastky	Popis
1	1,8M	R-EU_M0805	M0805	R18	Rezistor
18	100k	R-EU_M0805	M0805	R2, R3, R7, R13, R15, R20, R21, R28, R29, R31, R32, R40, R41, R42, R43, R44, R46, R47	Rezistor
5	100n	C-EUC0805	C0805	C3, C13, C14, C16, C19	Keramický kondenzátor
3	100u	CPOL-EUSANYO_SMD	SMD_C6	C1, C12, C15	Elektrolytický kondenzátor
4	10k	R-EU_M0805	M0805	R6, R17, R30, R33	Rezistor
1	10k	JP1E	JP1	JP1	Konektor
1	10n	C-EUC0805	C0805	C4	Keramický kondenzátor
1	18p	C-EUC0805	C0805	C6	Keramický kondenzátor
1	1k	R-EU_M0805	M0805	R5	Rezistor
1	1k8	R-EU_M0805	M0805	R16	Rezistor
3	1u	C-EUC0805	C0805	C5, C7, C17	Keramický kondenzátor
1	21,7k	R-EU_M0805	M0805	R9	Rezistor
1	22u	C-EUC1206	C1206	C18	Keramický kondenzátor
4	22u	C-EUC3216	C3216	C2, C9, C10, C11	Keramický kondenzátor
13	2k	R-EU_M0805	M0805	R1, R23, R24, R25, R26, R27, R34, R35, R36, R37, R38, R39, R45	Rezistor
3	2k2	R-EU_M0805	M0805	R11, R19, R22	Rezistor
1	402k	R-EU_M0805	M0805	R12	Rezistor
1	470n	C-EUC0805	C0805	C8	Keramický kondenzátor
1	56,4k	R-EU_M0805	M0805	R8	Rezistor
1	74AC132D	74AC132D	SO14	IC1	4x 2-vstupové Schmittove hradlo NAND
1	800k	R-EU_M0805	M0805	R4	Rezistor
1	ADAPTER	AK300/2	AK300/2	X2	Konektor
1	ANT_500hm	2,15/1,0	2,15/1,0	PAD2	Konektor
1	BATTERY	AK300/2	AK300/2	X1	Konektor
1	BQ27441-G1	BQ27441-G1	PDSO-N12	U3	Obvod sledovania batérie
9	BSS138	BSS138	SOT23	T1, T2, T3, T9, T10, T11, T12, T13, T14	N-MOSFET 50V 220mA
1	CHRG_L_EN	SJ	SJ	SJ3	SMD prepojka
1	CHRG_EN	SJ	SJ	SJ2	SMD prepojka
1	DIN	MA04-2	MA04-2	SV2	Konektor 2x4
1	DISP	JP1E	JP1	JP2	Konektor
1	DOUT	MA04-2	MA04-2	SV1	Konektor 2x4
2	GREEN	LEDCHIPLD_1206	CHIPLD_1206	LED2, LED3	LED dióda
1	5V 35mA	KXG-0905C	KXG-0905C	SP1	Siréna
2	MBRS340T3	MBRS340T3	SMC	D1, D2	Schottkyho dióda

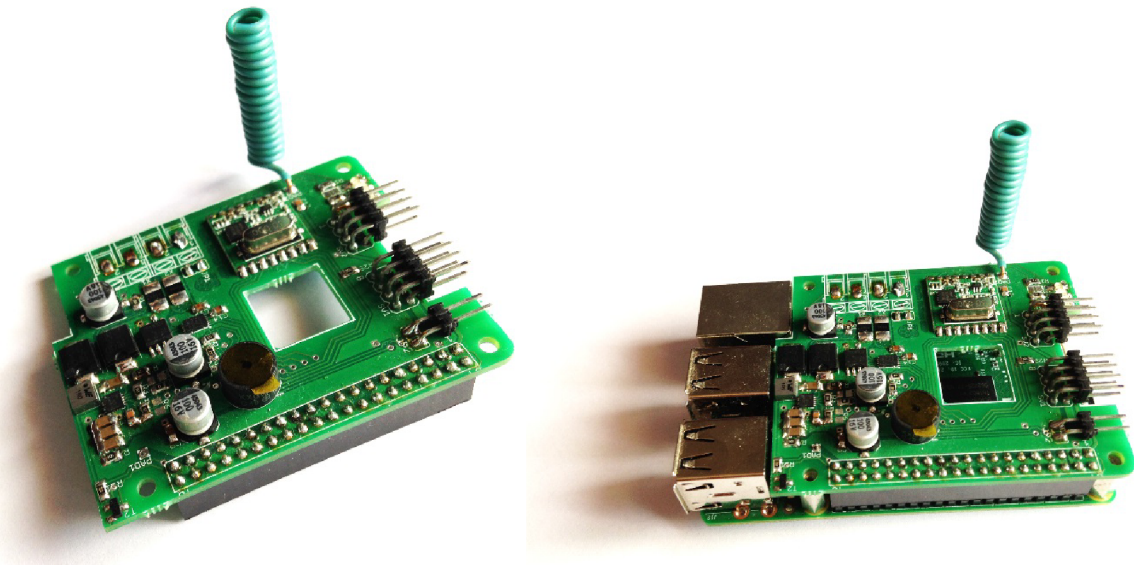
Počet	Hodnota	Typ súčiastky	Puzdro	Súčiastky	Popis
1	MCP73833-FCI	MCP73833-FCI/UN	SOP50P490X110-10N	U2	Nabíjačka Li-Ion batérií
4	MMBT2222	MMBT2222ALT1	SOT23-BEC	T4, T5, T6, T7	NPN Tranzistor
1	MMBT2907	MMBT2907ALT1	SOT23-BEC	T8	PNP Tranzistor
1	NO_TERM	SJ	SJ	SJ1	SMD prepojka
1	PLED_EN	SJ	SJ	SJ4	SMD prepojka
2	R005	R-EU_M5923	M5923	R10, R14	Rezistor
1	RED	LEDCHIPLED_1206	CHIPLED_1206	LED1	LED dióda
1	RFM22SMD	RFM22SMD	RFM22-XXX-S2	U5	Bezdrôtový modul RFM22B
1	RUN	1,6/0,9	1,6/0,9	PAD1	Konektor
1	Raspberry Pi 3	RPI3_CONNECTOR	MA20-2	U4	Raspberry Pi 3
1	TCP8107	P-MOSFET-SO8	SO-08	Q1	P MOSFET
1	TPS61230	TPS61230	DRC-S-PVSON-N11	U1	DC-DC menič
1	1uH	XAL4020-102MEB	XFL4020	L1	Výkonová cievka

## Príloha D – Fotografie práce

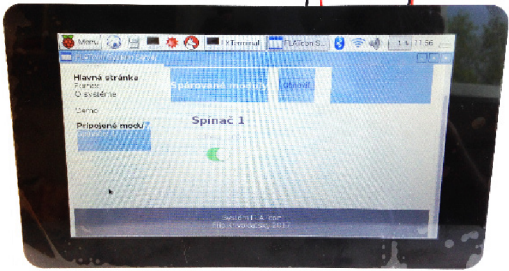
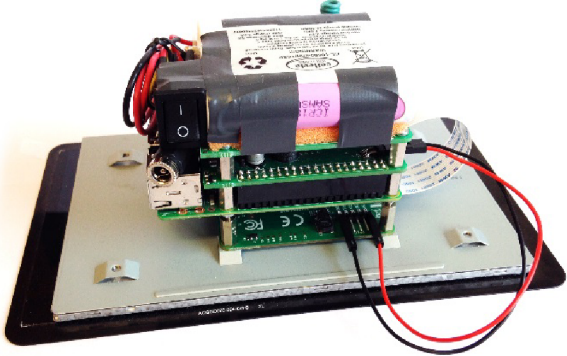
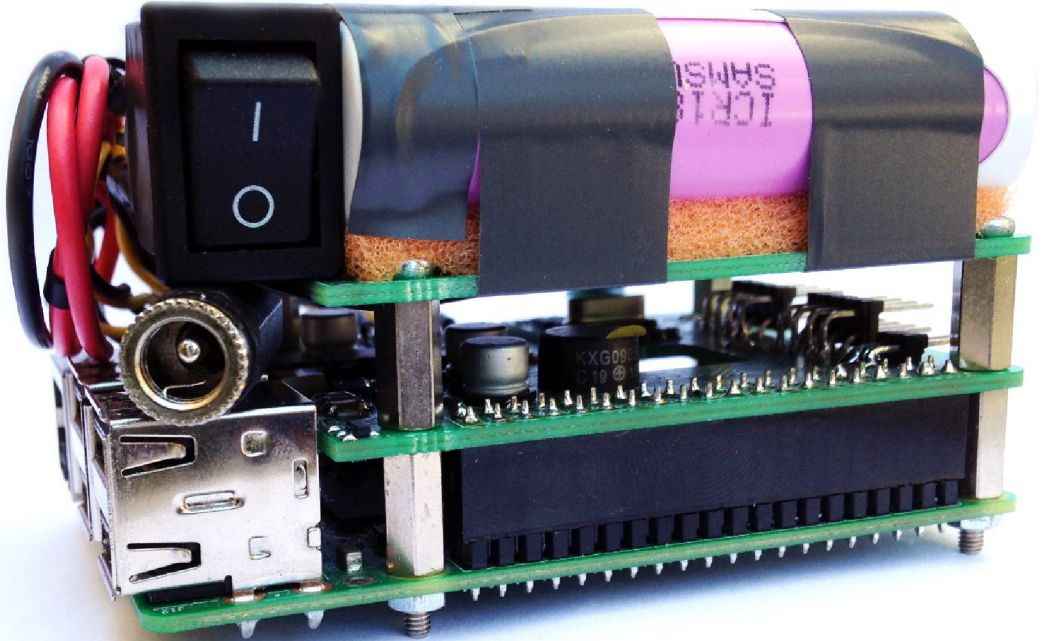
Fotografie vyrobeného plošného spoja



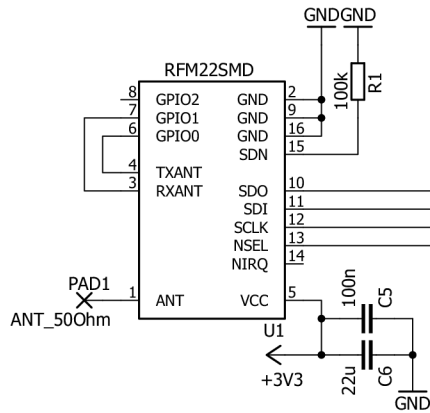
Fotografie osadeného plošného spoja a dosky po pripojení k Raspberry Pi



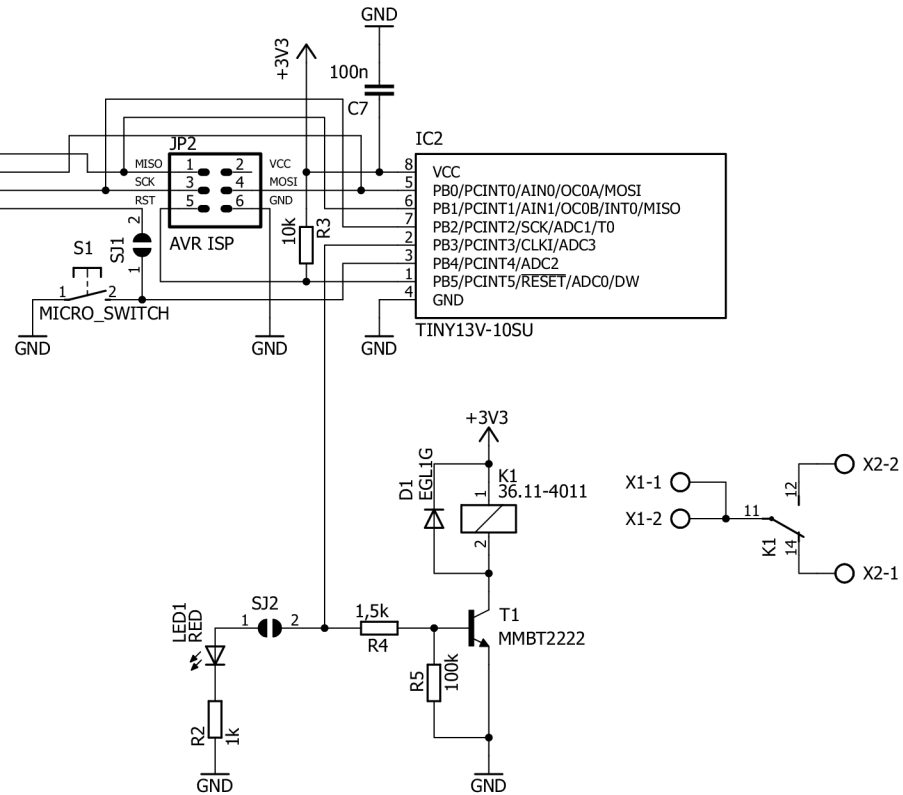
Fotografie hotového zariadenia



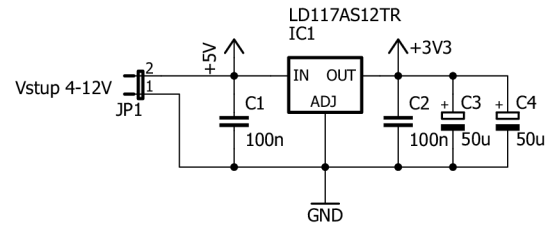
### Zapojenie modulu RFM22B



### Zapojenie ATtiny13V s relé na výstupe



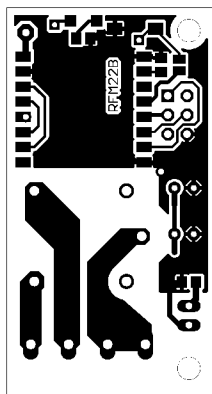
### Napájacie obvody



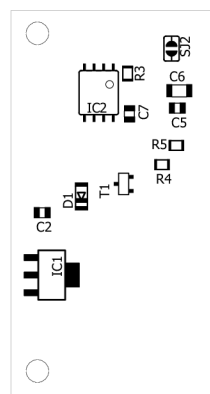
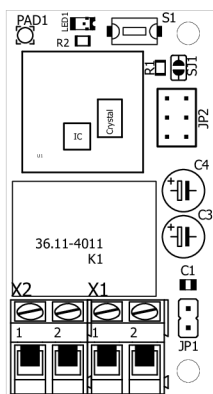
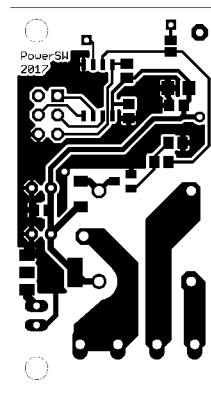
Systém FLATcon		Filip Krivoklatský	
Testovací modul s relé			
TITLE: FLATcon_Switch			
Document Number:			REV: 1.0
Date: 20. 5. 2017 14:55			Sheet: 1/1

## Príloha F – Návrh plošného spoja a osadzovací plán testovacieho modulu

Vrchná strana  
(Top side)



Spodná strana  
(Bottom side)



Poznámka: Všetky mierky sú 1:1. Rozmery plošného spoja: 51,6 x 27,6mm.



## Príloha G – Obsah priloženého CD



CD Systém FLATcon - bytová ústredna s RF komunikáci



Bakalárska práca



Fotodokumentácia



Návrhy plošných spojov



Programové vybavenie