



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA ELEKTROTECHNIKY

A KOMUNIKAČNÍCH TECHNOLOGIÍ

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION

ÚSTAV RADIOELEKTRONIKY

DEPARTMENT OF RADIO ELECTRONICS

SYSTEM PRO VÁŽENÍ VČELÍCH ÚLŮ S IOT KONEKTIVITOU

WEIGHT SENSING OF BEEHIVES WITH IOT CONNECTIVITY

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Daniel Havránek

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Jan Kufa, Ph.D.

BRNO 2022

Bakalářská práce

bakalářský studijní program **Elektronika a komunikační technologie**

Ústav radioelektroniky

Student: Daniel Havránek

ID: 221061

Ročník: 3

Akademický rok: 2021/22

NÁZEV TÉMATU:

System pro vážení včelích úlů s IoT konektivitou

POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

Cílem práce je navrhnout a sestavit systém, který váží včelí úly. Jak včely sbírají nektar, tak hmotnost úlu roste s rostoucím množstvím medu uvnitř. Kvůli rozmístění úlů po celé republice je velice nepohodlné kontrolovat, jestli je v úlech dostatek medu, který by stál za vytočení.

Prostudujte technologii bezdrátového přenosu dat pomocí sítí IoT. Navrhněte princip zařízení, které by sloužilo k měření parametrů včelího úlu. Zařízení by měřilo vhodné veličiny jako je váha, vnitřní a venkovní teplota, atmosférický tlak, vlhkost, napětí akumulátoru a sílu signálu. U měření váhy prostudujte snímače s přesností na gramy a senzory teploty s přesností alespoň 0,1 °C. Systém by pomocí sítí IoT odesílal změřená data na internet nebo další zařízení. Zvolte vhodný modul pro připojení zařízení do sítě IoT. Navrhněte obvodové schéma zařízení s důrazem na nízkou vlastní spotřebu energie. Měřicí systém musí být schopen non-stop provozu za pomoci akumulátoru a fotovoltaického panelu.

Navrhněte desku plošných spojů. Provedte výrobu, osadte a oživte dané zařízení. Ověřte správnou funkčnost zařízení. Naprogramujte firmware zařízení tak, aby bylo schopno bezdrátově odesílat data. Podrobně změřte přesnost použitých senzorů, dosahu zařízení a odběru elektrické energie. Provedte vizualizaci odesílaných dat na internet, systém bude podporovat notifikace pro uživatele. Vámi navržené a sestavené zařízení porovnejte s komerčně prodávanými.

DOPORUČENÁ LITERATURA:

[1] PFISTER, C. Getting started with the Internet of things. Sebastapool, Calif.: O'Reilly Media, 2011. Make: projects. ISBN 978-1449393571.

[2] FRADEN, J. Handbook of modern sensors: physics, designs, and applications. 4th ed. New York: Springer, c2010. ISBN 978-1-4419-6465-6.

Termín zadání: 11.2.2022

Termín odevzdání: 1.6.2022

Vedoucí práce: Ing. Jan Kufa, Ph.D.

doc. Ing. Lucie Hudcová, Ph.D.
předseda rady studijního programu

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

V rámci bakalářské práce bylo navrženo zařízení pro měření parametrů včelího úlu, které vypovídají o stavu včelstva. Mezi měřené parametry patří hmotnost úlu, vnitřní a vnější teplota, vnitřní a vnější vlhkost a atmosférický tlak. Zařízení umožňuje bezdrátový přenos dat pomocí 2G sítě a vhodně interpretuje výsledky. Výhodou je nízká spotřeba zařízení kvůli provozu mimo dosah napájecí sítě.

KLÍČOVÁ SLOVA

Včelí váhy, úlové váhy, monitoring včelích úlů, měření hmotnosti, měření teploty, měření vlhkosti, měření atmosférického tlaku, IoT, GSM, 2G, ESP, stabilizátor.

ABSTRACT

The purpose of this work is to make a device that can measure some beehive parameters, that can inform you about the conditions in a beehive. These parameters are beehive weight, inner and ambient temperature, inner and ambient humidity and air pressure. The device allows to send the measured data wirelessly through the 2G network and interpret the results in appropriate way. Low power consumption is desirable due to working without the reach of the distribution network.

KEYWORDS

Beehive monitoring, weight measurement, temperature measurement, humidity measurement, air pressure measurement, IoT, GSM, 2G, ESP, voltage regulator.

HAVRÁNEK, Daniel. *Systém pro vážení včelích úlů s IoT konektivitou*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, Ústav radioelektroniky, 2022, 84 s. Bakalářská práce. Vedoucí práce: Ing. Jan Kufa, Ph.D.

Prohlášení autora o původnosti díla

Jméno a příjmení autora: Daniel Havránek
VUT ID autora: 221061
Typ práce: Bakalářská práce
Akademický rok: 2021/22
Téma závěrečné práce: Systém pro vážení včelích úlů s IoT konektivitou

Prohlašuji, že svou závěrečnou práci jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucí/ho závěrečné práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou všechny citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce.

Jako autor uvedené závěrečné práce dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením této závěrečné práce jsem neporušil autorská práva třetích osob, zejména jsem nezasáhl nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a/nebo majetkových a jsem si plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon), ve znění pozdějších předpisů, včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č. 40/2009 Sb.

Brno

.....

podpis autora*

*Autor podepisuje pouze v tištěné verzi.

PODĚKOVÁNÍ

Rád bych poděkoval vedoucímu semestrální práce panu Ing. Janu Kufovi, Ph.D. za odborné vedení, konzultace, trpělivost a podnětné návrhy k práci. Dále bych rád poděkoval panu Ing. Michalu Kubíčkoví, Ph.D. za umožnění práce v laboratoři a za ochotnou pomoc a rady při návrhu zařízení.

Obsah

Úvod	13
1 Měření ve včelařství	14
1.1 Hmotnost	14
1.2 Teplota a vlhkost	15
1.3 Atmosférický tlak	15
2 Komerčně dostupné úlové váhy	16
2.1 Bee Hive Monitorng	16
2.2 Apis Digital	17
2.3 Operchip	18
3 Senzory	20
3.1 Senzory hmotnosti	20
3.1.1 Způsoby měření hmotnosti	20
3.1.2 Vybrané senzory hmotnosti	21
3.2 Senzory teploty	23
3.2.1 Způsob měření teploty	23
3.2.2 Vybrané senzory teploty	24
3.3 Senzory vlhkosti	26
3.3.1 Způsoby měření vlhkosti	27
3.4 Senzory atmosférického tlaku	28
3.4.1 Způsoby měření atmosférického tlaku	28
3.4.2 Vybrané senzory atmosférického tlaku	28
4 Řízení a komunikace	30
4.1 Možnosti komunikace	30
4.2 Výběr mikrokontroléru	33
4.3 Výběr GSM a GPRS modulu	35
4.4 ThinkSpeak	35
5 Spojité stabilizátory a spínané zdroje	36
5.1 Spojité stabilizátory	36
5.1.1 Parametrické stabilizátory	36
5.1.2 Zpětnovazební stabilizátory	36
5.2 Spínané zdroje	37

6	Návrh zařízení	39
6.1	Napájení	39
6.1.1	Akumulátor	40
6.1.2	Fotovoltaický panel	41
6.1.3	MPPT	42
6.1.4	Napájení řídicí elektroniky a senzorů	44
7	Softwarová část práce	47
7.1	Komunikace se senzory a GSM modulem	47
7.2	Vlastní program	48
7.3	Použité knihovny	50
8	Návrh mechanické části	51
9	Testování zhotoveného zařízení	53
	Závěr	57
	Literatura	58
	Seznam příloh	67
A	Použité komponenty	69
B	Monitoring včelího úlu	71
C	Schémata zapojení	72
D	Navrhnuté desky plošného spoje	75
D.1	Napájecí deska	75
D.2	Řídicí deska	76
E	Mechanická část	78
E.1	Krabička	78
E.2	Rám	80

Seznam obrázků

2.1	Ukázka zařízení pro monitorování včelích úlů VILKO-02	19
3.1	Příklad typického tenzometru	21
3.2	Vybraný senzor pro měření hmotnosti YZC-1B	22
3.3	Odchyłka měření senzoru TMP117	25
3.4	Odchyłka měření senzorů SHT85 a SHT40	25
3.5	Vybrané senzory teploty SHT40 a DS18B20	26
3.6	Vybraný senzor pro měření atmosférického tlaku BME280	29
4.1	Internet věcí	30
4.2	Mapa pokrytí sítě Sigfox pro oblast města Koryčany	32
4.3	Mikrokontrolér ESP32-WROOM	34
4.4	GSM a GPRS modul SIM800L	35
5.1	Ukázkové zapojení parametrického stabilizátoru s napěťovou referenční diodou	37
5.2	Ukázkové zapojení integrovaného zpětnovazebního stabilizátoru	37
5.3	Ukázkové zapojení DC/DC měničů	38
6.1	Blokový diagram napájení	40
6.2	Baterie NCR15650B	41
6.3	Závislosti elektrického proudu a napětí dodávaného solárním panelem s MPPT obvodem	42
6.4	Solární nabíječka CN3791 1S	43
6.5	Schéma zapojení TPS61236P	45
6.6	Schéma zapojení LDO regulátoru AMS1117	45
6.7	Schéma zapojení LDO regulátoru MIC29302	46
7.1	Blokový diagram komunikace	47
7.2	Vývojový diagram kódu	49
8.1	Návrh rámu v programu Solidworks	51
8.2	Zarážka rámu	52
8.3	Model složené krabičky	52
9.1	Průběh testovacího měření hmotnosti ve vnitřních podmínkách	53
9.2	Naměřené průběhy teploty při venkovním testování	54
9.3	Naměřené průběhy vlhkosti vzduchu při venkovním testování	55
B.1	Monitoring včelího úlu	71
D.1	Napájecí deska, pohled shora	75
D.2	Řídící deska bez modulů, pohled shora	76
D.3	Řídící deska s moduly, pohled shora	77
E.1	Krabička - horní část	78
E.2	Krabička - prostřední část	78

E.3	Krabička - spodní část	79
E.4	Vyrobený rám	80

Seznam tabulek

3.1	Vybrané senzory hmotnosti	22
3.2	Vybrané senzory teploty	24
3.3	Vybrané senzory vlhkosti	27
3.4	Vybrané senzory atmosférického tlaku	28
4.1	Vybrané mikrokontroléry	34
A.1	Periferie	69
A.2	Napájecí deska	69
A.3	Řídící deska	70

Úvod

Cílem bakalářské práce je prostudovat měření různých veličin, obzvláště měření hmotnosti a teploty. Dále prostudovat bezdrátovou technologii přenosu dat pomocí sítě IoT (Internet of Things) a následně navrhnout zařízení pro monitorování včelího úlu a posílání zjištěných dat přes IoT.

Toto zařízení má pomoci včelařům, kteří chovají včely ve značné vzdálenosti od místa svého bydliště. Místo často opakované a finančně náročné cesty k včelím úlům stačí včelaři zkontrolovat naměřená data z pohodlí domova a na základě zjištěných údajů se rozhodnout, zda je jeho zásah ve včelstvech třeba, či nikoliv. Dále včelařům, kteří chtějí mít přehled o tom, co se děje v úle, a případně být informováni o možném problému dříve, než problém vůbec nastane.

Mezi hlavní měřené parametry patří hmotnost a vnitřní teplota ve včelím úlu. Na základě sledování časových řad těchto dvou parametrů by měl být včelař schopen udělat si představu o stavu včelstva. Dalšími měřenými parametry jsou vnitřní a venkovní vlhkost vzduchu, venkovní teplota a atmosférický tlak.

Jelikož se jedná o zařízení určené k celoročnímu venkovnímu provozu, musí být odolné vůči povětrnostním vlivům. Hlavně odolnost vůči nízkým zimním a vysokým letním teplotám. Z důvodu obvyklého umístění včelích úlů mimo dosah napájecí sítě, bude zařízení napájeno z akumulátoru. Nízká spotřeba zařízení a dobíjení akumulátoru přes solární panel je tedy žádoucí. Stejně tak by zařízení mělo být schopné odesílat data na delší vzdálenost. A samozřejmě by zařízení mělo být finančně dostupné, jelikož jsou cíleny převážně včelnice malovčelařů, kteří chovají včely spíše jako koníček.

Mnoho včelařů má včelstva umístěná na neoplocených pozemcích, např. v lesích, na loukách, případně i v jiných lokalitách, které jsou veřejně přístupné. Z toho důvodu je vhodné, aby zařízení nebudilo pozornost a tedy nebylo předmětem zájmu zkoumání, případně zcizení.

1 Měření ve včelařství

Při včelaření je velice vhodné znát některé veličiny charakterizující stav a situaci ve včelích úlech. Tyto veličiny mohou poskytovat cenné informace o např. stavu zásob před zimním obdobím, intenzitě snůšky v jarních a letních měsících, a především o zdravotním stavu včelstva v průběhu celého roku. Pokud včelstvo není v dobré kondici, dá se předpokládat zhoršení zdravotního stavu. To vede ke snížení obranyschopnosti před útoky predátorů, například cizích včel, hlodavců a jiného hmyzu. Rovněž se projeví ve zhoršení reprodukce nových generací a v neposlední řadě se tento stav projeví i na méně uspokojivých medných výnosech.

1.1 Hmotnost

Asi nejsledovanější veličina pro včelaře je hmotnost. Většina včelařů sleduje hmotnost úlů v období nektarové nebo medovicové snůšky a podle toho se rozhodne o termínu medobraní. Při medobraní si včelaři vedou statistiku hmotnosti vytáčených plástů, což jim umožňuje hodnotit včelstva z pohledu medného výnosu. Měření hmotnosti úlů se zpravidla provádí některým z typů komerčně dostupných úlových vah nebo podomácku vyrobených zařízeních. Měření hmotnosti medných plátů lze provádět například na osobních vahách. Způsob měření hmotnosti se různí, stejně tak jako zpracování dat.

Průběžné sledování hmotnosti včelích úlů během celého roku je vhodné z několika důvodů. V časných jarních měsících jsou tyto informace důležité kvůli sledování rozvoje včelstva. V květnu a počátkem června kvůli intenzitě snůšky. Na základě údajů o hmotnosti může včelař například rozhodnout, kdy přidat medníky nebo zahájit medobraní.

Po medobraní, ke konci července a v srpnu, včelaři musí doplnit zásoby na zimu a sledovat jejich množství ve včelstvu. Podle toho plánují, kdy a kolik krmení dát včelám. Krmení včelstev podle veterinární metodiky musí být ukončeno 15. září a v tuto dobu by včelstvo mělo mít na zimu 20 kg až 30 kg medných a cukrových zásob.

Na podzim a v zimě je důležité kontrolovat hmotnost úlů kvůli sledování spotřebovaných zásob ve včelstvech. Pokud by hrozilo hladovění včelstva, je nutný zásah včelaře a příkrmení včelstva.

Výrazné změny hmotnosti včelího úlu mohou rovněž poukázat na jiné problémy, např. převrnutí úlu prudkým větrem nebo nějakým zvířetem. I krádeže úlů jinými včelaři nejsou úplně neobvyklé a prudký pokles hmotnosti na to upozorní.

1.2 Teplota a vlhkost

Pro správné fungování včelstva, musí být teplota v úle v určitém rozmezí. Zdravá včelstva si potřebnou teplotu udržují v závislosti na ročním období. V případě nějakého problému v úle se může vnitřní teplota změnit. Údaje o neobvyklé změně teploty tedy mohou včelaři poskytnout varování, že něco není v pořádku a je nutná kontrola včelstva. Pokud například dojde ke snížení teploty v úle tak, že je stejná jako venkovní teplota, je pravděpodobné, že včelstvo zahynulo. Příčinou toho může být nemoc, útok predátorů, případně chemické látky, které se objevily v doletové vzdálenosti včelstva. Pokud včelař včas zjistí, že došlo k úhynu včelstva, má možnost zasáhnout a zabránit úhynům dalších včelstev.

V případě onemocnění včelstva je rozdíl teplot mezi zdravým a nemocným včelstvem relativně malý. Pohybuje se okolo 3 °C. Důvod takhle malé změny teploty může být snadno zaměněn s prudkou změnou počasí. Proto je vhodné měřit nejen vnitřní teplotu v úle, ale i vnější teplotu.

Hodnoty teploty a vlhkosti vzduchu v úle mohou též indikovat přítomnost roztoče *varroa destructor* (kleštík včelí). Tento parazit se vyskytuje na území evropských států od 80. let a místní včely nejsou schopny se tohoto parazita samy zbavit bez pomoci od včelaře. Optimální teplota pro přežívání kleštíka včelího je velmi podobná jako teplota ve včelstvu a pohybuje se okolo 34 °C a 60 % až 80 % vlhkosti vzduchu. Údaje o teplotě a vlhkosti v úle mohou včelaři poskytnout informace o tom, zda je v úle ideální prostředí pro život kleštíka. Neznamenají ovšem jeho přítomnost.

Včelí matka klade denně 2000 až 2500 vajíček. Pro jejich vývoj včely udržují v úle teplotu 32 °C až 35 °C. Pokud má včelař tuto informaci k dispozici měřením, ví, že matka je přítomna, klade a v úle je přítomný plod a vývoj nových generací včel je kontinuální. Aby včely tuto teplotu udržely, v chladných dnech zahřívají plod svými těly. V případě horkých dnů regulují teplotu větráním v úle tak, že mávají křídly a ovlivňují tím proudění vzduchu. Dosáhnou tím požadované teploty a vlhkosti okolo 70 % pro výchovu plodu a současně i optimální podmínky pro zrání medu při relativní vlhkosti vzduchu okolo 50 % v jednom úlovém prostoru. Netypická hodnota těchto veličin tedy může být indikátorem nějakého problému.

1.3 Atmosférický tlak

Atmosférický tlak není příliš významná veličina, co se včelaření týče. Může ale posloužit pro monitorování počasí, od kterého se mimo jiné i odvíjí nálada včelstva. Navýšení hodnoty atmosférického tlaku obvykle znamená příchod slunečného počasí. Jeho pokles naopak zpravidla ohlašuje příchod deštivého počasí. Na základě informací o atmosférickém tlaku si může včelař naplánovat zásahy do včelstva.

2 Komerčně dostupné úlové váhy

S rostoucím zájmem o včelařství, a to jak amatérské, poloprofesionální i profesionální a se stále se vyvíjející technologií, přibývají na trhu zařízení pro monitorování včelích úlů. Zařízení se různí jak do snímaných veličin, tak do způsobu komunikace, konstrukčního provedení a ceny. V této kapitole bych rád představil některé z dostupných zařízení.

2.1 Bee Hive Monitoring

Společnost Bee Hive Monitoring [1] nabízí čtyři typy úlových vah (3W, 3M, XS a 3S), externí GSM (Groupe Spécial Mobile) bránu pro vzdálenou komunikaci a různá přídatná zařízení pro měření dalších parametrů.

Všechny úlové váhy měří stejné parametry, a to hmotnost úlu, venkovní teplotu a venkovní vlhkost. Typ 3W a 3M je stejný, liší se pouze materiálem použitým při výrobě. Typ 3W je vyroben ze dřeva, typ 3M je kovový. Všechny zařízení umožňují uchovávání dat ve vnitřní paměti po dobu dvou měsíců a archivaci na cloudu až pět roků. Komunikace je zajištěna pomocí Bluetooth nebo pomocí externího GSM modulu. Společnost dále nabízí bezplatnou mobilní aplikaci pro Android a iOS (iPhone Operating System), případně webovou aplikaci.

3W, 3M

- maximální hmotnost úlu 200 kg
- odchylka vážení $\pm 0,5$ kg
- provedení - čtyři senzory hmotnosti umístěné na dvou volných lištách
- hmotnost 1,5 kg
- maximální rozměr úlu 500 mm na 700 mm (3W), 500 mm na 600 mm (3M)
- cena okolo 3500 Kč (3W), 4100 Kč (3M)

XS

- maximální hmotnost úlu 400 kg
- odchylka vážení $\pm 0,01$ kg, teplotní stabilita $5 \text{ g } ^\circ\text{C}^{-1}$
- provedení - čtyři senzory hmotnosti umístěné na dvou volných lištách
- materiál - kov
- hmotnost 2,5 kg
- maximální rozměr úlu 500 mm na 600 mm
- cena okolo 4700 Kč

3S

- maximální hmotnost úlu 200 kg
- odchylka vážení $\pm 0,01$ kg, teplotní stabilita $1 \text{ g } ^\circ\text{C}^{-1}$
- provedení - jeden single point senzor hmotnosti umístěný mezi dvě desky
- materiál - kov
- hmotnost 2,6 kg
- maximální rozměr úlu 500 mm na 400 mm
- cena okolo 5100 Kč

Úlové váhy typu XS a 3S dosahují až podezřele nízké odchylky měření hmotnosti. Při hledání senzorů hmotnosti jsem nenašel žádný, který by se blížil přesností a cenou výše uvedeným zařízením. Když jsem kontaktoval výrobce, odmítnul mi sdělit jakékoliv bližší informace. Bližší údaje o senzorech teploty a vlhkosti výrobce neuvádí, ani o materiálu, ze kterého jsou rámy vyrobeny.

Externí GSM brány se nabízí ve čtyřech variantách. Budto s připojením pouze na 2G (Second-Generation cellular network) síť nebo s připojením na 4G (Fourth-Generation cellular network) síť. GSM brána může být s anebo bez solárního panelu. Cena 2G brány bez solárního panelu se pohybuje okolo 2600 Kč, cena 4G brány okolo 3800 Kč. Solární panel prodraží zařízení o přibližně 500 Kč. Na jednu GSM bránu může být bezdrátově připojeno až sto zařízení s maximální vzdáleností 5 m až 50 m.

Další externí moduly, které je možné připojit, je počítadlo včel nebo tzv. srdce úlu. Počítadlo včel umožňuje zjistit počet létajících včel. Cenově se počítadlo včel pohybuje okolo 3800 Kč. Srdce úlu umožňuje měření vnitřní teploty a vlhkosti a dále analýzu zvuků v úle. Cenově se pohybuje okolo 2300 Kč.

2.2 Apis Digital

Společnost Apis Digital [2] nabízí tři typy úlových vah PAYA označené jako tzv. váha na dálku, váha přes kabel a přídatná váha. Všechny tyto váhy mají stejné vlastnosti a liší se pouze způsobem komunikace. Váha na dálku umožňuje bezdrátový přenos dat přes GSM síť pomocí SMS (Short Message Service) zpráv, případně komunikaci přes kabel. Komunikace je obousměrná. Je možné pomocí SMS zpráv upravit nastavení zařízení. Neumožňuje připojení na internet. Váha přes kabel neumožňuje bezdrátovou komunikaci a, jak je již z názvu patrné, je nutné ji připojit kabelem. Přídatná váha poté slouží k připojení k některé z předchozích vah při měření více úlů současně. Celkem je možné připojit k jedné váze až 29 přídatných vah pomocí kabelu.

PAYA

- maximální hmotnost úlu 200 kg
- minimální přírůstek hmotnosti 0,1 kg
- materiál - nerezová ocel
- hmotnost okolo 4,5 kg
- maximální rozměr úlu 540 mm na 420 mm
- pracovní teplota -30°C až 40°C
- cena 6000 Kč přídatná váha, 7900 Kč váha přes kabel, 11 900 Kč váha na dálku

2.3 Operchip

Společnost Operchip [3] nabízí dva typy úlových vah, a to FILIP a VILKO. První typ úlové váhy FILIP se dělá ve dvou provedeních. Provedení typu S obsahuje pouze měření hmotnosti a zobrazení na displej. Provedení typu G má navíc měření vnitřní a vnější teploty. Umožňuje monitorování a ovládání pomocí SMS, monitorování pomocí emailů nebo pomocí webové aplikace. Zařízení umí upozornit na kritické stavy, jako například překročení určité hmotnosti nebo teploty nebo detekci otřesů.

Druhý typ úlové váhy VILKO-02, který je vidět na obrázku 2.1, umožňuje měření hmotnosti, vnitřní a venkovní teploty a venkovní vlhkost vzduchu. Umožňuje vzdálený monitoring úlu přes GSM síť a upozornění na kritické stavy. Monitoring je možný pomocí SMS, emailů nebo webové aplikace. Pomocí SMS je též možné vzdáleně ovládat zařízení.

FILIP-xy

- maximální hmotnost úlu 160 kg
- přesnost měření hmotnosti $\pm 0,5$ kg
- typ na pozici y; FILIP-xS nebo FILIP-xG
- provedení - čtyři senzory hmotnosti v rozích rámu
- materiál udává písmeno na pozici x; W značí dřevo, P značí plast
- maximální rozměr úlu 500 mm na 500 mm
- pracovní teplota -20°C až 60°C
- cena okolo 3000 Kč za typ S, okolo 5600 Kč za typ G

VILKO-02

- maximální hmotnost úlu 200 kg
- přesnost měření hmotnosti $\pm 0,02$ kg
- provedení - jeden single point senzor hmotnosti
- materiál - nerezová ocel
- maximální rozměr úlu 500 mm na 450 mm
- pracovní teplota -20°C až 55°C
- cena okolo 12 600 Kč



Obr. 2.1: Ukázka zařízení pro monitorování včelích úlů VILKO-02 [4]

3 Senzory

Zařízení je určeno pro měření vícero veličin. Jsou jimi hmotnost, teplota, vlhkost vzduchu a atmosférický tlak. Údaje o hmotnosti poskytují informaci o stavu zásob v úle. Informace o teplotě a vlhkosti poskytují informace o správném fungování včelstva a atmosférický tlak o počasí.

3.1 Senzory hmotnosti

Hmotnost včelího úlu se během roku značně mění. Od jara začíná hmotnost úlu stoupat s přibývajícím množstvím medu. Na podzim naopak klesat s ubývajícím zásobami včelstva. Hmotnost prázdného včelího úlu se pohybuje okolo 30 kg. Plný včelí úl může dosáhnout hmotnosti až 200 kg. S rostoucími zásobami medu vzrůstá hmotnost úlu zpravidla o několik desítek kilogramů. S ubývajícím zásobami během zimy pak klesá o několik jednotek kilogramů. Přírůstek medu během dne může činit až 5 kg. Z toho důvodu nemá příliš velká přesnost měření hmotnosti význam.

Při přesném měření hmotnosti s přesností na gramy by se naměřená data dala využít při odhadu počtu létavek (včely, které vyletí z úlu a sbírají nektar). Pokud by se provedlo srovnání hmotnosti před úsvitem (před vyletěním včel z úlu) a po úsvitu, dalo by se odhadnout, kolik včel z úlu vyletělo. Úbytek hmotnosti 1 g by přibližně znamenal vyletění deseti včel. Počet létavek je pro včelaře zajímavý údaj, není ovšem relevantní. Počet létavek se mění v závislosti na spoustě okolních vlivů, jako je např. počasí a není příliš vypoovídající.

Nejlepší dosažitelná přesnost komerčně dostupných tenzometrických senzorů hmotnosti je c6. Což znamená 6000 dílků na rozsah měřené hmotnosti. Je tedy možné dosáhnout přesnosti ± 33 g při váživosti do 200 kg. Ceny takhle přesných senzorů hmotnosti se pohybují v řádu tisíců až desetitisíců Kč. Kvůli jejich vysoké ceně a nízké nutnosti vysoké přesnosti měření jsou takové senzory nevhodné pro zařízení.

3.1.1 Způsoby měření hmotnosti

Jednou z možností měření hmotnosti jsou odporové tenzometry. Odporové tenzometry jsou založeny na piezodoporovém jevu. Při mechanické deformaci dochází ke změnám rozměrů, a tím ke změně odporu. Hodnotu odporů můžeme vypočítat: [5]

$$R = \rho \frac{l}{S} \quad (3.1)$$

kde ρ značí rezistivitu, l délku a S průřez materiálu.

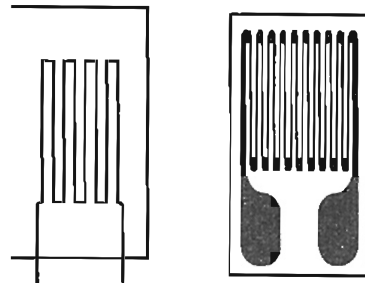
Materiály pro tenzometry bývají kovy nebo polovodiče. U polovodičových odporových tenzometrů dochází ke změně odporu v důsledku změny pohyblivosti nosičů

proudu při působení mechanického namáhání. Polovodičové tenzometry mají oproti kovovým výrazně vyšší citlivost, jsou ovšem značně teplotně závislé a vyznačují se nelineární závislostí změn odporu na deformaci. Nelinearita se může vylepšit zvětšením vodivosti, klesá ovšem citlivost. Často používané polovodičové materiály jsou například křemík nebo germanium. Nejčastějšími kovovými materiály bývají konstantan nebo slitiny niklu a chromu.

Dělení odporových tenzometrů:

- kovové
 - drátové
 - fóliové
 - vrstvé
- polovodičové
 - monokrystalické
 - polykrystalické

Pro zvětšení délky natahovaného tenzometrického pásku je možné použít meandrové uspořádání, jak je vidět na obrázku 3.1. Celkové prodloužení bude tedy rovné n -násobku prodloužení ve směru rovnoběžném se směrem prodloužení, kde n je počet úseků meandru. Díky meandrové struktuře jsou možné výraznější změny odporu při stejném prodloužení.



Obr. 3.1: Příklad typického tenzometru [5]

Dalšími možnostmi měření hmotnosti jsou například kapacitní tenzometry (vlivem deformace dochází ke změně vzdálenosti mezi elektrodami, a tím ke změně kapacity).

3.1.2 Vybrané senzory hmotnosti

Z konstrukčního hlediska bude nejvhodnější mít senzor hmotnosti umístěný pod úlem. Je možné použití čtyř senzorů umístěných v rozích úlu nebo jeden single point senzor uprostřed.

Požadavky na senzor hmotnosti jsou:

- váživost do 200 kg
- odolnost proti povětrnostním podmínkám
- nízká cena
- nízká spotřeba
- nízká hmotnost

Tab. 3.1: Vybrané senzory hmotnosti

Senzor	Přesnost [%]	Pracovní teplota [°C]	Přibližná cena [Kč]
YZC-161	0,1	-20÷65	4×70
YZC-1B	0,02	-35÷80	570
Zemic L6E3	0,025	-35÷65	1650
Keli UDA	0,033	-20÷60	2400
Zemic L6G	0,025	-35÷65	3300
Scaime AH	0,017	-20÷60	12400

Senzor YZC-161 je jediný vybraný senzor, který není typu single point. Na základě parametrů v tabulce 3.1 jsem se rozhodl použít senzor YZC-1B [6]. Otázkou ovšem je, jestli jsou uváděné údaje výrobcem důvěryhodné. Hlavním rozhodovacím faktorem byla nicméně cena a přesnost. Nejlevnějším řešením by bylo použití YZC-161, který by vycházel na 280 Kč. Dosažitelná přesnost měření je ovšem výrazně nižší. Z toho důvodu jsem se rozhodl použít YZC-1B, který je vidět na obrázku 3.2. Dosahuje vyšší přesnosti a je výrazně levnější oproti ostatním. Senzor je vnitřně uspořádán do Wheatstonova můstku.



Obr. 3.2: Vybraný senzor pro měření hmotnosti YZC-1B [7]

K vybranému senzoru bude použit přídatný AD (Analog-to-Digital) převodník HX711 [8]. Jedná se o 24-bitový převodník určený pro senzory hmotnosti, který lze připojit přímo k senzoru zapojeném do můstku.

3.2 Senzory teploty

Zařízení bude umožňovat měření jak venkovní teploty, tak vnitřní teploty v úlu. Vnitřní teplota úlu v zimě značně závisí na místě, kde se měří. V chomáči se teplota pohybuje zpravidla okolo 25 °C, minimálně 20 °C. V ostatních částech úlu je teplota výrazně nižší a může klesnout i do záporných hodnot. V létě se vnitřní teplota úlu pohybuje zpravidla okolo 36 °C, maximálně může dosáhnout přibližně 45 °C. Nepředpokládá se, že venkovní teplota přesáhne 45 °C. Rozsah měřené teploty je tedy dán minimální venkovní hodnotou a maximální teplotou uvnitř úlu.

3.2.1 Způsob měření teploty

Nejčastější způsoby měření teploty vychází ze změny odporu materiálu v závislosti na teplotě. Materiály vhodné pro teploměry jsou různé kovy, jejichž odpor s rostoucí teplotou stoupá, a polovodiče, jejichž odpor s rostoucí teplotou naopak klesá.

Odporové kovové senzory teploty

Principem odporových senzorů teploty je tepelná závislost odporu daného kovu na teplotě. S rostoucí teplotou stoupá hodnota odporu daného vodiče. To je způsobeno vyšší četností srážek volných elektronů s kladnými ionty v krystalové mřížce. Hodnotu odporu můžeme vypočítat ze vztahu: [5]

$$R = R_0(1 + \alpha\Delta t) \quad (3.2)$$

kde R_0 značí odpor při teplotě 0 °C, α teplotní součinitel odporu, Δt rozdíl teplot.

Tato rovnice platí pro kovové teploměry v rozsahu teplot 0 °C až 100 °C. Pro větší rozsahy teplot je nutné použít nelineární rovnice pro daný materiál. Nejčastější materiál pro odporové kovové senzory teploty je platina. Dále se používají například nikl, měď nebo molybden.

Odporové polovodičové senzory teploty

Princip odporových polovodičových senzorů teploty je obdobný jako u odporových kovových senzorů teploty. Odpor polovodičového materiálu je závislý na teplotě s tím rozdílem, že s rostoucí teplotou klesá odpor polovodičového materiálu. To je způsobeno vyšší koncentrací volných nosičů náboje s rostoucí teplotou.

Termoelektrické senzory teploty

Termoelektrické senzory teploty fungují na principu Seebeckova jevu. Jedná se o spojení dvou vodičů z různých kovů. Pokud bude teplota v místě spoje vyšší než teplota na rozpojených koncích vodičů, vznikne mezi těmito rozpojenými konci vodičů elektrické napětí. Dochází k přímé změně tepelné energie na energii elektrickou.

Další typy

Mezi další typy senzorů teploty patří např. polovodičové senzory s PN (Positive-Negative) přechodem nebo krystalové senzory. Principem polovodičových teplotních senzorů s PN přechodem je závislost napětí PN přechodu v propustném směru na teplotě. Pro měření se používají PN-diody nebo tranzistorové PN senzory. Krystalové senzory teploty využívají závislosti rezonančního kmitočtu křemenového výbrusu na teplotě.

3.2.2 Vybrané senzory teploty

Zařízení by mělo monitorovat jak vnitřní, tak vnější teplotu. Senzory umístěné mimo úl by měly být odolné vůči povětrnostním podmínkám. Senzorům umístěným uvnitř úlu zase hrozí zalepení od medu, případně zastavení voskem včelami.

Požadavky na senzor teploty jsou:

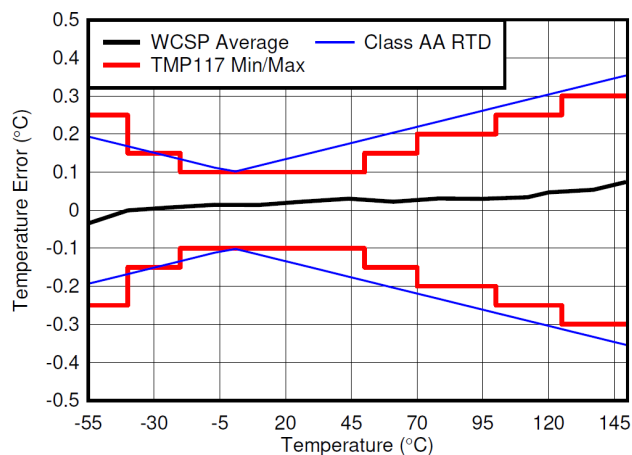
- rozsah měřících teplot od $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$ do $60\text{ }^{\circ}\text{C}$
- odolnost vůči pracovnímu prostředí
- přesnost měření
- nízká cena
- nízká spotřeba

Tab. 3.2: Vybrané senzory teploty

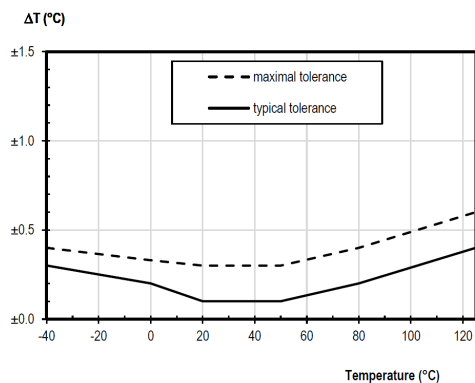
Sensor	Typická přesnost [$^{\circ}\text{C}$]	Pracovní teplota [$^{\circ}\text{C}$]	Provozní proud [μA]	Přibližná cena [Kč]
TMP117	0,1	$-55\div 150$	3,5	525
SHT85	0,1	$-40\div 105$	600	680
SHT40	0,2	$-40\div 125$	350	118
SHT35	0,1	$-40\div 125$	600	368
BME280	1,25	$-40\div 85$	350	185
DS18B20	0,5	$-55\div 125$	1500	56

Pro přesné měření teploty je nejvhodnější senzor TMP117 [9]. V celém svém rozsahu měřených teplot dosahuje největší možné nepřesnosti $\pm 0,3\text{ }^{\circ}\text{C}$, typicky se

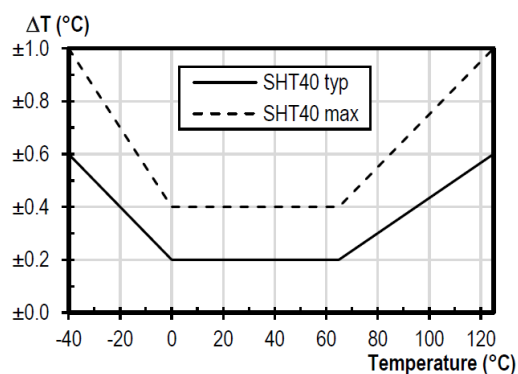
přesnost pohybuje pod $\pm 0,1^\circ\text{C}$, jak můžeme vidět na obrázku 3.3. Při měření teplot v rozsahu -20°C do 50°C je největší možná nepřesnost $\pm 0,1^\circ\text{C}$, ale typicky se pohybuje výrazně níž. Velkou výhodou tohoto senzoru je i jeho nízká spotřeba. Hlavní nevýhodou je poměrně vysoká cena.



Obr. 3.3: Odchylka měření senzoru TMP117 [9]



(a) SHT85



(b) SHT40

Obr. 3.4: Odchylka měření senzorů SHT85 [10] a SHT40 [11]

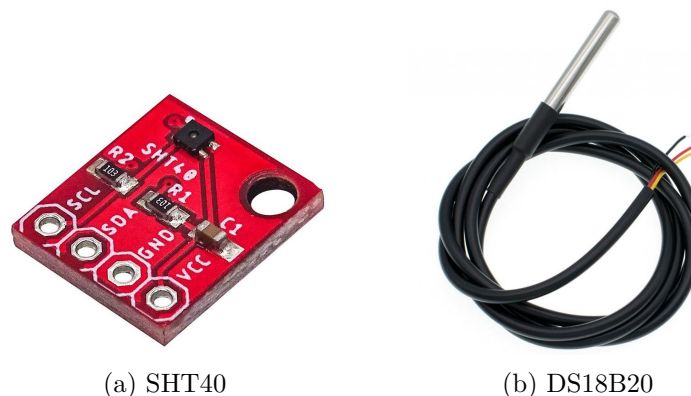
Senzor SHT85 [10] je takřka ve všech ohledech horší než TMP117. Přesnosti měření $\pm 0,1^\circ\text{C}$ dosahuje pouze v rozsahu teplot 20°C až 50°C a pouze typicky. Maximální tolerance pro tento rozsah teplot je $\pm 0,3^\circ\text{C}$, jak je vidět na obrázku 3.4a. Zároveň i jeho cena a spotřeba jsou vyšší.

Senzor SHT35 [12] dosahuje největší nepřesnosti měření $\pm 0,3^\circ\text{C}$, a to v rozsahu měřených teplot od -40°C do 90°C . Typicky pak dosahuje přesnosti $\pm 0,1^\circ\text{C}$ v rozsahu teplot 20°C do 60°C . Jeho výhodou oproti senzoru TMP117 je nižší cena, nevýhodou je výrazně vyšší spotřeba.

Senzor BME280 [13] dosahuje největší nepřesnosti $\pm 1,25^\circ\text{C}$ v rozsahu teplot -20° až 0° . V teplotním rozsahu 0° až 65° dosahuje výrazně vyšší přesnosti, a to $\pm 0,5^\circ$. Další výhodou tohoto senzoru je i možnost měření vlhkosti vzduchu a atmosférického tlaku.

Jelikož velká přesnost měření teploty není zas tak významná, rozhodl jsem se upřednostnit cenu zařízení. Proto jsem zvolil na základě parametrů z tabulky 3.2 dva typy senzorů teploty. První zvolený senzor teploty je SHT40 [11], který je vidět na obrázku 3.5a, kvůli dobré přesnosti, jejíž průběh je vidět na obrázku 3.4b, nízké ceně, relativně nízké spotřebě a možnosti měření vlhkosti vzduchu. Druhým zvoleným senzorem je DS18B20 [14], který je vidět na obrázku 3.5b. Ačkoli má horší parametry než většina ostatních senzorů, je nejlevnější a jako jediný je k dostání ve vodotěsném pouzdře. Je tedy dobře chráněn jak pro použití v úlu, tak mimo něj.

Zvolené senzory jsou tedy DS18B20 pro měření vnitřní teploty kvůli jeho vodotěsnému pouzdru. SHT40, rovněž použit pro měření vnitřní teploty, je vybrán kvůli vyhovujícím vlastnostem a možnosti měření vlhkosti vzduchu. A BME280 pro měření venkovní teploty je zvolený z důvodu vyhovujících vlastností, možnosti měření vlhkosti vzduchu a atmosférického tlaku.



Obr. 3.5: Vybrané senzory teploty SHT40 [15] a DS18B20 [16]

3.3 Senzory vlhkosti

Údaje o vlhkosti vzduchu ve včelím úlu nejsou tak významné, jako údaje o teplotě a hmotnosti úlu. Mohou ovšem pomoci při identifikaci možných problémů včelstva nebo pro predikci kvality medu.

3.3.1 Způsoby měření vlhkosti

Kapacitní senzory vlhkosti fungují na principu změny permitivity dielektrika mezi elektrodami kondenzátoru v závislosti na vlhkosti vzduchu. Dielektrikum mezi elektrodami kondenzátoru může být například vzduch. Při změně vlhkosti vzduchu dojde ke změně jeho permitivity, a tím ke změně hodnoty kapacity senzoru.

Odporové senzory vlhkosti fungují na principu změny elektrické vodivosti a rezistivity materiálu v závislosti na změně vlhkosti vzduchu. Používají se materiály s relativně nízkou rezistivitou, která se ovšem výrazně mění v závislosti na vlhkosti vzduchu.

Vybrané senzory vlhkosti

Zařízení by mělo monitorovat jak vlhkost vzduchu uvnitř včelího úlu, tak venkovní vlhkost vzduchu. Senzory by měly být ošetřeny proti povětrnostním vlivům a proti vlivům uvnitř úlu obdobně jako senzory teploty.

Požadavky na senzor vlhkosti:

- měřící rozsah
- odolnost vůči pracovnímu prostředí
- nízká cena
- nízká spotřeba

Tab. 3.3: Vybrané senzory vlhkosti

Senzor	Přesnost [%]	Provozní proud [μ A]	Přibližná cena [Kč]
SHT30	2	600	108
SHT31	2	600	158
SHT35	1,5	600	368
BME280	3	340	185
SHT40	1,8	350	118
HTU21D	2	500	170

Všechny vybrané senzory mají rozsah měřené relativní vlhkosti 0 % až 100 %. Pracovní teplota všech senzorů je dostatečná pro celoroční venkovní provoz.

Na základě nízké ceny, spotřeby a poměrně dobré přesnosti uvedené v tabulce 3.3, jsem vybral senzor SHT40, již zmíněný v předchozí části 3.2, pro měření vnitřních parametrů. Je ovšem důležité si dát pozor, protože při měření více veličin jedním senzorem může dojít k jeho ohřátí. To by mohlo způsobit větší nepřesnosti měření. Druhým zvoleným senzorem je rovněž již zmíněný BME280 pro měření venkovních parametrů 3.2.

3.4 Senzory atmosférického tlaku

Velikost atmosférického tlaku je ve včelaření méně významná oproti předcházejícím. Může ovšem pomoci při odhadování počasí.

3.4.1 Způsoby měření atmosférického tlaku

Ve většině případů se pro měření atmosférického tlaku využívají senzory obsahující deformační členy. Jejich deformace, popřípadě pohyb, je změřen a převeden na hodnotu atmosférického tlaku. Jako deformační člen bývá převážně použita křemíková membrána. Při působení tlaku dochází k deformaci membrány, a ta se prohýbá. Deformace membrány může být měřena například snímači fungujícími na principu piezodoporového jevu, kde při změně rozměrů dochází ke změně odporu, nebo pomocí kapacitních senzorů.

U kapacitních senzorů funguje membrána jako jedna elektroda kondenzátoru. Druhá elektroda je pevná. V závislosti na průhybu membrány se mění vzdálenost mezi elektrodami, a tím i kapacita takto vzniklého kondenzátoru.

3.4.2 Vybrané senzory atmosférického tlaku

Požadavky na senzor atmosférického tlaku:

- měřící rozsah
- odolnost vůči povětrnostním podmínkám
- nízká cena
- nízká spotřeba

Tab. 3.4: Vybrané senzory atmosférického tlaku

Senzor	Přesnost [hPa]	Provozní proud [μ A]	Přibližná cena [Kč]
BMP180	0,12	1000	49
BMP280	0,12	720	38
BMP338	0,50	700	228
BME280	0,12	714	185
2SMPB-02B	0,039	640	44

Všechny senzory atmosférického tlaku uvedené v tabulce 3.4 umožňují měření v rozsahu od 300 hPa do 1100 hPa. Pracovní teplota všech senzorů je dostatečná pro celoroční venkovní provoz. Vybraným senzorem pro měření atmosférického tlaku a dalších venkovních parametrů je BME280, který je vidět na obrázku 3.6, již zmíněný v předchozích částech 3.2, 3.3. Na základě nízké ceny, poměrně dobré přesnosti

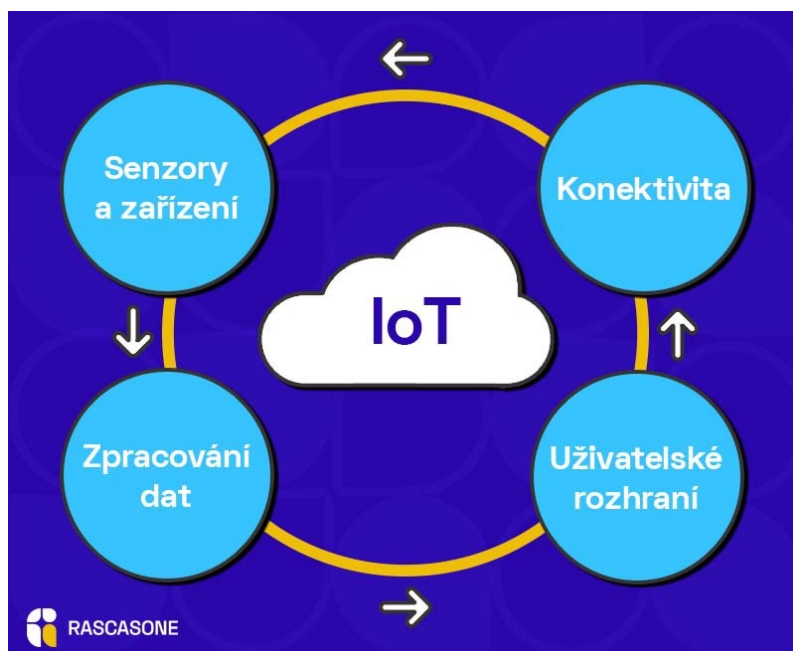
měření a přijatelné spotřebě se vhodně jeví i senzor BMP280, neumožňuje ovšem měření vlhkosti vzduchu.



Obr. 3.6: Vybraný senzor pro měření atmosférického tlaku BME280 [17]

4 Řízení a komunikace

IoT, neboli internet věcí, je síť umožňující propojení různých elektronických zařízení a jejich vzájemnou komunikaci a výměnu dat. Fyzická zařízení jsou mezi sebou propojena prostřednictvím internetu a sbírají nebo si vyměňují data. Pro fyzická zařízení je typická nízká spotřeba a bateriový provoz umožňující funkci zařízení několik let bez nutnosti lidského zásahu. Komunikace se zařízeními probíhá převážně ve směru uplink - fyzická zařízení data spíše odesílají než přijímají.



Obr. 4.1: Internet věcí [18]

4.1 Možnosti komunikace

Zařízení pro monitorování včelího úlu by mělo být schopno pracovat i v odlehlých místech, jako například louka nebo okraj lesa. Protože v místě působení zařízení se pravděpodobně nebude nacházet elektrická síť, je potřeba, aby bylo zařízení schopné fungovat na bateriový provoz. Z toho důvodu je velice výhodné, aby způsob komunikace měl co nejmenší spotřebu energie, což umožní dlouhodobější provoz zařízení. Hlavním parametrem způsobu komunikace je ovšem dosah. Z důvodu možnosti umístění zařízení v odlehlých místech je potřeba, aby daný způsob komunikace měl dobré pokrytí.

Wi-Fi

Wi-Fi (Wireless-Fidelity) je rodina standardů realizujících WLAN (Wireless Local Area Network). Jejím komunikačním standardem je IEEE 802.11. Pro následné rozlišení je přidáno jedno nebo více písmen IEEE 802.11(x) definující určitý protokol, od něhož se odvíjí vlastnosti sítě. V současné době dochází k přejmenovávání - například IEEE 802.11ax se nově jmenuje Wi-Fi 6. Typické frekvenční pásma užívané Wi-Fi jsou 2,4 GHz a 5 GHz.

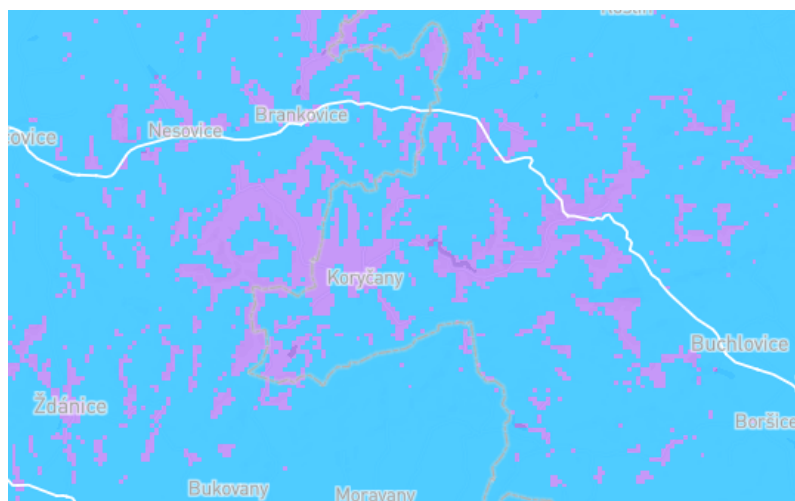
Komunikace se zařízením a odesílání dat na internet pomocí Wi-Fi by bylo velice výhodné. Toto řešení je ideální pro včelí úly nacházející se ve značné blízkosti domu. Komunikace pomocí Wi-Fi umožňuje přenos velkého množství dat a je v podstatě zadarmo, protože skoro každý již doma Wi-Fi má a připojit k ní další zařízení nijak nezvýší provozní náklady. Bohužel se většina včelích úlů nachází ve větší vzdálenosti od domu, kde již nelze chytit signál, nebo v odlehlých oblastech, kde se o tomto řešení nedá ani uvažovat.

Sigfox

Sigfox je mobilní operátor sítě určené pro IoT. Jedná se o LPWAN (Low-Power Wide-Area Network) síť. Sigfox pracuje v bezlicenčním ISM (Industrial, Scientific, Medical) pásmu 868 MHz. Jedná se o UNB (Ultra Narrow Band), tedy vysoce úzkopásmovou síť s šířkou pásma 100 Hz. Umožňuje odeslat 140 zpráv denně ve směru uplink o velikosti 12 B. Ve směru downlink umožňuje přijmout 4 zprávy denně o velikosti 8 B. Přenosová rychlost ve směru uplink je 100 b/s, ve směru downlink je to 600 b/s.

Výhodou je dostupnost sítě, která v České republice, podle tvrzení na oficiálních stránkách, pokrývá 94 % území. Dalšími výhodami jsou nízká spotřeba energie, která je typická pro LPWAN síť. Nižší datový tok by neměl být problém z důvodu absence nutnosti posílání velkého objemu dat. Cenově by toto řešení vycházelo na 405 Kč za zařízení ročně. Měsíčně tedy 34 Kč.

Bohužel i přes vysoké pokrytí území, jak tvrdí poskytovatel, se většinou jedná o městské oblasti a jejich okolí. Odlehlejší místa jsou často bez pokrytí. Příkladem, jak můžeme vidět na obrázku 4.2, je třeba město Koryčany, jedna z cílených lokalit pro zařízení na monitorování včelích úlů. Toto není ojedinělý případ horšího pokrytí míst s potenciálně vyšším výskytem včelích úlů. Využití sítě Sigfox proto není vhodné pro zařízení na monitorování včelích úlů.



Obr. 4.2: Mapa pokrytí sítě Sigfox pro oblast města Koryčany [19]

LoRaWAN

LoRaWAN je LPWAN síť pracující v bezlicenčním ISM pásmu 868 MHz. Šířka pásma je dle evropských regulí 125 kHz a 250 kHz. Přenosové rychlosti jsou pro uplink i downlink stejné a dosahují až 50 kb/s. Maximální velikost zprávy je 243 B jak pro uplink, tak pro downlink. U LoRaWAN není omezení na počet zpráv denně, ale DC (Duty Cycle) neboli střídou. DC udává, jaké procento času může zařízení vysílat v určitém časovém horizontu. Hodnota DC je nejčastěji 1%. K přenosu dat dochází ze zařízení na gateway a z gateway na internet. Dosah sítě LoRa je v řádu kilometrů, za příznivých podmínek až deset kilometrů od gateway.

Výhody LoRaWAN jsou malá spotřeba energie, nízké pořizovací a provozní náklady. Protože není nutné posílat velké množství dat, vystačí i nižší datový tok. Tento způsob komunikace je nejvhodnější pro úly nacházející se ve vzdálenosti několika kilometrů od domu včelaře.

NB-IoT

NB-IoT (Narrowband-Internet of Things) je úzkopásmová síť určená pro přenos dat definovaná standardem 3GPP (The 3rd Generation Partnership Project). Tato technologie je speciálně navržena pro internet věcí. NB-IoT využívá licenční frekvenční spektrum, v ČR se využívá v pásmu 800 MHz. Šířka pásma NB-IoT je 15 kHz. Rychlost přenosu ve směru uplink dosahuje hodnot až 27,2 kb/s, ve směru downlink až 32,25 kb/s. Maximální velikost zprávy je 1600 B jak pro uplink, tak pro downlink.

Výhodou je údajně velká dostupnost signálu a pokrytí 100% plochy území České republiky. Nejvýznamnějším poskytovatelem této sítě v ČR je mobilní operátor Vo-

dafone. Tato síť je ovšem dostupná pouze pro firmy a není možné ji využít pro osobní použití.

2G

Další možností přenosu dat je využití 2G, případně 2.5G sítě GSM a GPRS (General Packet Radio Service). Na území ČR pracuje GSM v pásmu 900 MHz a 1800 MHz s komutovaným přenosem dat. Pomocí systému GPRS je systém GSM rozšířen a umožňuje paketový přenos dat s teoretickou přenosovou rychlostí až 171,2 kb/s. Rovněž umožňuje přístup na internet.

V současné době se jedná o nejběžnější způsob komunikace u komerčně dostupných zařízení pro monitorování včelích úlů. Hlavní výhodou této sítě je velké pokrytí, které dosahuje na našem území téměř všude. Tento způsob komunikace tedy umožňuje přenos dat na velké vzdálenosti s dobrým pokrytím i v odlehlejších oblastech, kde by se mohly případně nacházet včelí úly. Další výhodou je možnost posílání SMS zpráv, které by mohly fungovat jako krizová signalizace pro včelaře. Kdyby například hmotnost úlu výrazně klesla, mohlo by to znamenat, že úl spadl. Zařízení by poslalo SMS zprávu s informací o prudkém poklesu hmotnosti a včelař by se hned dozvěděl, že něco není v pořádku. Takto odeslaná informace by se ke včelaři dostala pravděpodobně rychleji, protože SMS zprávy si nejspíš všimne dříve než mailu nebo jiného způsobu komunikace. Také tento způsob komunikace umožňuje přenos velkého množství dat, což ovšem pro zařízení pro monitorování včelího úlu není potřeba. Hlavními nevýhodami jsou vyšší spotřeba energie a vyšší provozní náklady. Je nutné pořízení SIM (Subscriber Identity Module) karty u některého z operátorů. Možnosti jsou buďto využití předplacené SIM karty a následné dobíjení nebo využití některého z nabízených tarifů.

Jako jedno z nejvýhodnějších řešení se jeví SIM karta od Oskarty. Jedná se o předplacenou SIM kartu s cenou 1,5 Kč za SMS a 1 Kč za 1 MB dat. Výhodné je i účtování dat po 1 kB. Při minimálním dobití 200 Kč na 6 měsíců vychází měsíční cena na 34 Kč, což je stejné jako u sítě Sigfox. Rovněž bude dle ČTÚ (Český Telekomunikační Úřad) [20] 2G síť provozována alespoň do roku 2028, pokud počet účastníků využívající tuto technologii neklesne pod 5%. Z těchto důvodů se využití této sítě jeví jako nejvhodnější a je následně použito.

4.2 Výběr mikrokontroléru

V dnešní době je na trhu velké množství mikrokontrolérů s různými vlastnostmi a různou cenou. Při výběru jsem se zaměřil převážně na AVR, STM a ESP mikrokontroléry.

Tab. 4.1: Vybrané mikrokontroléry

mikrokontrolér	I/O	I ² C	UART	Spotřeba [μA]	Cena [Kč]
ATmega2560	54	1	2	9,5	230
RP2040	30	2	2	180	30
STM32F030	55	2	2	4,1	25÷225
STM32F411	81	3	3	300	45÷255
STM32F302	51	3	3	900	35÷230
ESP32 WROOM	34	2	3	5	65÷130

Jedním s hlavních parametrů je počet IO (Input-Output) pinů. Uvažovaný počet použitých pinů u zařízení je 12. Je ovšem vhodné si nechat rezervu pro případ změn anebo rozšiřování. Tento požadavek nesplňují uvažované mikrokontroléry ATmega328P, ATmega32U4 a ESP8266.

Pro komunikaci se senzory a ostatními periferiemi je vyžadováno rozhraní I²C (I-squared-C) a UART (Universal Asynchronous Receiver-Transmitter). Jelikož i programování většiny mikrokontrolérů probíhá přes UART, je výhodné, aby mikrokontrolér měl možnost komunikovat přes více než jeden UART. Programování STM mikrokontrolérů probíhá přes SWD (Serial Wire Debugging).

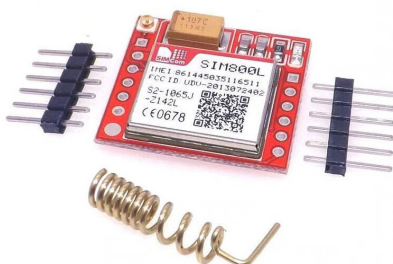
Ze srovnání vybraných mikrokontrolérů v tabulce 4.1 můžeme vidět, že se velice výhodně jeví mikrokontrolér STM32F030 díky velkému počtu I/O (Input/Output) pinů, nízké spotřebě a nízké ceně. Zvoleným mikrokontrolérem je ovšem ESP32 WROOM, který lze vidět na obrázku 4.3. Hlavními důvody výběru tohoto mikrokontroléru jsou poměrně dobrá cena, dostupnost a možnost připojení přes Wi-Fi a Bluetooth bez nutnosti dalších periferií, což může, ale nemusí být v budoucnu použito.



Obr. 4.3: Mikrokontrolér ESP32-WROOM [21]

4.3 Výběr GSM a GPRS modulu

Pro připojení do GSM sítě jsem zvolil modul SIM800L [22], který můžete vidět na obrázku 4.4. Jedná se o Quad-band modul podporující frekvence 850 MHz, 900 MHz, 1800 MHz a 1900 MHz. V České republice jsou používány dvě různé frekvence, a to 900 MHz a 1800 MHz. Připojení do sítě je možné přes SIM kartu od kteréhokoliv z hlavních operátorů. Výhodná je i poměrně nízká cena tohoto modulu. Dalšími možnostmi byly například moduly SIM900 nebo SIM7000E, jejichž cena byla ovšem výrazně vyšší.



Obr. 4.4: GSM a GPRS modul SIM800L [23]

4.4 ThinkSpeak

Pro grafické zpracování naměřených dat je využít ThingSpeak [24]. Tato služba umožňuje sběr dat a ukládání na cloud s možností dalšího zpracování, vizualizace a analýzy pomocí MATLABu a měla by fungovat s Arduinem, Raspberry Pi a mnou zvoleným mikrokontrolérem ESP. Pro nekomerční využití je tato služba zdarma, což je velká výhoda. Nevýhoda je omezené množství zpracovávaných dat.

Po vytvoření kanálu nabízí ThingSpeak osm polí pro odesílaná data. Limitace pro verzi zdarma jsou maximálně čtyři kanály, odesílání dat každých 15 s, maximálně 3 000 000 zpráv ročně (což tvoří přibližně 8200 zpráv za den) a možnost sdílení maximálně třech kanálů.

Vhodnými alternativami ThingSpeaku jsou například UbiDots [25], Datagekko [26] nebo AskSensors [27].

5 Spojité stabilizátory a spínané zdroje

Při návrhu zařízení bylo potřeba vytvořit vhodnou napájecí kaskádu jednotlivých bloků. Pro získání požadovaných napěťových úrovní byly použity spínané zdroje a stabilizátory. Spínané zdroje a stabilizátory jsou obvody, které slouží ke změně napětí. Na svém výstupu jsou schopny dodávat jiné napětí, než mají na svém vstupu.

5.1 Spojité stabilizátory

Spojité stabilizátory slouží ke spojitě stabilizaci napětí nebo proudu na zátěži. Stabilizované napětí, případně proud by měl být co nejméně závislý na vnějších veličinách, jako je například teplota. Spojité stabilizátory se dělí na parametrické a zpětnovazební.

Výhodami spojitých stabilizátorů jsou jednoduchá obvodová zapojení, rychlá odezva na změnu zátěže a nízký šum na výstupu. Nevýhodami jsou nízká účinnost a umožňují napětí pouze snižovat.

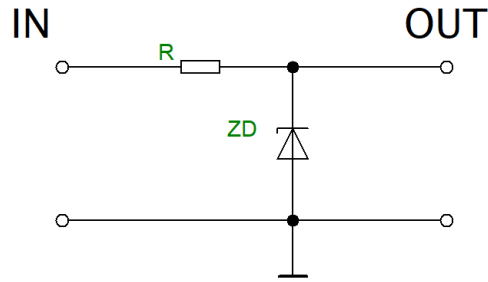
5.1.1 Parametrické stabilizátory

Základem parametrických stabilizátorů je silně nelineární prvek, který se používá pro regulaci výstupního napětí. Obvod neobsahuje žádnou zpětnou vazbu. Jejich činnost je založena na principu rozdílu mezi statickým a dynamickým odporem vhodného prvku. Jedná se o prvky tzv. triodového typu, u nichž platí, že dynamický odpor je výrazně nižší než statický.

Vhodným prvkem může být například napěťová referenční (neboli Zenerova) dioda. U zapojení s napěťovou referenční diodou, které je možné vidět na obrázku 5.1, se využívá toho, že při změně vstupního napětí dojde ke změně proudu diodou a napětí na diodě. Změna napětí na diodě bude ovšem výrazně menší než změna proudu a tím i změna vstupního napětí.

5.1.2 Zpětnovazební stabilizátory

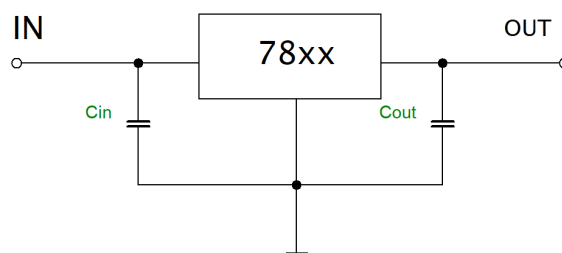
Zpětnovazební stabilizátory fungují na principu porovnávání výstupního napětí s referenčním napětím a v závislosti na jejich rozdílu je prováděná regulace říditelného prvku. LDO (Low Drop-Out) regulátor je druhem zpětnovazebního stabilizátoru s nízkým úbytkem napětí. Obvykle se tím chápou stabilizátory s menším úbytkem napětí jak 1 V, ale neexistuje přesná definice.



Obr. 5.1: Ukázkové zapojení parametrického stabilizátoru s napětovou referenční diodou

Zpětnovazební stabilizátory se prodávají již v integrované podobě. Ukázkové zapojení zpětnovazebního stabilizátoru v integrované podobě je možné vidět na obrázku 5.2. Dělí se podle nastavitelnosti výstupního napětí na stabilizátory s nastavitelným nebo fixním výstupním napětím, dle polaritý výstupního napětí na stabilizátory kladných nebo záporných hodnot napětí a podle počtu svorek na třísvorkové nebo vícesvorkové.

Nebezpečná je skoková změna zátěže. Při velké změně výstupního proudu hrozí podpětí nebo přepětí na výstupu. Tento problém by v mém případě mohl nastat zejména u GSM modulu, který může skokově odebírat až 2 A. Řešením je zvýšení kapacity na výstupu stabilizátoru, ovšem pouze do určité míry stanovené datasheetem.



Obr. 5.2: Ukázkové zapojení integrovaného zpětnovazebního stabilizátoru

5.2 Spínané zdroje

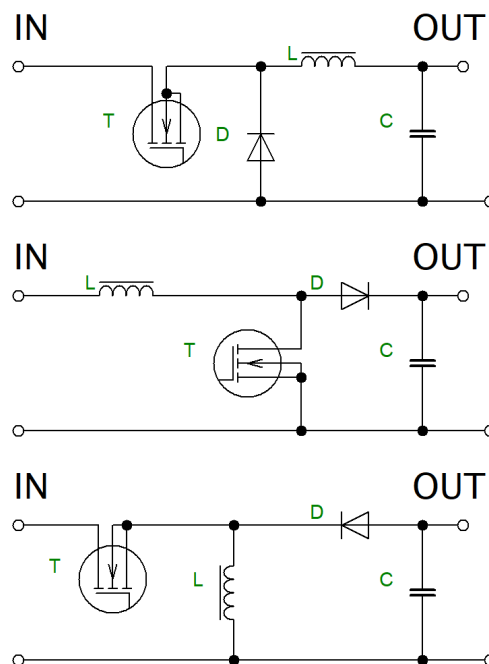
Spínané zdroje (spínané stabilizátory) jsou DC/DC měniče. Umožňují změnu vstupního stejnosměrného napětí na jiné výstupní stejnosměrné napětí. Stejně jako zpětnovazební stabilizátory obsahují spínané stabilizátory zpětnou vazbu. Energie se do

zátěže dodává po částech a regulace se děje pomocí spínání a vypínání. Jedná se tedy o nespojitou regulaci. Akumulační prvky pak slouží k vyhlazení výstupního napětí nebo proudu.

Dělí se na tři základní typy neizolovaných měničů, a to snižující měnič (Buck, Step-Down), zvyšující měnič (Boost, Step-Up) a invertující měnič (Buck-Boost). Ukázkové zapojení těchto tří měničů je vidět na obrázku 5.3. Jak již názvy vypovídají, snižující měnič umožňuje napětí pouze snižovat, na výstupu bude vždy nižší napětí než na vstupu. Zvyšující měnič umožňuje napětí pouze zvyšovat, na výstupu bude vždy vyšší napětí než na vstupu. Invertující měnič umožňuje napětí jak zvyšovat, tak snižovat. U izolovaných DC/DC měničů se využívá transformátorů. Nejvýznamnější izolované měniče jsou propustný měnič (Forward), který je izolovanou verzí snižujícího měniče a blokující měnič (Flyback), který je izolovanou verzí invertujícího měniče.

Hlavními výhodami spínaných stabilizátorů jsou vysoká účinnost, poměrně velký dodávaný výkon, možnost napětí jak snižovat, tak i zvyšovat. Hlavními nevýhodami jsou složitější zapojení o více součástek, s tím související i vyšší cena, vyšší zvlnění výstupního napětí.

Velice výhodné může být kombinace spínaných a spojitých stabilizátorů pro získání výhod obou typů obvodů.



Obr. 5.3: Ukázkové zapojení DC/DC měničů - snižující (nahore), zvyšující (uprostřed), invertující (dole)

6 Návrh zařízení

Zařízení je určeno pro monitorování parametrů včelího úlu a následné odesílání naměřených dat na internet. Kvůli celoročnímu venkovnímu provozu musí být zařízení odolné vůči povětrnostním podmínkám a kvůli provozu mimo dosah napájecí sítě musí být schopné fungovat přes akumulátor. Z hlediska dlouhodobého provozu je vhodné doplnit zařízení o nabíjení z fotovoltaického panelu.

Měření hmotnosti se provádí pomocí single point senzoru YZC-1B umístěného pod včelím úlem. Převod dat zajišťuje AD převodník HX711. Měření venkovní teploty, vlhkosti a atmosférického tlaku zajišťuje senzor BME280. Měření vnitřní teploty a vlhkosti senzor SHT40. Dále zařízení obsahuje další senzor teploty DS18B20. Tento senzor je díky svému zapouzdření odolný vůči vlivům v úle (zalepení od medu, obstavení voskem, ...). Díky poměrně malým rozměrům může být umístěn takřka kdekoliv v úle. Slouží tedy jako přídatný senzor teploty, který včelař může umístit kamkoliv, kde chce znát teplotu (např. poblíž chomáče). Kromě parametrů včelího úlu je rovněž výhodné měření stavu baterie a varování při přílišném vybití.

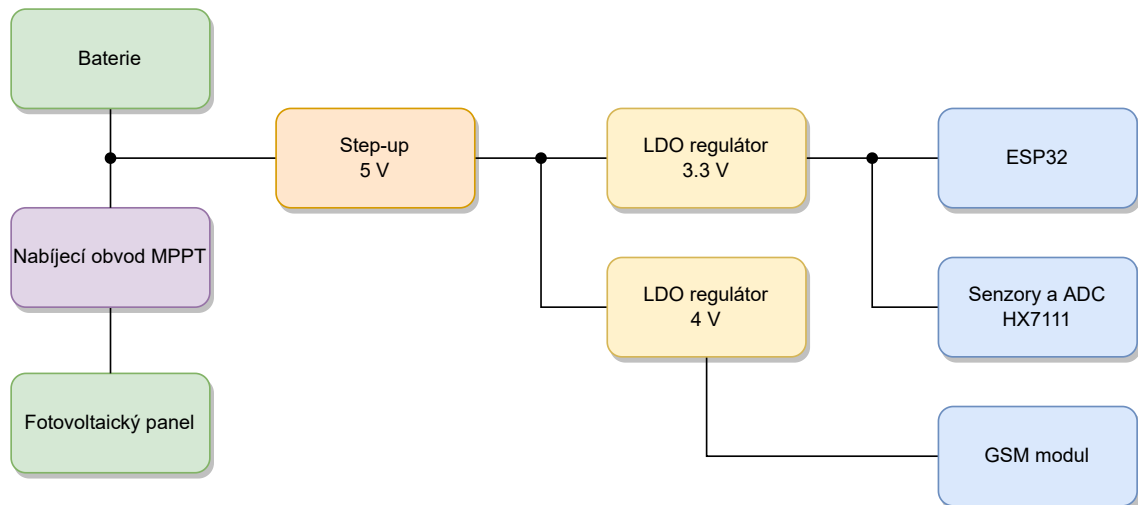
Odesílání dat a notifikace bude zajišťovat GSM a GPRS modul SIM800L. Data odeslaná na internet budou následně uložena a zpracována pomocí ThingSpeaku. Zařízení rovněž umožňuje upozornit včelaře pomocí SMS zpráv. K odeslání varovné SMS zprávy dochází při naměření nízké hodnoty hmotnosti, výrazném poklesu vnitřní teploty nebo při poklesu napětí na baterii. Celé zařízení bude řízeno mikrokontrolerem ESP32-WROOM.

Celkové zařízení se skládá ze 7 částí. Zařízení obsahuje celkem 3 desky plošného spoje. Jedná se o napájecí desku, řídicí desku a nabíjecí desku. Řídicí deska obsahuje mikrokontrolér, senzory a GSM modul. Napájecí deska byla původně zamýšlena jak pro napájení řídicí desky, tak pro napájení senzoru hmotnosti. Napájení senzoru hmotnosti bylo nakonec vyřešeno jiným způsobem. Napájecí deska se tedy využívá pouze k napájení řídicí desky. Nabíjecí deska slouží k dobíjení akumulátoru z fotovoltaického panelu. Tato deska je samostatně, protože se jedná o již hotový zakoupený modul. Mechanické části tvoří rám pod úl pro uchycení senzoru hmotnosti a krabička, ve které je uzavřena elektronika. Poslední částí je již zmíněný fotovoltaický panel.

6.1 Napájení

Jelikož jsou v zařízení použité prvky pracující na různých napěťových úrovních, bylo potřeba vytvořit vhodnou napájecí kaskádu. Požadovaná výstupní napětí jsou 3,3 V pro mikrokontrolér a většinu senzorů a 4 V pro GSM modul. Blokový diagram napájení zařízení je vidět na obrázku 6.1. Zařízení by mělo být napájeno z akumulátoru

dobíjeného přes solární panel. O změnu napětí pro různé komponenty se stará jeden spínaný zdroj a dva LDO regulátory.



Obr. 6.1: Blokový diagram napájení

Všechny spínané zdroje a LDO regulátory byly vybírány tak, aby kromě vyhovujících parametrů (jako např. rozsah vstupního a výstupního napětí, dodávaný proud a pracovní teplota) měly rovněž co nejvyšší účinnost, co nejnižší cenu a pokud možno jednodušší obvodové zapojení. Hlavním parametrem pro výběr součástek byla ovšem dostupnost. Většina vyhovujících součástek měla příliš dlouhé dodací lhůty, proto bylo občas potřeba použít méně vhodné součástky (vyšší cena, větší spotřeba, ...).

V dřívějším návrhu byla v napájecí kaskádě ještě obsažena větev s výstupním napětím 10 V pro napájení senzoru hmotnosti. Tato větev se nakonec ukázala jako nadbytečná a nepotřebná. Z důvodu snížení spotřeby byla později odpájena z napájecí desky.

6.1.1 Akumulátor

Z důvodu možnosti provozu zařízení v odlehlých místech bez elektrické sítě je nutné zařízení napájet z akumulátoru. Kvůli velké spotřebě GSM modulu je nutné, aby vybraný akumulátor byl schopen dodávat proud alespoň 3 A. Výhodná je velká kapacita, rozsah pracovních teplot pro celoroční provoz venku, nízká cena a dlouhá životnost. Pro dlouhodobější provoz je nutné, aby byl akumulátor dobíjecí.

Kvůli umístění akumulátoru poblíž včelstva není vhodné použití olovených baterií kvůli jejich toxicitě. Stejně tak jsou nevhodné akumulátory s obsahem kadmia.

Vhodným typem jsou lithiové akumulátory. Jsou to Li-Pol (Lithium-Polymer), Li-Ion (Lithium-Ion), případně Li-Fe (Lithium-Ferrum) akumulátory. Li-Pol a Li-Ion mají oproti Li-Fe vyšší měrnou kapacitu a delší životnost. Jsou ovšem citlivější na zacházení, především na nabíjení a na mechanické poškození. Hrozí u nich riziko požáru nebo exploze.

Při použití Li-Pol nebo Li-Ion akumulátorů je potřeba opatrné zacházení, obzvláště proti překročení jmenovitého napětí, vybití a proti přílišnému proudovému odběru. Při používání těchto baterií je vhodné použít ochranné obvody, které je chrání před poškozením. Zvoleným akumulátorem je Li-Ion baterie NCR18650B [28] s kapacitou 3350 mA h a jmenovitým napětím 3,6 V, který je vidět na obrázku 6.2.



Obr. 6.2: Baterie NCR18650B[29]

6.1.2 Fotovoltaický panel

Pro dlouhodobý provoz zařízení je vhodné doplnit akumulátor nabíjením z fotovoltaického panelu. Mezi hlavní parametry fotovoltaických panelů patří maximální výkon, výstupní proud při maximálním výkonu a výstupní napětí při maximálním výkonu. Dalšími důležitými parametry je průměrná doba slunečního svitu. Na území České republiky se průměrný počet slunných hodin pohybuje v rozmezí 1400 h až 1700 h v závislosti na lokalitě. Na 1 m² dopadne přibližně 950 W h až 1340 W h [30]. Základní typy fotovoltaických panelů jsou monokrystalické, polykrystalické a amorfní.

Monokrystalické fotovoltaické panely dosahují nejvyšší účinnosti při ideálním dopadovém úhlu paprsků. Nevýhodou ovšem je jednak vyšší cena a horší vlastnosti při ostřejším dopadovém úhlu osvětlení.

Polykrystalické fotovoltaické panely nedosahují tak velké účinnosti jako mono-krystalické, ale jsou levnější a díky jejich komplikovanější struktuře jsou schopny fungovat lépe i při ostřejších dopadových úhlech.

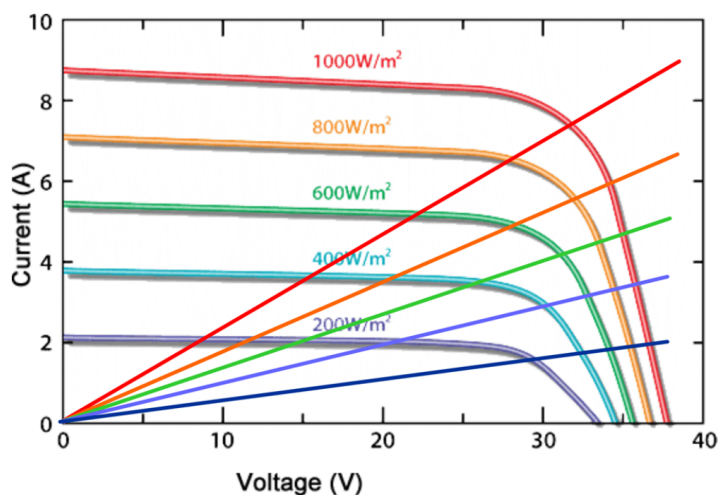
Amorfní fotovoltaické panely dosahují nejnižší účinnosti. Jejich výhodou je ovšem nízká hmotnost a vyšší citlivost na rozptýlené sluneční záření. Jsou tedy schopné dodávat vyšší výkon, při nižší intenzitě osvětlení.

Použitým fotovoltaickým panelem je polykrystalický panel MWG-10 [31]. Tento fotovoltaický panel mi byl zapůjčen mým vedoucím pro účely této práce. Maximální výkon tohoto panelu je 10 W s napětím naprázdno 21,67 V, napětím při maximálním výkonu pod zátěží 17,79 V a proudem 0,58 A. Hmotnost panelu je 1,5 kg s rozměry 330 mm na 290 mm na 25 mm. Cena tohoto fotovoltaického panelu je 354 Kč.

6.1.3 MPPT

Z důvodu nelinearity dodávaného výkonu solárním panelem a kvůli neustálé změně osvětlení solárního panelu vlivem pohybu slunce a mraků po obloze, je vhodné přidat tak zvaný MPPT (Maximum Power Point Tracking) obvod. MPPT optimalizuje poměr výstupního napětí a proudu, aby z panelu dostal co největší výkon.

Na obrázku 6.3 je vidět příklad sledování napětí a proudu pro dodání maximálního výkonu MPPT obvodem. V grafu jsou zobrazeny křivky konstantního výkonu dopadajícího na m^2 . Pro každou křivku konstantního výkonu je pak vynesena přímka určující hodnotu elektrického napětí a proudu pro maximální dodávaný výkon.



Obr. 6.3: Závislosti elektrického proudu a napětí dodávaného solárním panelem s MPPT obvodem [32]

Zvoleným MPPT obvodem je CN3791 [33]. Jedná se o solární nabíječku pro jednu Li-Ion baterii, která se dá koupit již jako hotový nabíjecí modul. Modul je možné vidět na obrázku 6.4. Samotný nabíjecí čip CN3791 [34] má rozsah vstupních napětí 4,5 V až 28 V. Vstupní sledované napětí tohoto modulu je nastaveno na 12 V, výstupní napětí 4,2 V a výstupní proud až 3 A. Sledované napětí obvodu se dá upravit změnou rezistoru v odporovém děliči. U zakoupeného modulu jsou hodnoty rezistorů R_3 178 k Ω a R_4 20 k Ω . Pro změnu cíleného napětí na hodnotu maximálního napětí pod zátěží 18 V zvoleného fotovoltaického panelu MWG10 [31] by bylo potřeba například zvýšit hodnotu rezistoru R_3 na 270 k Ω vypočítanou z rovnice 6.1. Sledovaná hodnota napětí bude tedy 17,47 V vypočítaná z rovnice 6.2, což je dostatečně blízko požadované hodnotě. Ke změně hodnoty rezistoru ovšem nakonec nedošlo. Obvod fungoval dobře a dobíjení bylo rychlé i s původními hodnotami odporů.

Hodnota odporu pro změnu sledovaného napětí MPPT obvodu se vypočítá z rovnice:

$$R_3 = R_4 \left(\frac{U_{in}}{U_{MPPT}} - 1 \right) = 20\,000 \left(\frac{18}{1,205} - 1 \right) = 279\,000\ \Omega \quad (6.1)$$

Vypočítaná hodnota odporu vychází přibližně 279 k Ω . Nejbližší hodnota odporu ve standardní řadě je 270 k Ω . Hodnotu sledovaného napětí s nově vypočítanou hodnotou odporu lze určit z rovnice:

$$U_{in} = U_{MPPT} \left(1 + \frac{R_3}{R_4} \right) = 1,205 \left(1 + \frac{270\,000}{20\,000} \right) = 17,47\,V \quad (6.2)$$

Rovnice a hodnota napětí U_{MPPT} byly převzaty z datasheetu nabíjecího čipu CN3791 [34]. Součástí modulu je i ochrana proti přepětí. Modul neobsahuje nadproudovou a zkratovou ochranu. Kvůli nadproudové ochraně byla k modulu přidána tavná pojistka RFS-2.5A [35].



Obr. 6.4: Solární nabíječka CN3791 1S[33]

6.1.4 Napájení řídicí elektroniky a senzorů

Vybraný mikrokontrolér ESP32 [36] a senzory vyžadují napájení 3,3 V. GSM modul SIM800L [22] má rozsah napájecího napětí 3,4 V až 4,4 V. AD převodník HX711 [8] má rozsah napájecího napětí 2,6 V až 5,5 V, ale měl by být napájený stejným napětím jako mikrokontrolér. Špičkový proud GSM modulu dosahuje až 2 A.

Napájení je řešeno spínaným zdrojem typu boost, který zvedne napětí baterie na 5 V. Toto napětí je následně sníženo a vyhlazeno LDO regulátorem na 3,3 V pro mikrokontrolér, senzory a AD převodník a na 4 V pro GSM modul.

Jako spínaný zdroj jsem vybral TPS61236P [37]. Daný spínaný zdroj jsem zvolil kvůli jeho vyhovujícím elektrickým vlastnostem, poměrně dobré účinnosti, malým rozměrům, jednoduchému obvodovému zapojení a hlavně dostupnosti. Při návrhu spínaného zdroje TPS61236P jsem vycházel jak z kalkulátoru [38] od výrobce, tak z ručních výpočtů.

První LDO regulátor jsem zvolil na fixní napětí 3,3 V AMS1117 [39]. Hlavním důvodem volby tohoto LDO regulátoru bylo kromě vyhovujících elektrických vlastností cena a dostupnost. Jako druhý LDO regulátor jsem zvolil MIC29302 [40] doporučený v datasheetu pro napájení GSM modulu SIM800L [22].

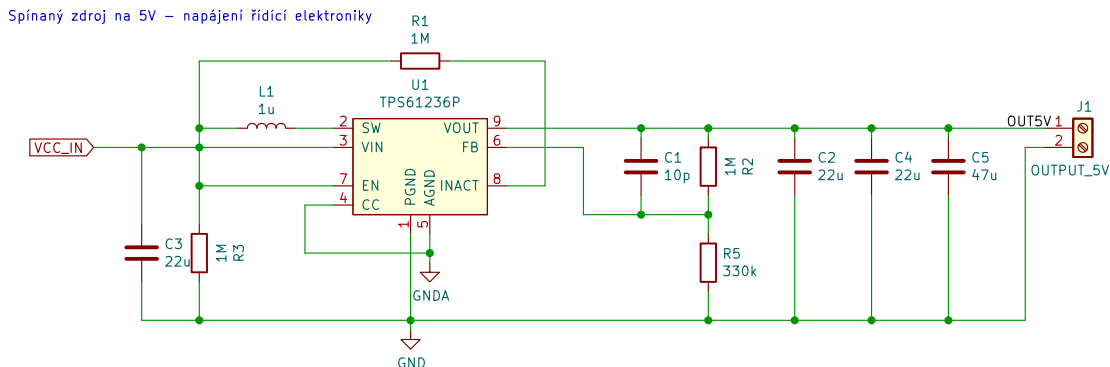
Spínaný zdroj TPS61236P

Tento spínaný zdroj slouží k napájení řídicí elektroniky. Není tedy možné ho vypnout při přechodu do režimu spánku. Schéma zapojení tohoto spínaného zdroje je vidět na obrázku 6.5.

V datasheetu [37] uváděná minimální hodnota vstupního kondenzátoru je 4,7 μF , doporučená hodnota je 22 μF . Vstupní kondenzátor jsem zvolil keramický X5R o hodnotě 22 μF . Výstupní kondenzátor by měl mít alespoň 20 μF . V datasheetu [37] je uváděný příklad při zapojení třech 22 μF kondenzátorů paralelně. Proto jsem se rozhodl na výstupu paralelně spojit tři keramické X5R kondenzátory, dva o hodnotě 22 μF a jeden o hodnotě 47 μF . Nastavení výstupního napětí se provádí pomocí odporového děliče [37]:

$$R_2 = R_1 \left(\frac{V_{FB}}{V_{OUT} - V_{FB}} \right) = 1000 \left(\frac{1.244}{5 - 1.244} \right) \doteq 330 \text{ k}\Omega. \quad (6.3)$$

Hodnotu odporu R_1 jsem zvolil 1 M Ω a hodnotu referenčního napětí V_{REF} jsem vyčetl z datasheetu jako 1,244 V (ve schématu zapojení jsou tyto odpory označeny jako R_2 a R_5). Hodnotu cívky jsem volil 1 μH , jak bylo doporučováno v datasheetu [37].

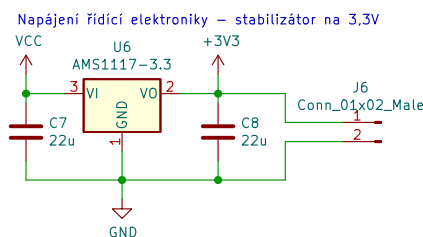


Obr. 6.5: Schéma zapojení TPS61236P

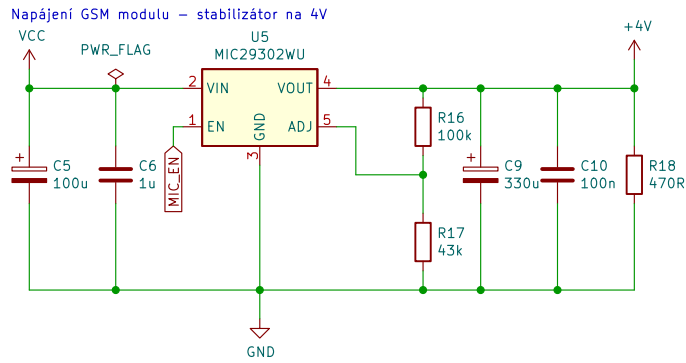
LDO regulátory AMS1117 a MIC29302

LDO regulátor AMS1117 slouží k napájení řídicí elektroniky. Není tedy možné ho vypnout při přechodu do režimu spánku. LDO regulátor MIC29302 ovšem slouží k napájení GSM modulu a je tedy možné ho vypnout při přechodu do režimu spánku. Spotřeba při vypnutí by dle datasheetu [40] měla být $30\ \mu\text{A}$.

Pro tyto LDO regulátory jsem použil typické zapojení z datasheetu [39], [40]. Zapojení LDO regulátoru AMS1117 je vidět na obrázku 6.6 a zapojení LDO regulátoru MIC29302 je vidět na obrázku 6.7 převzatého z datasheetu GSM modulu SIM800L [22]. Výstupní i vstupní kondenzátor pro LDO regulátor AMS1117 jsem zvolil keramický X5R. Hodnoty obou těchto kondenzátorů jsou $22\ \mu\text{F}$.



Obr. 6.6: Schéma zapojení LDO regulátoru AMS1117



Obr. 6.7: Schéma zapojení LDO regulátoru MIC29302

Během testování vytvořených DPS došlo k několika problémům s napájením. Prvním problémem bylo špatné připojování do sítě modulu SIM800L. Tento problém nastával kvůli velkému proudovému odběru při připojování do sítě. Problém byl vyřešen přidáním dodatečného kondenzátoru mezi napájecí vstupy modulu. Zvoleným kondenzátorem je elektrolytický kondenzátor s kapacitou $1000\ \mu\text{F}$, který není uvedený ve schématech. K přidání zmíněného kondenzátoru došlo ještě před návrhem DPS, při prvotním testování na nepáživém poli. Druhým problémem byl brownout error, který nastával u mikrokontroléru ESP32 při probuzení z režimu spánku. Tento error byl způsoben poklesem napájecího napětí při probouzení mikrokontroléru. Problém byl vyřešen obdobně jako předchozí. Rovněž přidáním kondenzátoru s kapacitou $1000\ \mu\text{F}$ mezi napájecí vstupy. I tento druhý kondenzátor není uveden ve schématech. Desky plošného spoje byly vyrobeny a částečně osazeny v JLCPCB [41]

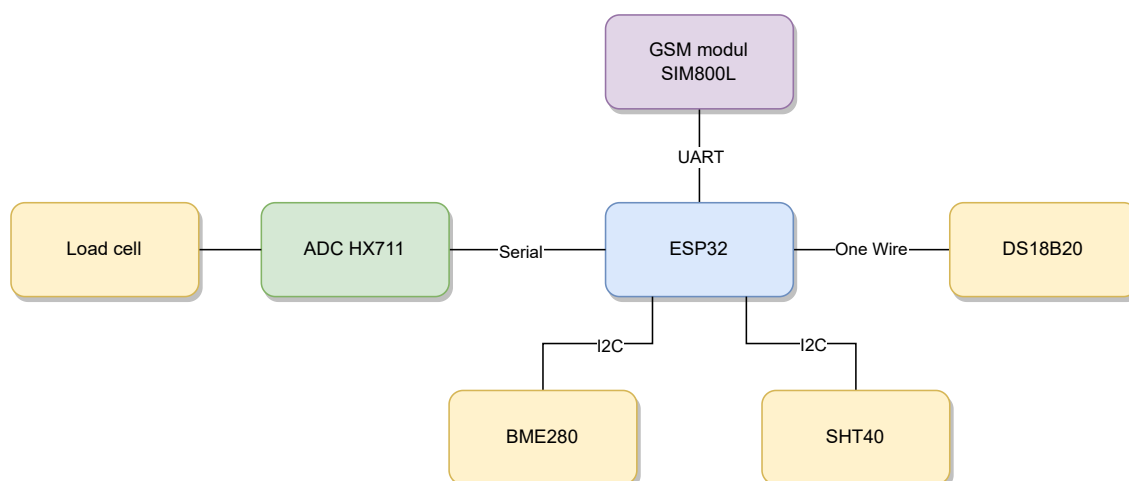
7 Softwarová část práce

Pro programování mikrokontroléru využívám programovací prostředí Visual Studio Code s rozšířením PlatformIO [42]. Toto rozšíření umožňuje programování vícero platform (Arduino, ESP, ...), má již zabudovaný debugger, sériový monitor a spoustu dalších výhod.

Zařízení je naprogramované v programovacím jazyku Wiring. Pro toto řešení jsem se rozhodl kvůli jednoduchosti programování, velkého množství návodů na internetu a mé osobní zkušenosti s tímto jazykem.

7.1 Komunikace se senzory a GSM modulem

Blokové schéma komunikace je možné vidět na obrázku 7.1. Komunikace mezi ESP32 a senzory SHT40 a BME280 probíhá přes sběrnici I²C. Komunikace mezi GSM modulem a ESP probíhá přes sběrnici UART.



Obr. 7.1: Blokový diagram komunikace

One Wire komunikace u teplotního senzoru DS18B20 probíhá přes sběrnici s pouze jedním vodičem. Komunikace může probíhat s jedním slave zařízením (single-drop) anebo s více slave zařízeními (multipledrop). U všech dat a příkazů je nejdříve přenášen LSB (Least Significant Bit). V nečinném stavu je na sběrnici vysoká úroveň, kterou zajišťuje pull-up rezistor. Komunikace začíná inicializační sekvencí, která začíná resetovacím pulzem od master zařízení následovaná přítomnostním pulzem od slave zařízení. Po přítomnostním pulzu následují ROM příkazy. Každé slave zařízení má unikátní 64-bitový kód a umožňuje master zařízení vybrat specifické slave zařízení.

Komunikace s AD převodníkem HX711 probíhá sériově přes piny SCK a DOUT. Pokud nejsou data připravena k přenosu, je na pinu DOUT vysoká úroveň a na pinu SCK by měla být nízká úroveň. Pokud napěťová úroveň na pinu DOUT klesne na nízkou, znamená to, že data jsou připraveny k přenosu. Po 25 až 27 pulzech s vysokou úrovní na pinu SCK zajistí přenos výstupních dat z pinu DOUT. Každý pulz na SCK pinu zajistí přesun jednoho výstupního bitu. První výstupní bit je MSB, celkový počet výstupních bitů je 24. Dvacátý pátý bit na pinu SCK zajistí, že na pinu DOUT se opět nastaví nízká úroveň. Počet pulzů po přenosu výstupních dat (pulz 25 až 27) určují zisk.

7.2 Vlastní program

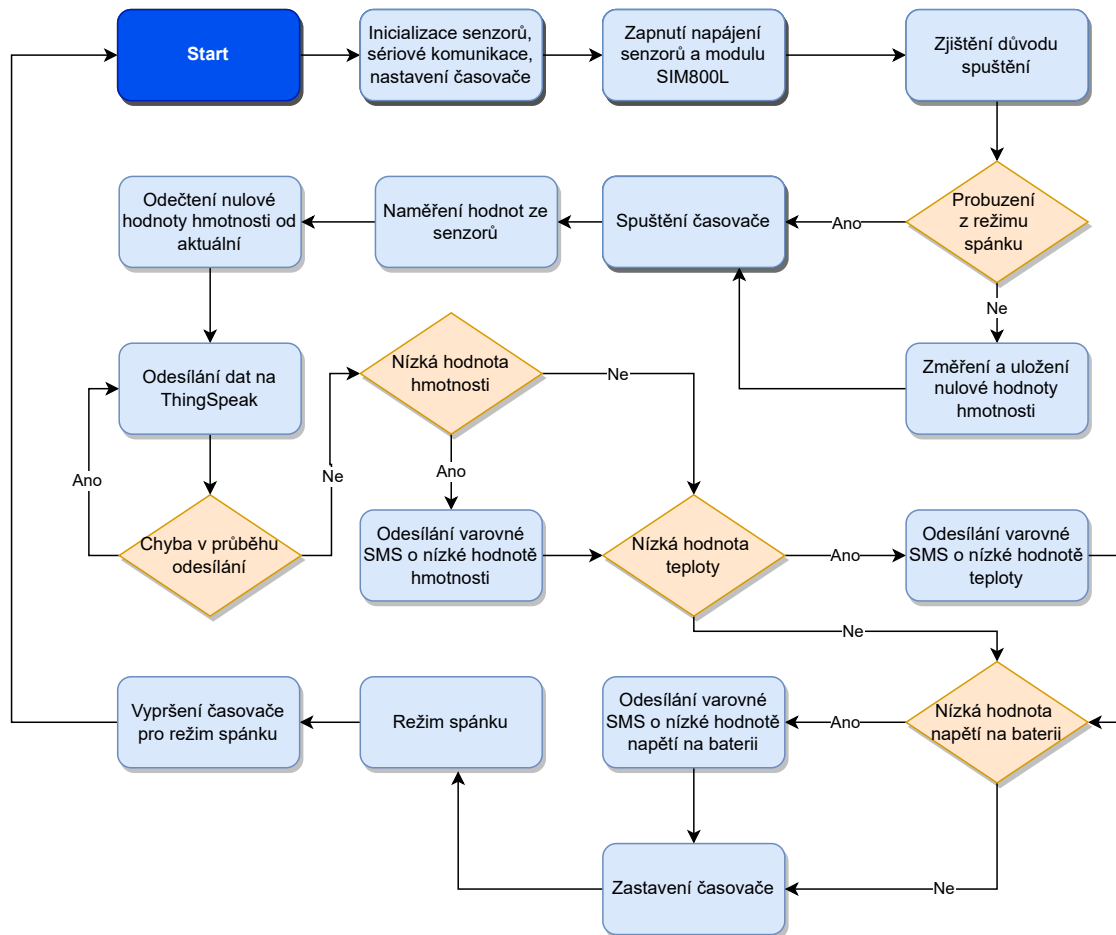
Při spuštění mikrokontroléru se definují piny a konstanty, inicializují se senzory, zahájí se sériová komunikace a zapne se napájení modulu SIM800L a senzorů. Poté se zjistí důvod spuštění mikrokontroléru. Pokud nedošlo ke spuštění v důsledku vypršení časovače a probuzení z režimu spánku, dojde ke kalibraci hmotnostního senzoru. Naměří se nulová hodnota hmotnosti a ta je uložena do RTC paměti, jejíž obsah není smazán v režimu spánku. V opačném případě ke kalibraci nedochází.

Následně dojde ke spuštění časovače pro měření délky trvání programu a naměření hodnot - vnitřní teplota ze senzoru DS18B20, vnitřní teplota a vlhkost ze senzoru SHT40, vnější teplota, vlhkost a atmosférický tlak ze senzoru BME280, napětí na baterii a hmotnost. Poté je senzorům a AD převodníku HX711 vypnuto napájení. Poté jsou naměřená data odeslána přes modul SIM800L pomocí AT příkazů na ThingSpeak. Po každém AT příkazu je volána funkce pro kontrolu navracených odpovědí. Funkce opakovaně kontroluje, zda byla vrácena očekávaná odpověď. Pokud po nějaké době nepříjde očekávaná odpověď nebo přijde chybová odpověď, dojde k restartu modulu SIM800L a zahájí se nový pokus na odeslání dat.

Po odeslání dat dojde ke kontrole hodnot hmotnosti, vnitřní teploty (ze senzoru DS18B20) a napětí na baterii. Při zjištění nízké hodnoty některého z těchto parametrů dojde k odeslání varovné SMS zprávy, která informuje uživatele, který z těchto parametrů dosahuje nízkých hodnot. K odeslání varovné SMS zprávy dochází pouze jednou, aby nedocházelo k přílišnému plýtvání kreditu.

Po kontrole vybraných hodnot dojde k odpojení napájení modulu SIM800L a zastavení časovače. Následně přejde zařízení do režimu spánku. Zařízení setrvává v režimu spánku nastavenou dobu zkrácenou o dobu trvání programu získanou z časovače. Tím je dostatečně zajištěna kompenzace časového posuvu měření způsobeného vlastním trváním samotného programu. Po uběhnutí doby spánku se zařízení probudí a proces se opakuje. Uvažovaná doba spánku zařízení je 6 h, což odpovídá čtyřem měřením za den. Vývojový diagram kódu je možné vidět na obrázku 7.2.

Doba, kterou zařízení stráví mimo režim spánku, závisí převážně na rychlosti připojení modulu SIM800L od sítě a na rychlosti odesílání dat, která se mění hlavně dle síly signálu. Průměrná doba odesílání dat se pohybuje okolo 20 s (měřeno v Brně). Dá se tedy předpokládat, že zařízení bude vzhůru přibližně 30 s při každém probuzení. To činí 120 s denně při uvažování doby spánku 6 h.



Obr. 7.2: Vývojový diagram kódu

7.3 Použité knihovny

- Arduino.h
- Wire.h
- Q2HX711.h
- DallasTemperature.h
- SHTSensor
- Adafruit_Sensor.h
- Adafruit_BME280.h

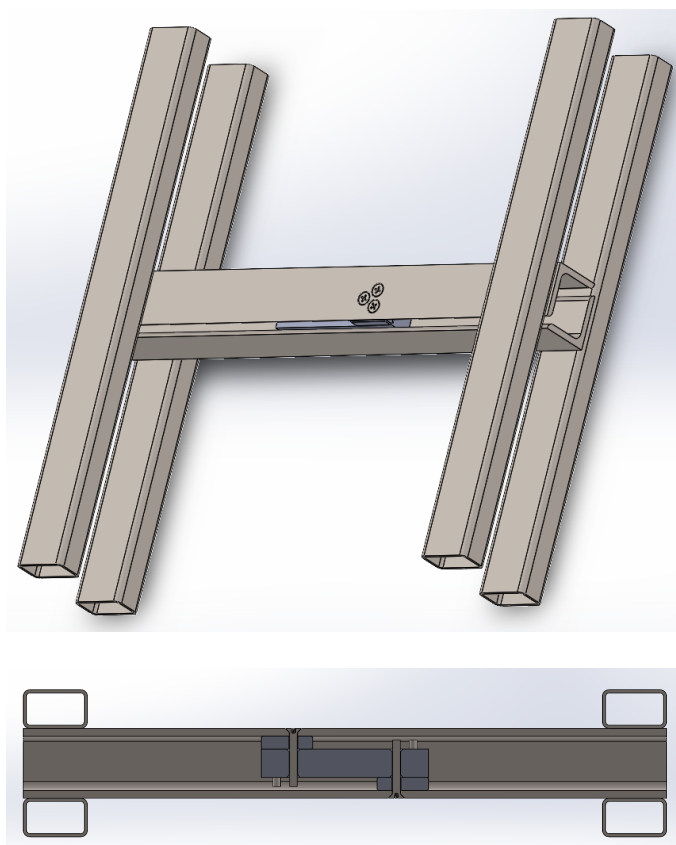
V programu je použito celkem 7 knihoven. První dvě knihovny jsou základní knihovny pro Arduino. Jedná se o Arduino.h, která je nutná při používání Arduino Frameworku a Wire.h, jenž slouží ke komunikaci přes I²C nebo TWI (Two-Wire Interface).

Další knihovny slouží pro komunikaci se senzory a AD převodníkem HX711. Pro komunikaci s HX711 je použita knihovna Q2HX711.h [43]. Pro komunikaci s teplotním senzorem DS18B20 je použita knihovna DallasTemperature.h [44]. Pro komunikace s teplotním a vlhkostním senzorem SHT40 je použita knihovna SHT-Sensor.h [45]. Poslední dvě knihovny slouží pro komunikaci s teplotním, vlhkostním a tlakovým senzorem BME280. Jedná se o knihovny Adafruit_Sensor.h [46] a Adafruit_BME280 [47].

8 Návrh mechanické části

Při měření hmotnosti je důležité správně zatížit hmotnostní senzor. Zvolený senzor je typu single point. Je tedy nutné ho umístit pod měřený objekt. Jelikož měřený objekt nelze umístit přímo na senzor hmotnosti, byl navrhnout a vyroben rám pro jeho uchycení. Tento rám se umístí pod úl a přeneseme hmotnost úlu na senzor. Návrh rámu je vidět na obrázku 8.1 v programu Solidworks.

Rám se skládá ze dvou kusů, mezi nimiž je šrouby uchycen senzor hmotnosti. Mezi rámem a senzorem hmotnosti je navíc umístěná vložka, která umožní průhyb senzoru, a tím měření hmotnosti. Výrobní náklady rámu byly necelých 600 Kč. Rám je ovšem předimenzovaný a vyrobený ze silnějších profilů než by bylo nutné. Je tedy možné docílit nižších nákladů na výrobu rámu.



Obr. 8.1: Návrh rámu v programu Solidworks

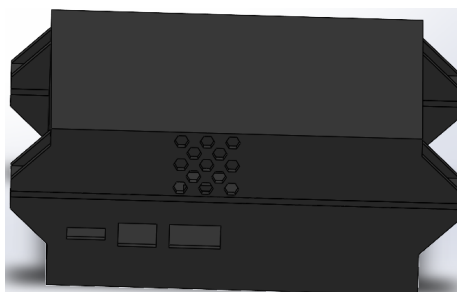
Při výraznějším foukání větru docházelo k mírnému rozhoupání včelího úlu. V případě silných větrů by mohlo hrozit tak výrazné rozhoupání, že by včelí úl mohl spadnout. Pro zamezení rizika pádu byly vytvořeny zarážky, které výrazně omezí houpání úlu. Umožňují ovšem dostatečný pokles rámu, aby bylo nadále možné měřit hmotnost. Ukázka zhotovené zarážky je vidět na obrázku 8.2.



Obr. 8.2: Zarážka rámu

Veškerá elektronika je uzavřena v krabičce umístěné pod úlem. Krabička je rovněž navrhnutá v programu Solidworks a vytištěná na 3D tiskárně. Krabička se skládá ze tří částí - horní, spodní a prostřední. Jednotlivé díly jsou spolu spojeny šrouby. Model složené krabičky na obrázku 8.3.

Krabička je uvnitř rozdělena na dvě komory. Ve spodní komoře je umístěná řídicí deska a akumulátor. V horní komoře je umístěná napájecí deska, nabíjecí obvod a senzor BME280. Senzor BME280 je v samostatné otevřené části s přístupem k venkovnímu vzduchu oddělené od zbytku elektroniky, aby se venková vlhkost co nejméně dostala ke zbytku elektroniky. Jednotlivé desky jsou ke krabičce přišroubovány. Krabička bude umístěná pod úlem, bude tedy značně chráněná vůči dešti. Z toho důvodu nemusí být vodotěsná.



(a) Celá



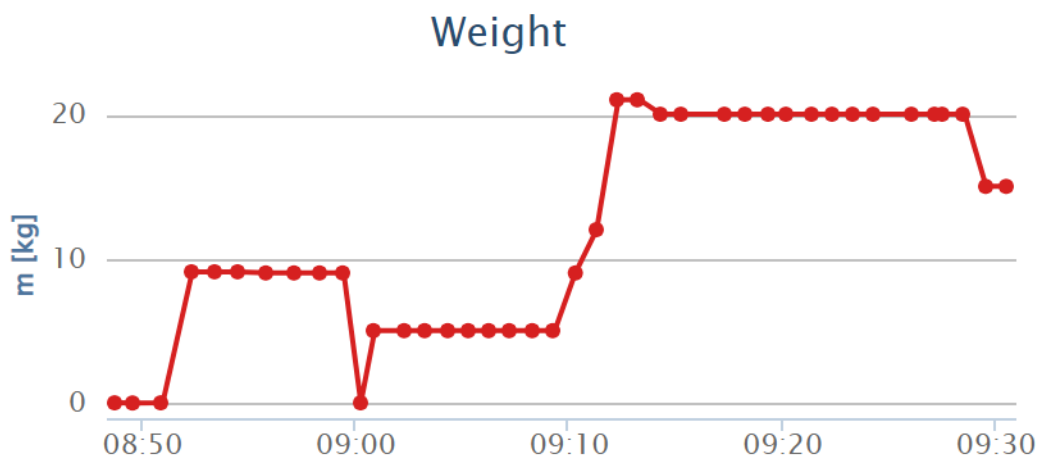
(b) V řezu

Obr. 8.3: Model složené krabičky

9 Testování zhotoveného zařízení

Testování zhotoveného zařízení zprvu probíhalo ve vnitřních podmínkách. Kontrolována byla schopnost zařízení odesílat data na ThingSpeak a posílání varovných SMS zpráv. Otestování odesílání SMS zpráv probíhalo pro všechny druhy varování i pro různé kombinace, které mohou nastat současně. Kontrolována byla hmotnost, teplota ze senzoru DS18B20 a napětí na baterii. Pokud měřená hmotnost klesla pod 1 kg, došlo k odeslání varovné SMS zprávy s varováním o nízké hodnotě hmotnosti. Obdobně se kontrolovala i teplota a napětí na baterii. Pokud došlo k poklesu teploty pod 15 °C nebo napětí pod 3,3 V, byla odeslána příslušná varovná SMS zpráva.

Kontrolovaly se rovněž naměřená data ze senzorů. Největší důraz byl kladen na měření hmotnosti. Hmotností sensor uchycený v rámu byl zatěžován známými hmotnostmi a naměřená data byla porovnáována s reálnými. Testovací průběh hmotnosti odeslané na ThingSpeak je možné vidět na obrázku 9.1.

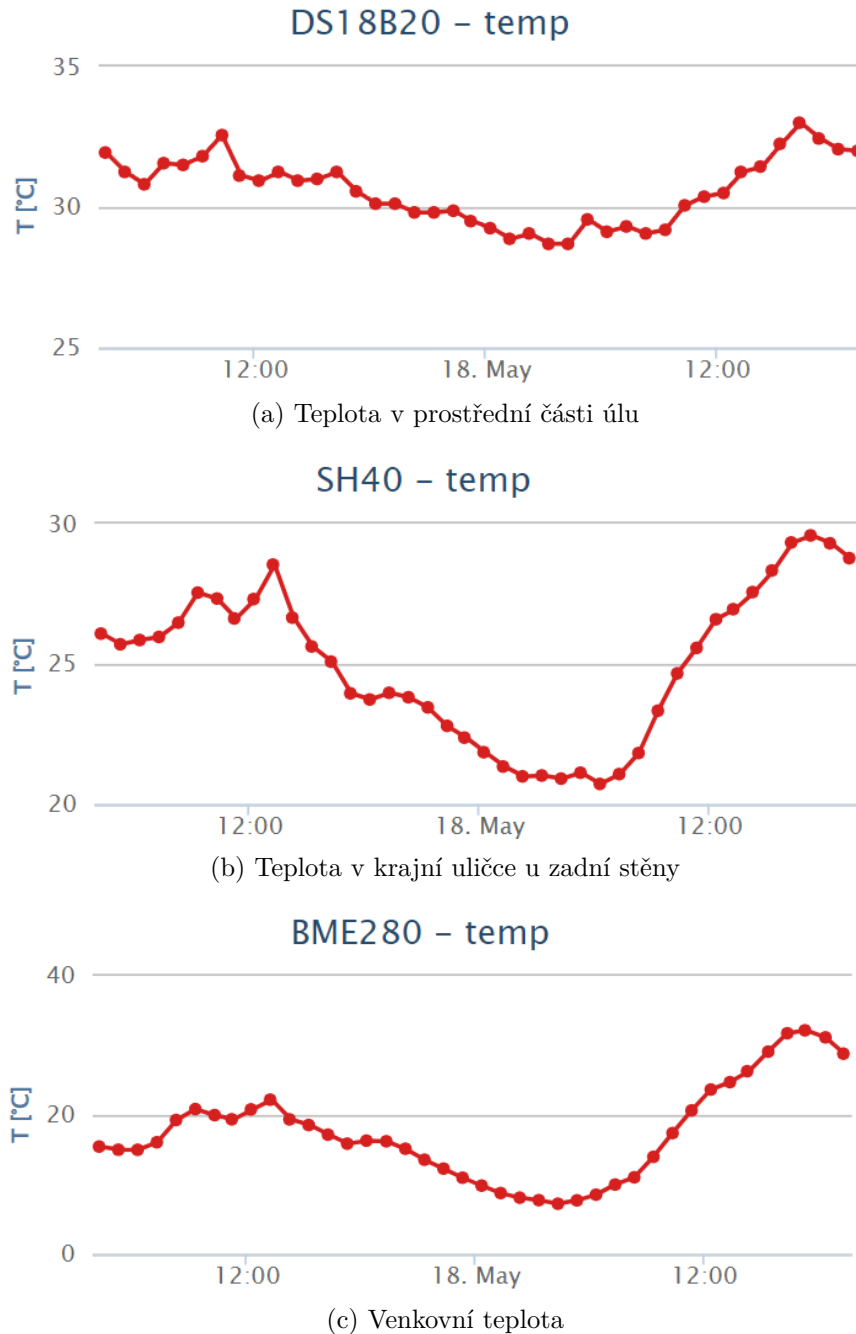


Obr. 9.1: Průběh testovacího měření hmotnosti ve vnitřních podmínkách

Po ověření funkcionality zařízení bylo celé zařízení umístěno pod včelí úl. Následné testování pak probíhalo ve venkovních podmínkách. Pro účely testování byly data měřeny každou hodinu.

Na obrázku 9.2 jsou vidět průběhy naměřených teplot během dvou dnů. Teploty jsou měřeny na třech různých místech třemi různými senzory. Senzor DS18B20 je umístěn ve středu úlu mezi rámkou. V tomto místě dochází k nejvýraznějším tepelným regulacím včelstvem. Senzor SHT40 je umístěn v krajní uličce u zadní stěny úlu. Na tomto místě by měla být nejvyšší vlhkost v úlu. Hodnota teploty v tomto místě by měla být výrazněji ovlivňována venkovní teplotou. Poslední senzor BME280 měří venkovní teplotu.

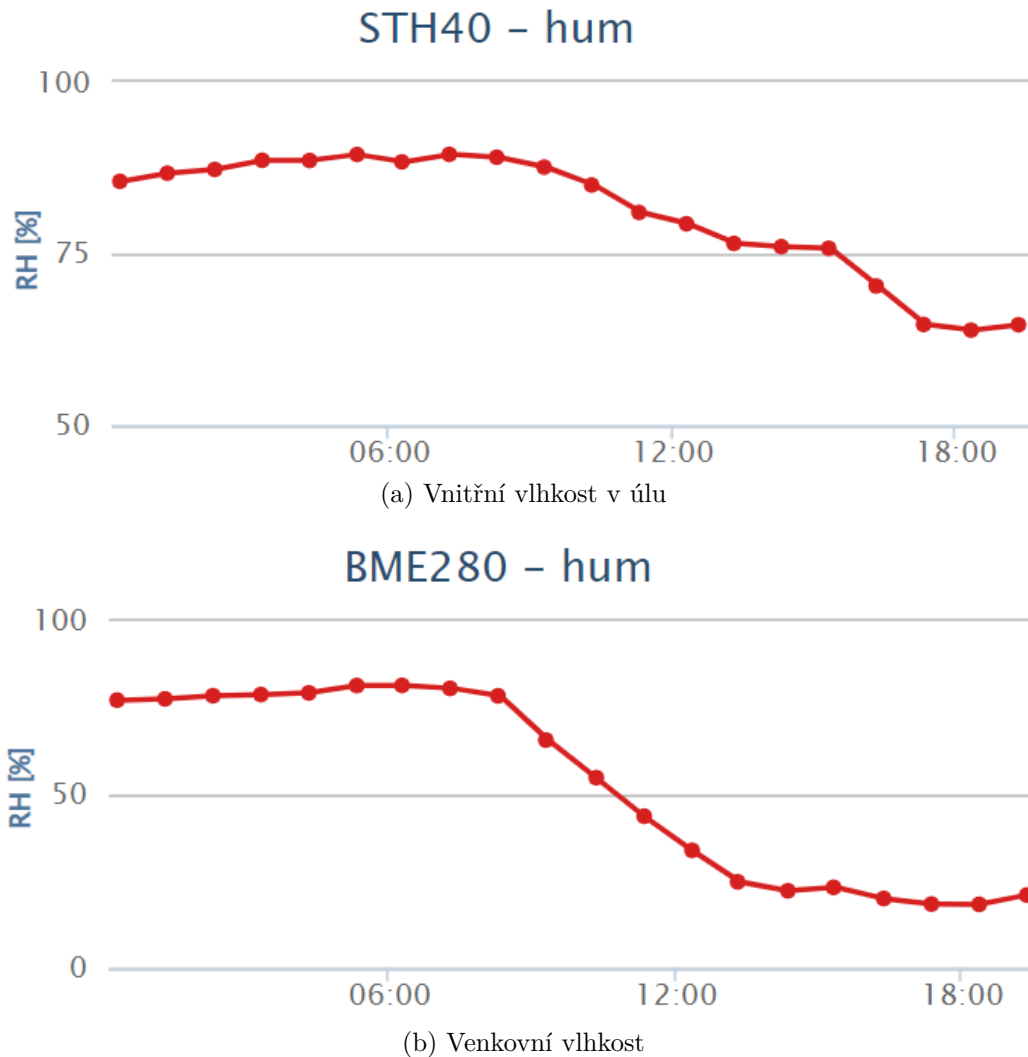
Naměřená data teplot odpovídají očekávaným. Na průběhu prvního grafu 9.2a je vidět, že včelstvo udržuje uvnitř úlu teplotu okolo 30 °C. V noci dochází k mírnému poklesu teplot, po poledni je pak vidět mírný nárůst. U zadní stěny úlu je rozdíl mezi maximální a minimální vnitřní teplotou podstatně výraznější. Tvar křivky teploty v této části úlu 9.2b je výrazně podobný křivce venkovní teploty 9.2c.



Obr. 9.2: Naměřené průběhy teploty při venkovním testování

Zajímavé je rovněž porovnání vnitřního a venkovního průběhu vlhkosti vzduchu. K měření vnitřní a venkovní vlhkosti vzduchu slouží již zmíněné senzory SHT40

a BME280. Při měření první den pršelo, druhý den pak bylo slunečno. Tomu i odpovídá průběh venkovní vlhkosti vzduchu 9.3b, kde je patrný rozdíl vlhkostí mezi oběma dny. Uvnitř úlu je rovněž nárůst vlhkosti během deště a pokles během slunečného dne, není ovšem tak výrazný jako venku 9.3a. Dle očekávání si včelstvo reguluje vnitřní vlhkost, a ta se pohybuje okolo 70 %.



Obr. 9.3: Naměřené průběhy vlhkosti vzduchu při venkovním testování

Zhotovené zařízení je tedy plně funkční. Umožňuje měření všech požadovaných parametrů a bezdrátové odesílání dat. Drobnou nevýhodou je občasné nedoručení odeslané zprávy na ThingSpeak. Nejedná se ovšem o kritická data, kde by občasná absence dat způsobila nějaké problémy. Nejnovější naměřená data jsou k dispozici na veřejném kanále ThingSpeaku: <<https://thingspeak.com/channels/1642398>>.

Měření vlastností zařízení

První měřenou vlastností zařízení byla síla GSM signálu. Měření probíhalo opakovaně na dvou místech, a to v Brně a v okolí Blanska. Měření probíhalo tak, že se modulu SIM800L zaslal AT příkaz AT+CSQ, který navrácí hodnotu v rozsahu 2 až 30, podle které se dá určit síla signálu. Čím je vrácená hodnota vyšší, tím je síla signálu větší. Navracené hodnoty se pohybovaly v rozsahu 13 až 26, čemuž odpovídá hodnota RSSI (Received Signal Strength Indication) -87 dBm až -61 dBm [48].

U zařízení byla rovněž pomocí multimetru změřena orientační proudová spotřeba. Spotřeba zařízení v režimu spánku se pohybuje okolo 20 mA. Takto vysoká spotřeba je převážně způsobena spínaným zdrojem TPS61236P, který musí být zapnut neustále, protože napájí mikrokontrolér ESP32. Při nízkém proudovém odběru výrazně klesá účinnost spínaných zdrojů, čímž výrazně roste celková spotřeba zařízení při režimu spánku. Snížení spotřeby by se dalo docílit například hardwarovou úpravou napájecí kaskády.

Orientační proudová spotřeba v aktivním režimu se pohybovala okolo 560 mA. Takto velká spotřeba je způsobena převážně odběrem modulu SIM800L, který dosahoval špičkové spotřeby při připojování do sítě přibližně 1,2 A. Proudová spotřeba senzorů byla naměřena poněkud nižší, než jaká je uváděná v datasheetu. Spotřeba senzoru SHT40 se pohybovala okolo 310 μ A, senzoru DS18B20 okolo 560 μ A a senzoru BME280 okolo 650 μ A. Naměřené výsledky jsou pouze orientační. Přesnějších výsledků měření by se dalo docílit použitím například osciloskopu s proudovou sondou.

Průměrnou spotřebu můžeme určit ze vztahu:

$$I_{AVG} = \frac{I_{SLEEP}t_{SLEEP} + I_{TX}t_{TX}}{t} = \frac{20 \cdot 21\,580 + 560 \cdot 20}{21\,600} = 20,5 \text{ mA.} \quad (9.1)$$

kde I_{SLEEP} a I_{TX} je proudová spotřeba v režimu spánku a při odesílání zprávy, t_{SLEEP} a t_{TX} je doba strávená v režimu spánku a doba potřebná pro odeslání zprávy a t je celková uvažovaná doba cyklu, která je v tomto případě 6 h. Hodnoty proudu jsou dosazovány v miliampérech, hodnoty času jsou dosazovány v sekundách. Výdrž zařízení je pak možné spočítat ze vztahu:

$$D = \frac{C}{I_{AVG} \cdot 24} = \frac{3000}{20,5 \cdot 24} = 6. \quad (9.2)$$

kde D je počet dnů provozu bez dobíjení baterie a C je kapacita baterie. Zvolená baterie má kapacitu 3350 mA h, viz. kapitola 6.1.1. Pro výpočet je uvažovaná nižší hodnota 3000 mA h, protože nemůže dojít k úplnému vybití baterie. Zařízení je tedy bez dobíjení schopno fungovat přibližně šest dní. Fotovoltaický panel je schopný dodávat dostatečný výkon i při slabším osvětlení. K úplnému nabití baterie při dobrém osvětlení dojde přibližně za hodinu provozu. S dobíjením z fotovoltaického panelu je tedy zařízení schopno fungovat celý rok.

Závěr

V práci byla prostudovaná problematika monitorování včelích úlů a měření hmotnosti a teploty s vysokou přesností. Dále byly prostudované různé senzory a měření pro různé veličiny, možnosti připojení zařízení přes IoT, spínané zdroje a spjité stabilizátory, solární panely a akumulátory. Byly vybrány vhodné senzory pro měření požadovaných veličin s ohledem na přesnost a měřený rozsah, spotřebu, dostupnost a cenu, mikrokontrolér pro řízení a vhodný způsob připojení k internetu pro odesílání naměřených dat.

Při návrhu zařízení bylo potřeba vyřešit napájení různých částí vyžadujících různé napěťové úrovně. Pro tento účel byla navrhnutá kaskáda spínaných a spjitých stabilizátorů zajišťujících potřebné napěťové úrovně. Byly navrhnuty, vyrobeny a oživeny desky plošného spoje pro napájení a řízení úlových vah. Byl vytvořen rám pod úl pro měření hmotnosti a krabička pro veškerou elektroniku. Zhotovené zařízení bylo naprogramováno pro měření požadovaných parametrů a následného odesílání naměřených dat a jejich vizualizace. Zařízení umožňuje rovněž odesílání varovných SMS zpráv.

Vytvořené zařízení je plně funkční a splňuje stanovené cíle. Umožňuje měření hmotnosti s přesností 0,02 %, vnitřní teplotu s přesností 0,5 °C a 0,2 °C, vnitřní vlhkost s přesností 2 %, vnější teplotu s přesností 1,25 °C, vnější vlhkost s přesností 3 % a atmosférický tlak s přesností 0,12 hPa. Nákupní cena za pořízený materiál je přibližně 3700 Kč, což je výrazně méně, než pořizovací cena většiny komerčně dostupných zařízení umožňujících měření stejných parametrů. Nevýhodou zařízení je poměrně vysoká spotřeba, která je ovšem kompenzována dostatečným výkonem fotovoltaického panelu.

Při dalším pokračování v práci je v plánu zaměřit se na snižování spotřeby zařízení. Dalšími záměry bude odesílání naměřených dat přes NB-IoT síť a měření napětí na výstupu fotovoltaického panelu, pro monitorování nabíjení baterie. Rovněž pořizovací náklady by bylo možné snížit použitím levnějších součástek, slabších profilů rámu, případně nákupem komponentů z jiných obchodů.

Literatura

- [1] *Bee Hive Monitoring* [online]. 2021 [cit. 2021-11-25]. Dostupné z URL: <<https://www.beehive-monitoring.com/cs/>>.
- [2] *Apis Digital* [online]. 2021 [cit. 2021-11-25]. Dostupné z URL: <<https://www.apisdigital.cz/>>
- [3] *Operchip* [online]. 2021 [cit. 2021-11-25]. Dostupné z URL: <<https://beehive.operchip.com/cs/>>
- [4] *Operchip: VILKO-02* [online]. 2021 [cit. 2021-11-25]. Dostupné z URL: <<https://beehive.operchip.com/cs/shop/product/vilko-02-kovova-u-lova-vaha-gsm-1880>>
- [5] ĎADO, Stanislav.; KREIDL, Marcel. *Senzory a měřicí obvody*. Praha: Vydavatelství ČVUT, 1996. ISBN 80-010-1500-9.
- [6] ARDU. *Vejecelle Type YZC-1b: Single-Point Aluminum Load Cell* [online]. [cit. 2021-12-04]. Dostupné z URL: <<https://www.ardu.dk/wp-content/uploads/2015/03/Vejecelle-YZC-1B.pdf>>. Datasheet.
- [7] LASKAKIT. *GUANG CE YZC-1B Vážicí senzor 200kg* [online]. [cit. 2021-12-04]. Dostupné z URL: <<https://www.laskarduino.cz/guang-ce-yzc-1b-vazici-senzor-200kg/>>. Internetový obchod.
- [8] AVIA SEMICONDUCTORS. *HX711: 24-Bit Analog-to-Digital Converter (ADC) for Weigh Scales* [online]. 2018 [cit. 2021-11-25]. Dostupné z URL: <https://cdn.sparkfun.com/datasheets/Sensors/ForceFlex/hx711_english.pdf>. Datasheet.
- [9] TEXAS INSTRUMENTS. *TMP117 High-Accuracy, Low-Power, Digital Temperature Sensor With SMBus™- and I2C-Compatible Interface* [online]. Dallas, Texas 75265: Texas Instruments Incorporated, 2018, 2021 [cit. 2021-11-25]. Dostupné z URL: <<https://www.ti.com/lit/ds/symlink/tmp117.pdf>>. Datasheet.
- [10] SENSIRION. *Datasheet SHT85: Humidity and Temperature Sensor* [online]. 2019, 2020 [cit. 2021-11-25]. Dostupné z URL: <<https://www.farnell.com/datasheets/3203982.pdf>>. Datasheet.

- [11] SENSIRION. *Datasheet SHT4x: 4 th Generation Digital Humidity and Temperature Sensor* [online]. 2020 [cit. 2021-11-25]. Dostupné z URL: https://www.mouser.com/datasheet/2/682/Datasheet_SHT4x-1917879.pdf> Datasheet.
- [12] SENSIRION. *Datasheet SHT3x-DIS: Humidity and Temperature Sensor* [online]. 2016 [cit. 2021-11-25]. Dostupné z URL: https://www.laskarduino.cz/user/related_files/sht3x.pdf>. Datasheet.
- [13] BOSCH. *BME280: Combined humidity and pressure sensor* [online]. 2015 [cit. 2021-11-25]. Dostupné z URL: https://www.laskarduino.cz/user/related_files/bst-bme280.pdf>. Datasheet.
- [14] *DS18B20: Programmable Resolution 1-Wire Digital Thermometer* [online]. 2019 [cit. 2021-11-25]. Dostupné z URL: <https://datasheets.maximintegrated.com/en/ds/DS18B20.pdf>>. Datasheet.
- [15] LASKAKIT. *LaskaKit SHT40 Senzor teploty a vlhkosti vzduchu* [online]. [cit. 2021-11-25]. Dostupné z URL: <https://www.laskarduino.cz/laskakit-sht40-senzor-teploty-a-vlhkosti-vzduchu>>. Internetový obchod.
- [16] LASKAKIT. *DS18B20 Digitální vodotěsné čidlo teploty 1m* [online]. [cit. 2021-11-25]. Dostupné z URL: <https://www.laskarduino.cz/dallas-digitalni-vodotesne-cidlo-teploty-ds18b20-1m/>>. Internetový obchod.
- [17] LASKAKIT. *Senzor tlaku, teploty a vlhkosti BME280* [online]. [cit. 2021-11-25]. Dostupné z URL: <https://www.laskarduino.cz/arduino-senzor-tlaku--teploty-a-vlhkosti-bme280>>. Internetový obchod.
- [18] RASCASONE. *INTERNET VĚCÍ (IOT): DEFINICE, PŘÍKLADY VYUŽITÍ, PRODUKTY* [online]. 2021, 17.11.2021 [cit. 2022-05-16]. Dostupné z URL: <https://www.rascasone.com/cs/blog/iot-internet-veci-definice-produkty-historie>>.
- [19] SIGFOX. *Covarage* [online]. 2021 [cit. 2021-11-25]. Dostupné z URL: <https://www.sigfox.com/en/coverage>>.

- [20] MERA VÁ, Tereza. ČTÚ. *TISKOVÁ ZPRÁVA: ČTÚ obnovil O2 přiděl spektra 2100 MHz. Zajistí tím provoz sítě i pro starší telefony* [online]. Praha, 2021 [cit. 2022-05-21]. Dostupné z URL: <https://www.ctu.cz/ctu-obnovil-o2-pridel-spektra-2100-mhz-zajisti-tim-provoz-site-i-pro-starsi-telefony>.
- [21] LASKAKIT. *Espressif ESP32-WROOM-32 2.4GHz WiFi+Bluetooth Modul* [online]. [cit. 2021-12-17]. Dostupné z URL: <https://www.laskarduino.cz/espressif-esp32-wroom-32-2-4ghz-wifi-bluetooth-modul/>. Internetový obchod.
- [22] SIMCOM. *SIM800H/SIM800L_Hardware Design_V2.02* [online]. 2015 [cit. 2021-12-03]. Dostupné z URL: <https://www.gme.cz/data/attachments/dsh.775-083.1.pdf>. Data-sheet.
- [23] *GPRS GSM Module SIM800L microSIM, Quad-band, TTL* [online]. [cit. 2021-11-25]. Dostupné z URL: <https://www.laskarduino.cz/miniaturni-sim800l-gprs-gsm-module-microsim--quad-band--ttl/>. Internetový obchod.
- [24] THINGSPEAK. *ThingSpeak* [online]. 2021 [cit. 2021-11-25]. Dostupné z URL: <https://thingspeak.com/>.
- [25] UBIDOTS. *Ubidots* [online]. 2022 [cit. 2022-05-16]. Dostupné z URL: <https://ubidots.com/>.
- [26] DATAGEKKO. *Datagekko* [online]. 2018 [cit. 2022-05-16]. Dostupné z URL: <https://www.datagekko.com/>.
- [27] ASKSENSORS. *AskSensors* [online]. 2020 [cit. 2022-05-16]. Dostupné z URL: <https://asksensors.com/>.
- [28] PANASONIC. *NCR18650B: Lithium Ion* [online]. VERSION 13.11. 2012 [cit. 2022-04-16]. Dostupné z URL: <https://www.laskakit.cz/3350mah-panasonic-ncr18650b-18650-li-ion-baterie/>. Datasheet.
- [29] LASKAKIT. *Panasonic NCR18650B 3350mAh 18650 Li-Ion Baterie* [online]. [cit. 2022-04-16]. Dostupné z URL: <https://www.laskakit.cz/3350mah-panasonic-ncr18650b-18650-li-ion-baterie/#relatedFiles>. Internetový obchod.

- [30] ISOFENERGY. *Fotovoltaika v podmínkách České republiky* [online]. [cit. 2022-05-21]. Dostupné z URL: <<http://www.isofenenergy.cz/slunecni-zareni-v-cr.aspx>>.
- [31] GREEN POWER. *Polycrystalline Solar Cell: MWG-10* [online]. [cit. 2022-04-16]. Dostupné z URL: <<https://www.tme.eu/Document/2255ec586369b848babd061e41f9c3e1/MWG10-EN2%281%29.pdf>>. Datasheet.
- [32] *Víte co je MPPT?* [online]. 2021 [cit. 2021-11-25]. Dostupné z URL: <<https://www.solar-kerberos.cz/cz/produkt/blog/211-vite-co-je-to-mppt>>.
- [33] LASKAKIT. *Solární nabíječka Li-ION baterie CN3791 1S* [online]. [cit. 2022-01-02]. Dostupné z URL: <<https://www.laskakit.cz/solarni-nabijecka-li-ion-clanku-cn3791-1s/>> Internetový obchod.
- [34] CONSONANCE. *4A, Standalone Li-ion Battery Charger IC With Photovoltaic Cell MPPT Function CN3791* [online]. [cit. 2022-05-19]. Dostupné z URL: <<http://j5d2v7d7.stackpathcdn.com/wp-content/uploads/2021/02/CN3791.pdf>>. Datasheet.
- [35] BEL POWER SOLUTION & PROTECTION. *Type MRF: Fast Acting Radial lead Micro Fuse Series* [online]. 2016 [cit. 2022-04-16]. Dostupné z URL: <<https://www.tme.eu/Document/30171eac767a695463c5f73a803f6926/MRF%20series-DTE.pdf>>. Datasheet.
- [36] ESPRESSIF SYSTEMS. *ESP32 Series: Datasheet* [online]. 2016, 2021 [cit. 2021-12-09]. Dostupné z URL: <https://www.espressif.com/sites/default/files/documentation/esp32_datasheet_en.pdf>. Datasheet.
- [37] TEXAS INSTRUMENTS. *TPS6123x 8-A Valley Current Synchronous Boost Converters with Constant Current Output Feature* [online]. 2015, 2016 [cit. 2021-11-25]. Dostupné z URL: <<https://www.ti.com/lit/ds/symlink/tps61236p.pdf>>. Datasheet.
- [38] TEXAS INSTRUMENTS. *WEBENCH Power Designer* [online]. [cit. 2021-12-04]. TEXAS INSTRUMENTS. *WEBENCH Power Designer* [online]. [cit. 2021-12-04]. Dostupné z URL: <<https://www.ti.com/design-resources/design-tools-simulation/webench-power-designer.html>>. Webová aplikace.

- [39] ADVANCED MONOLITHIC SYSTEMS. *AMS1117: 1A LOW DROPOUT VOLTAGE REGULATOR* [online]. [cit. 2021-11-25]. Dostupné z URL: <<http://www.advanced-monolithic.com/pdf/ds1117.pdf>>. Datasheet.
- [40] MICROCHIP. *MIC2915X/30X/50X/75X: High-Current Low Dropout Regulators* [online]. [cit. 2021-12-04]. Dostupné z URL: <<https://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/MIC2915x-30x-50x-75x-High-Current-Low-Dropout-Regulators-DS20005685B.pdf>>. Datasheet.
- [41] JLCPCB. *JLCPCB* [online]. [cit. 2022-05-24]. Dostupné z URL: <<https://jlcpcb.com/>>.
- [42] *PlatformIO* [online]. [cit. 2021-12-04]. Dostupné z URL: <<https://platformio.org/>>.
- [43] RUSSELL, Scott. *Q2-HX711-Arduino-Library* [online]. 2015 [cit. 2022-04-16]. Dostupné z URL: <<https://github.com/queuetue/Q2-HX711-Arduino-Library>>.
- [44] BURTON, Miles. *Arduino-Temperature-Control-Library* [online]. 2015, 2020 [cit. 2022-04-16]. Dostupné z URL: <<https://github.com/milesburton/Arduino-Temperature-Control-Library>>.
- [45] SENSIRION. *Arduino-sht* [online]. 2021 [cit. 2022-04-16]. Dostupné z URL: <<https://github.com/Sensirion/arduino-sht>>.
- [46] ADAFRUIT. *Adafruit_Sensor* [online]. 2015, 2022 [cit. 2022-04-16]. Dostupné z URL: <https://github.com/adafruit/Adafruit_Sensor>.
- [47] ADAFRUIT. *Adafruit_BME280_Library* [online]. 2020, 2021 [cit. 2022-04-16]. Dostupné z URL: <https://github.com/adafruit/Adafruit_BME280_Library>.
- [48] M2MSUPPORT.NET. *AT+CSQ* [online]. [cit. 2022-05-25]. Dostupné z URL: <<https://m2msupport.net/m2msupport/atcsq-signal-quality/>>.
- [49] BATTERY UNIVERSITY. *BU-409: Charging Lithium-ion* [online]. 2021 [cit. 2021-12-09]. Dostupné z URL: <<https://batteryuniversity.com/article/bu-409-charging-lithium-ion>>.

- [50] BATTERY UNIVERSITY. *What's the Best Battery?* [online]. 2017 [cit. 2021-12-09]. Dostupné z URL:
<<https://batteryuniversity.com/article/whats-the-best-battery>>.
- [51] BOHEMIA CIVIL ENGINEERING. *3 typy fotovoltaických panelů – jaké jsou jejich výhody?* [online]. 2019 [cit. 2021-12-09]. Dostupné z URL:
<<https://www.bce.cz/3-typy-fotovolatickych-panelu>>.
- [52] BRADÁČ, Zdenek, Petr FIEDLER a Milan KAČMÁŘ. *Bezdrátové komunikace v automatizační praxi IV: Datové přenosy v GSM – GPRS*. AUTOMA [online]. 2004, 2004(1) [cit. 2021-11-25]. Dostupné z URL:
<https://automa.cz/cz/casopis-clanky/bezdratove-komunikace-v-automatizacni-praxi-iv-datove-prenosy-v-gsm-gprs-2004_01_32147_2488/>.
- [53] *Co je to ProBee?* [online]. 2021 [cit. 2021-11-25]. Dostupné z URL:
<<https://www.probee.cz/>>.
- [54] ELUC. *Parametrické stabilizátory* [online]. [cit. 2022-01-02]. Dostupné z URL:
<<https://eluc.kr-olomoucky.cz/verejne/lekce/658>>.
- [55] ENVIWEB. *Sluneční energie* [online]. 2008 [cit. 2022-05-21]. Dostupné z URL:
<<https://www.enviweb.cz/67970>>.
- [56] FARDEN, Jacob. *Handbook of modern sensors: physics, designs, and applications*. 4th ed. New York: Springer, 2010. ISBN 978-1-4419-6465-6.
- [57] HANUS, Stanislav. VUT. *RÁDIOVÉ A MOBILNÍ KOMUNIKACE*. Druhé - dotisk. Purkyňova 118, 612 00 Brno: Vysoké učení technické v Brně Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií Ústav radioelektroniky, 2012.
- [58] HUSÁK, Miroslav. *Teplotní senzory* [online]. 2014 [cit. 2021-11-25]. Dostupné z URL:
<<https://docplayer.cz/11322477-5-teplotni-senzory-teplotni-senzory-jednotky-teplotni-senzory-rozdeleni-teplotni-senzory-jednotky-podle-fyzikalniho-principu.html>>.
- [59] INNOGY. *Typy solárních panelů – co bychom o nich měli vědět?* [online]. [cit. 2021-12-09]. Dostupné z URL:
<<https://fotovoltaika.innogy.cz/faq-typy-solarnich-panelu>>.
- [60] MARSH, Jacob. ENERGYSAGE. *Types of solar panels* [online]. 2021 [cit. 2021-12-09]. Dostupné z URL:
<<https://news.energysage.com/types-of-solar-panels>>.

- [61] MAŠEK, Pavel, Martin ŠTŮSEK, Jan POSPÍŠIL, Radek MOŽNÝ, Radek FUJDIK, Petr MLÝNEK a Jiří HOŠEK. VUT. *KOMUNIKAČNÍ SYSTÉM PRO IOT*. Vysoké učení technické v Brně: Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2022.
- [62] MCBRIDE, Ali. AURORA. *Comprehensive Guide to Solar Panel Types* [online]. 2021 [cit. 2021-12-09]. Dostupné z URL: <<https://www.aurorasolar.com/blog/solar-panel-types-guide>>.
- [63] *Moderní Včelař: Včely a pesticidy*. 13. České Budějovice: Pracovní společnost nástavkových včelařů CZ, 2016. ISSN 1214-5793.
- [64] *Moderní Včelař: Výročí voskových mezistěn*. 14. České Budějovice: Pracovní společnost nástavkových včelařů CZ, 2017. ISSN 1214-5793.
- [65] *Moderní Včelař: Plemenářský zákon*. 14. České Budějovice: Pracovní společnost nástavkových včelařů CZ, 2017. ISSN 1214-5793.
- [66] *Moderní Včelař: Voda v medu*. 14. České Budějovice: Pracovní společnost nástavkových včelařů CZ, 2017. ISSN 1214-5793.
- [67] *Moderní Včelař: Kvalita medu*. 14. České Budějovice: Pracovní společnost nástavkových včelařů CZ, 2017. ISSN 1214-5793.
- [68] *Moderní Včelař: Dopňování zimních zásob*. 14. České Budějovice: Pracovní společnost nástavkových včelařů CZ, 2017. ISSN 1214-5793.
- [69] *Moderní Včelař: Ozdravná opatření*. 14. České Budějovice: Pracovní společnost nástavkových včelařů CZ, 2017. ISSN 1214-5793.
- [70] *Moderní Včelař: Dovoz a vývoz včel a jejich produktů*. 14. České Budějovice: Pracovní společnost nástavkových včelařů CZ, 14. ISSN 1214-5793.
- [71] *Moderní Včelař: Cejchy, etikety*. 14. České Budějovice: Pracovní společnost nástavkových včelařů CZ, 2017. ISSN 1214-5793.
- [72] *Moderní Včelař: Vzácné včelí nemoci*. 14. České Budějovice: Pracovní společnost nástavkových včelařů CZ, 2017. ISSN 1214-5793.
- [73] NORTHROP, Robert B. *Introduction to Instrumentation and measurements*. 2nd ed. Miami: Taylor & Francis Group, 2005. ISBN 978-1-4200-5785-0.
- [74] PECH, Jiří. EMAN. *IoT technologie: LPWAN, IQRF, LoRa, Sigfox, NB-IoT a jiná podivná slova* [online]. 2019 [cit. 2021-11-25]. Dostupné z URL:

- <<https://www.eman.cz/blog/iot-technologie-lpwan-iqrf-lora-sigfox-nb-iot-a-jina-podivna-slova-1-5>>.
- [75] PFISTER, C. *Getting started with the Internet of things*. Sebastapool, Calif.: O'Reilly Media, 2011. Make: projects. ISBN 978-1449393571.
- [76] POLÍČEK, Bohuslav. *Faktory ovlivňující reprodukci včely medonosné (Apis mellifera)*. České Budějovice, 2016. Dostupné z URL: <<https://theses.cz/id/crx8s3/18620718>>. Bakalářská práce. Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích, Fakulta zemědělská. Vedoucí práce Miroslav Maršálek.
- [77] PRAVDA, Milan. *Mobilní a bezdrátové sítě* [online]. [cit. 2021-11-25]. Dostupné z URL: <<https://publi.cz/books/236/Cover.html>>.
- [78] SEMTECH. *LoRa* [online]. 2021 [cit. 2021-11-25]. Dostupné z URL: <<https://www.semtech.com/lora/what-is-lora>>.
- [79] SIGFOX. *Sigfox* [online]. 2021 [cit. 2021-11-25]. Dostupné z URL: <<https://sigfox.cz/cs>>.
- [80] TAUTZ, Jürgen. *Fenomenální včely: biologie včelstva jako superorganismu*. Vydání v češtině třetí. Přeložil Olga MATYÁSKOVÁ. Praha: Brázda, [2016]. ISBN isbn978-80-209-0415-7.
- [81] VESELÝ, Vladimír. *Včelařství*. Vyd. 3. Praha: Brázda, 2013. ISBN isbn978-80-209-0399-0.
- [82] *Včelařství: Úhyny včelstev*. 73 (155). Praha: Český svaz včelařů, 2020. ISSN 0042-2924.
- [83] *Včelařství: Oddělek - nejefektivnější cesta k novým včelstvům*. 73 (155). Praha: Český svaz včelařů, 2020. ISSN 0042-2924.
- [84] *Včelařství: Spolkový život se znovu rozbíhá*. 73 (155). Praha: Český svaz včelařů, 2020. ISSN 0042-2924.
- [85] *Včelařství: Scény ze včelařského života před pěti tisíci let*. 74 (156). Praha: Český svaz včelařů, 2021. ISSN 0042-2924.
- [86] *Včelařství: Zdravotní stav včelstev v ohrožení*. 74 (156). Praha: Český svaz včelařů, 2021. ISSN 0042-2924.

- [87] *Včelařství: Buckfastka na naše území nepatří.* 74 (156). Praha: Český svaz včelařů, 2021. ISSN 0042-2924.
- [88] *Včelařství: V květnu začíná chov matek.* 74 (156). Praha: Český svaz včelařů, 2021. ISSN 0042-2924.
- [89] VODAFONE. *NB-IoT* [online]. 2021 [cit. 2021-11-25]. Dostupné z URL: <https://www.vodafone.cz/firmy-a-korporace/internet-veci/nb-iot1>.

Seznam příloh

A	Použité komponenty	69
B	Monitoring včelího úlu	71
C	Schémata zapojení	72
D	Navrhnuté desky plošného spoje	75
	D.1 Napájecí deska	75
	D.2 Řídící deska	76
E	Mechanická část	78
	E.1 Krabíčka	78
	E.2 Rám	80

```

/ ..... Kořenový adresář přiloženého archivu
├── DPS ..... schémata a návrhy desek plošného
│   ├── control ..... řídicí deska
│   │   ├── control.pretty ..... vlastní schématické značky a footprinty
│   │   ├── jlc
│   │   │   ├── bom.csv
│   │   │   ├── gerbers.zip ..... gerber data
│   │   │   └── pos.csv
│   │   ├── control.kicad_pcb
│   │   ├── control.kicad_pro
│   │   ├── control.kicad_sch
│   │   └── control-cache.lib
│   ├── power_management ..... napájecí deska
│   │   ├── gerber
│   │   │   ├── bom.csv
│   │   │   ├── gerbers.zip ..... gerber data
│   │   │   └── pos.csv
│   │   ├── power_management.pretty ..... vlastní schématické značky a footprinty
│   │   ├── power_management.kicad_pcb
│   │   ├── power_management.kicad_pro
│   │   ├── power_management.sch
│   │   └── power_management-cache.lib
│   └── Schémata
│       ├── Napájecí deska.pdf
│       └── Řídicí deska.pdf
├── Mechanické prvky ..... výkresy a modely rámu a krabičky
│   ├── Box ..... modely krabičky
│   │   ├── modely
│   │   └── stl
│   ├── Rám ..... výkresy a modely rámu
│   │   ├── modely
│   │   └── výkresy
└── Software
    ├── src
    │   ├── main.cpp ..... program
    └── platformio.ini

```

A Použité komponenty

Tab. A.1: Periferie

Součástka	Typ	Počet kusů	Cena za kus [CZK]
Senzor	YZC-1B	1	558
Senzor	DS18B20	1	56
Senzor	SHT40	1	120
Senzor	BME280	1	320
ADC	HX711	1	28
GSM a modul	SIM800L	1	137
Li-Ion baterie	NCR18650B	1	288
Bateriový box	18650	1	24
Solární panel	MWG-10	1	354
MPPT nabíječka	CN3791 1S	1	178
Pojistka	RFS-2.5A	1	11
Rám	-	1	600
Krabička	-	1	80
Vodiče	-	-	50
Celkem	-	-	2754

Tab. A.2: Napájecí deska

Součástka	Typ	Počet kusů	Cena za kus [CZK]
Kondenzátor	10 pF - 0402	1	0,1
Kondenzátor	22 μ F - 0805	3	0,76
Kondenzátor	47 μ F - 1206	1	2,51
Konektor	DG128-5.0-02P14	2	5,85
Konektor	1x02 - pinhead	3	7
Cívka	1 μ H	1	17,87
Tranzistor	SSM3J328R	1	3,69
Rezistor	1 M Ω - 0603	3	0,029
Rezistor	330 k Ω - 0603	1	0,029
Spínaný zdroj	TPS61236P	1	154,36
Výroba desky	-	-	115,17
Celkem	-	-	329

Tab. A.3: Řídící deska

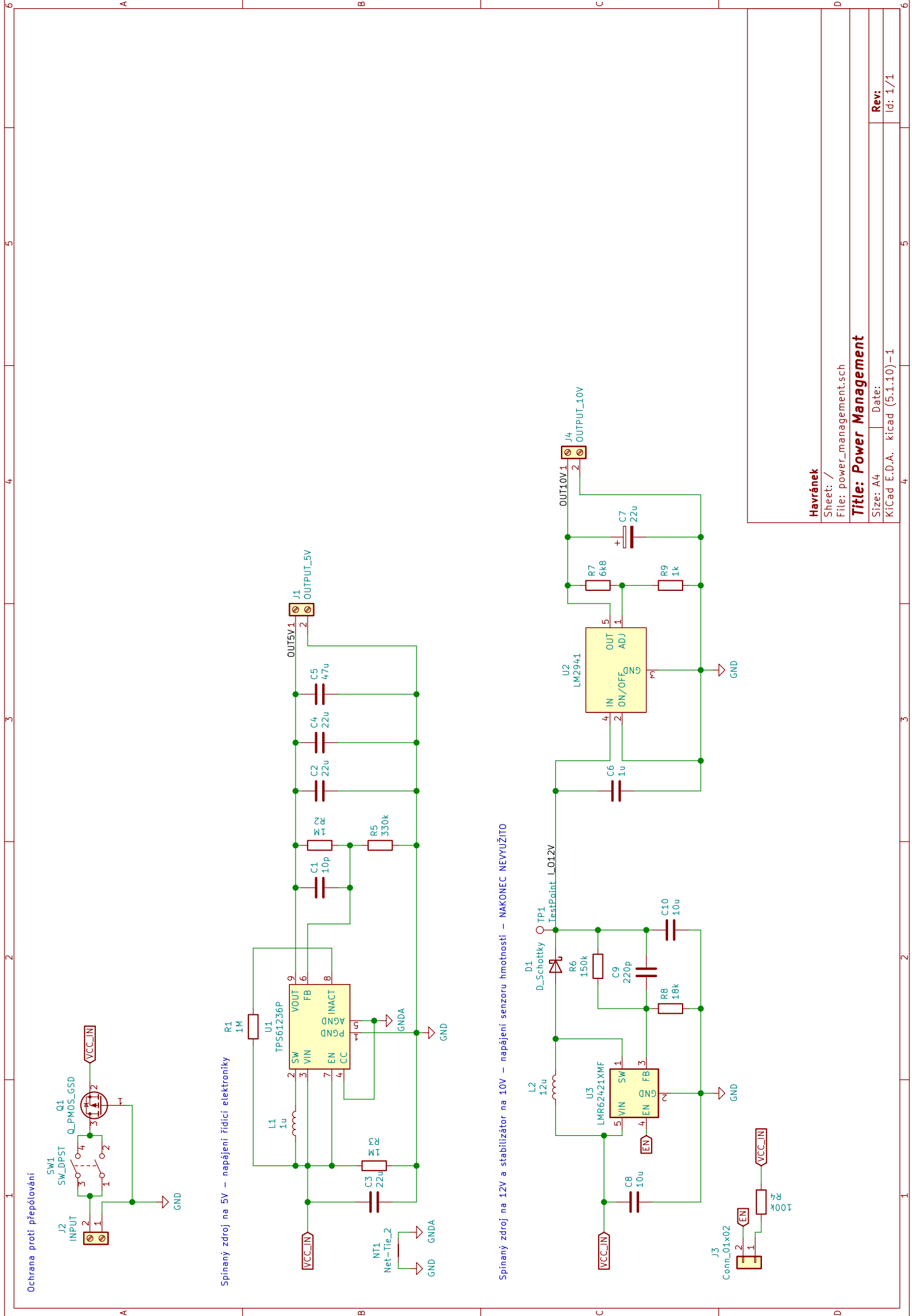
Součástka	Typ	Počet kusů	Cena za kus [CZK]
Kondenzátor	100 nF - 0805	2	1,06
Kondenzátor	100 μ F - THT	1	1,3
Kondenzátor	1 μ F - 0402	1	1,23
Kondenzátor	22 μ F - 0805	4	2
Kondenzátor	330 μ F - THT	1	2,11
Kondenzátor	100 nF - 0603	1	0,58
Kondenzátor	1000 μ F - THT	2	4
Konektor	JST XH - 1x4	1	2
Konektor	JST XH - 1x3	1	2
Konektor	DG128-5.0-02P14	1	5,85
Konektor	Dutinka - 1x26	1	7
Konektor	Pinhead - 1x40	1	7
Tranzistor	2N007	1	4,03
Tranzistor	LBSS84LT1G	1	5,24
Tranzistor	SS8050	2	1,74
Rezistor	4,7 k Ω 4k7 - 0402	1	0,23
Rezistor	82 Ω 82R - 0603	8	0,044
Rezistor	10 k Ω 10k - 0402	4	0,053
Rezistor	27 k Ω 27k - 0402	1	0,15
Rezistor	100 k Ω 100k - 0402	2	0,13
Rezistor	43 k Ω 43k - 0603	1	0,31
Rezistor	470 Ω 470R - 0402	1	0,18
Tlačítko	TACT	1	1,89
Mikrokontrolér	ESP32-WROOM-32	1	158
LDO	MIC29302WU	1	160,36
LDO	AMS1117-3.3	1	6,16
Výroba desky	-	-	207
Celkem	-	-	596
Kompletně	-	-	3679

B Monitoring včelího úlu



Obr. B.1: Monitoring včelího úlu

C Schémata zapojení



Havránek

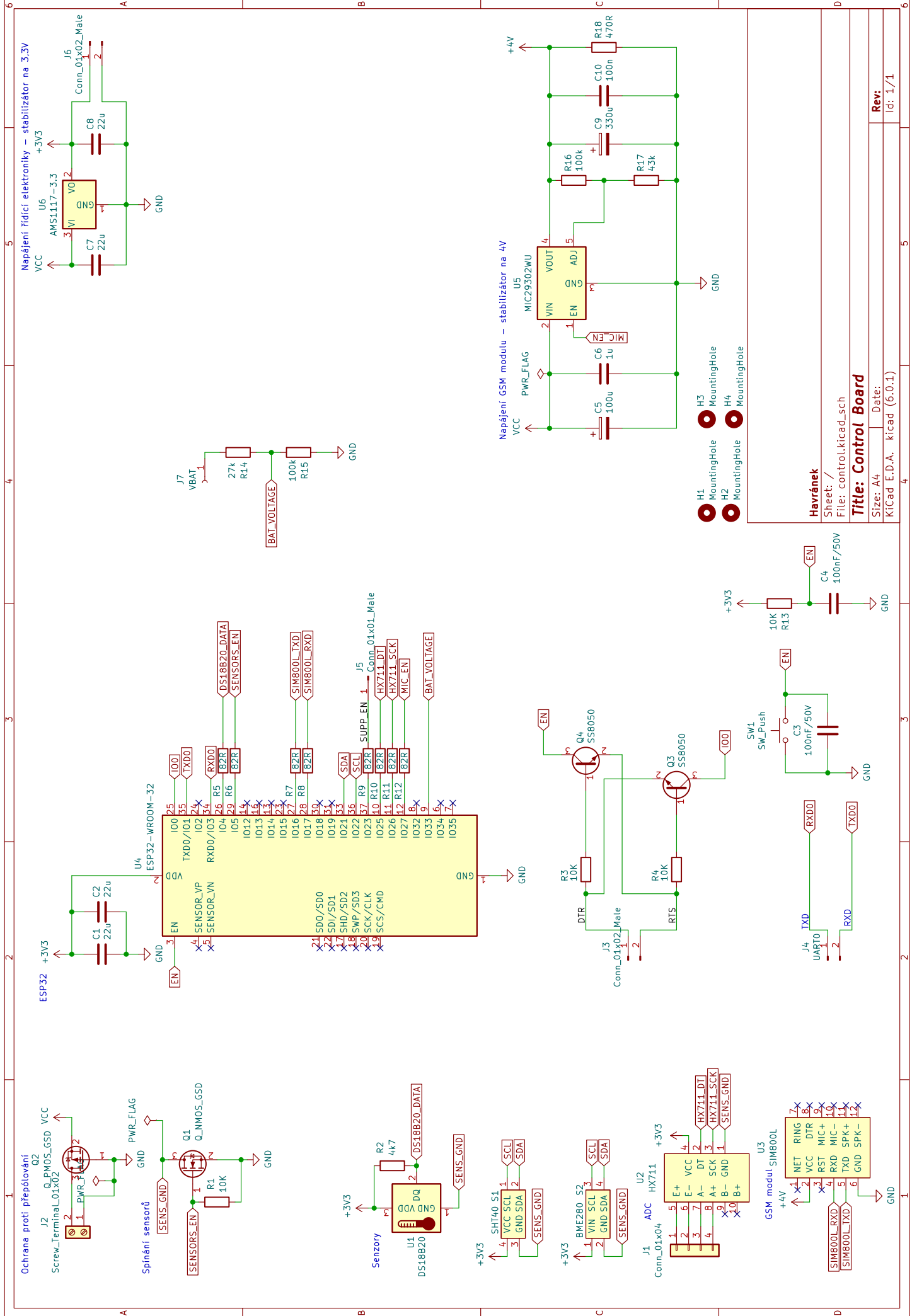
Sheet: /
File: power_management.sch

Title: Power Management

Size: A4 | Date:
KiCad E.D.A. kicad (5:1.10)-1

Rev: 1/1

Id: 1/1



- H1 MountingHole
- H2 MountingHole
- H3 MountingHole
- H4 MountingHole

Havránek

Sheet: /
File: control.kicad_sch

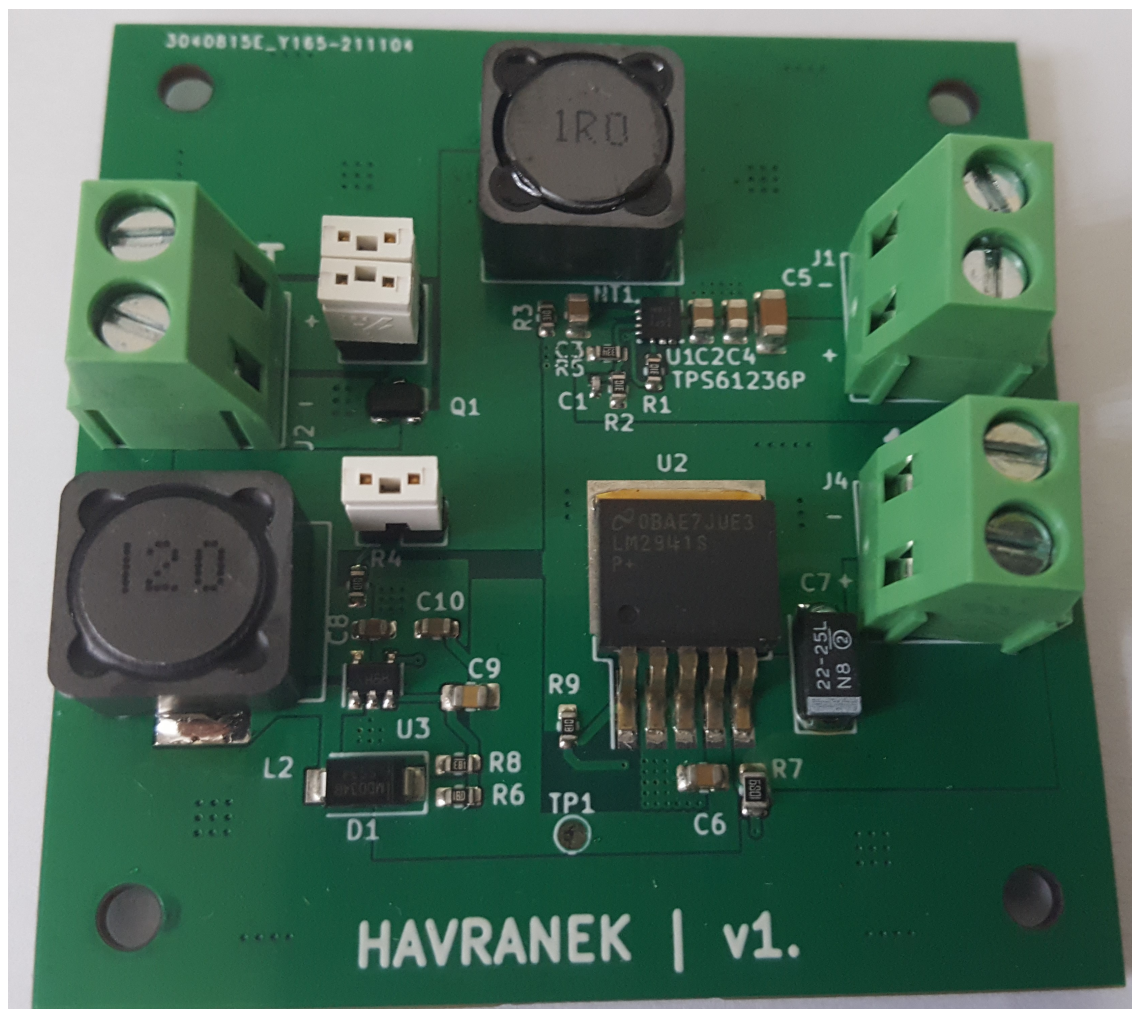
Title: Control Board

Size: A4 Date:
KICad E.D.A. kicad (6:0:1)

Rev:
Id: 1/1

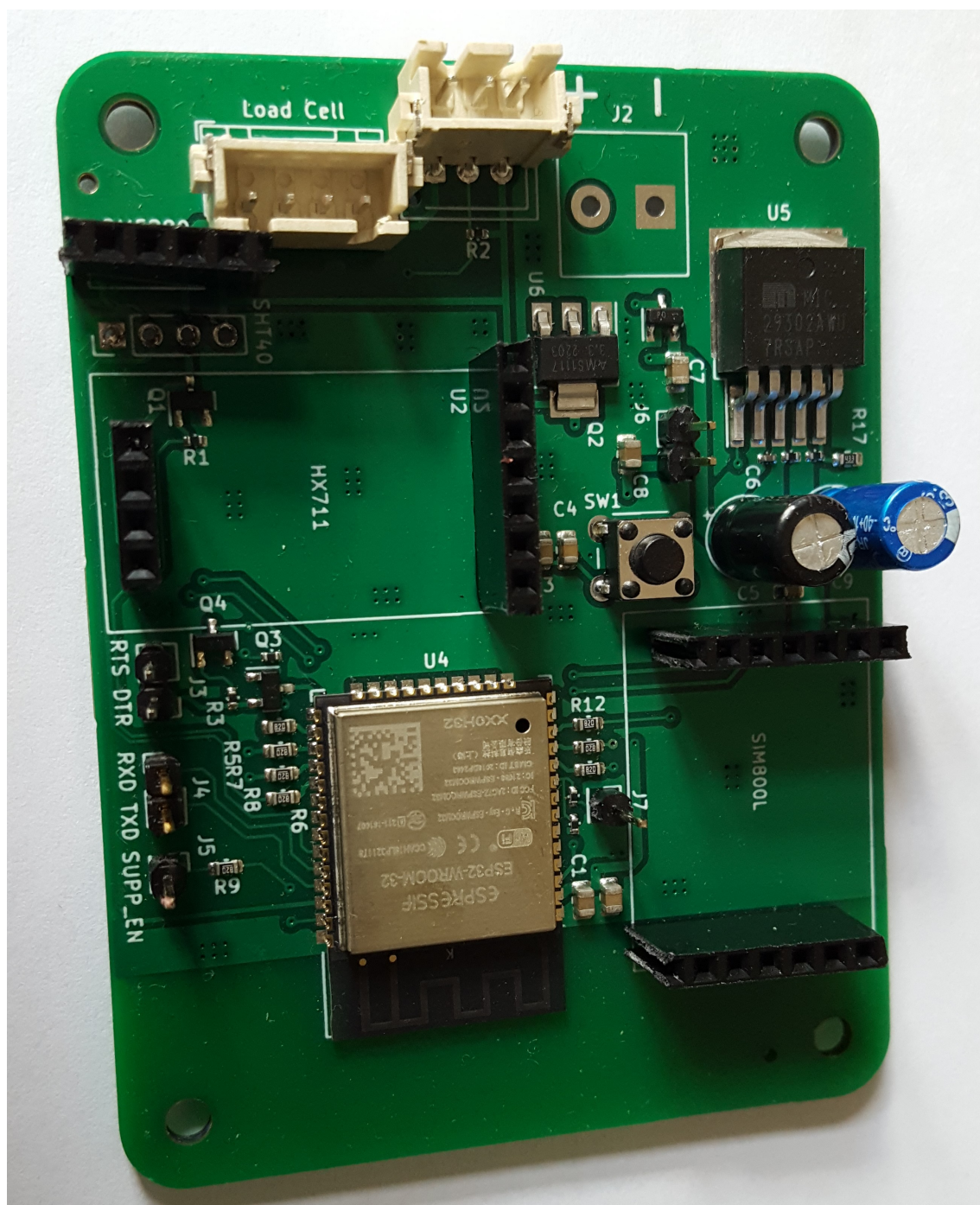
D Navrhnuté desky plošného spoje

D.1 Napájecí deska

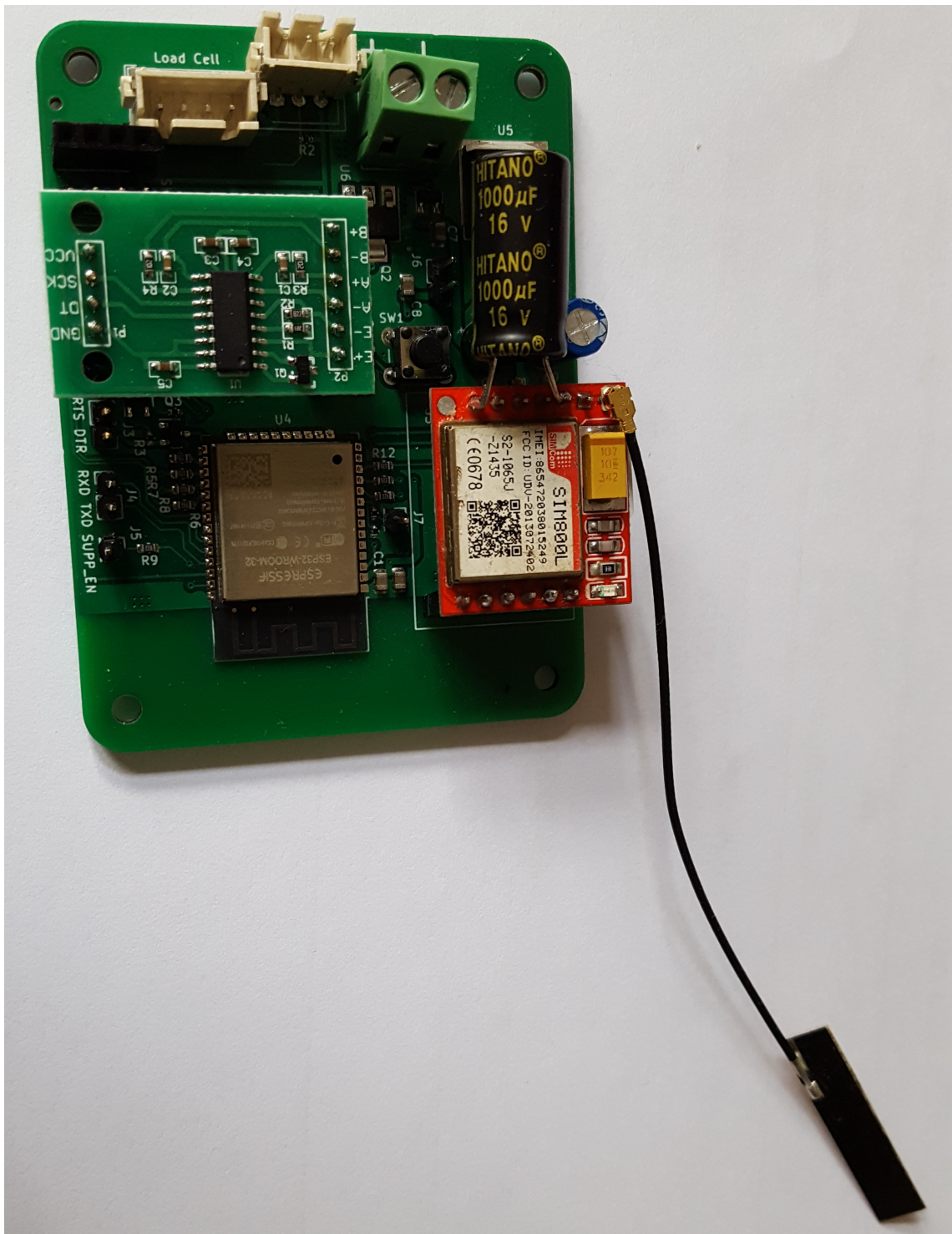


Obr. D.1: Napájecí deska, pohled shora

D.2 Řídící deska



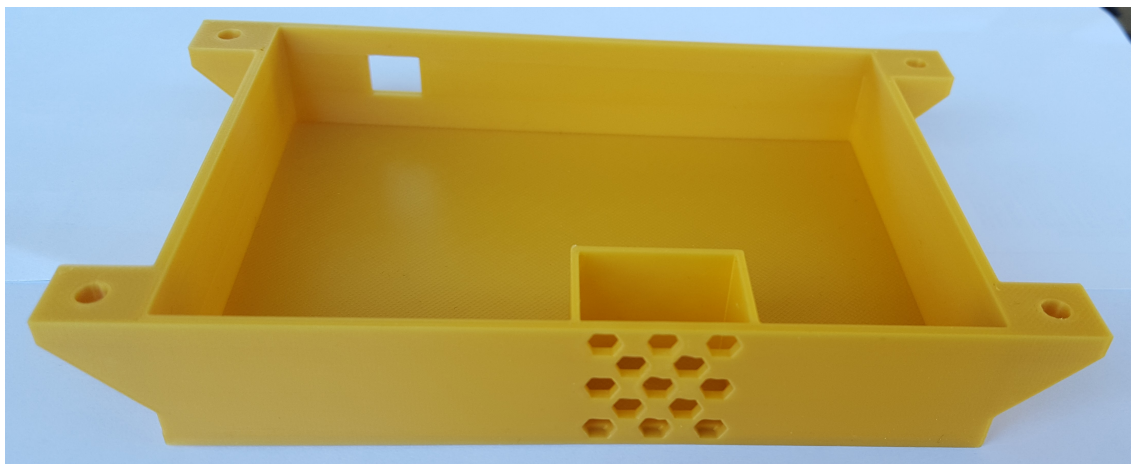
Obr. D.2: Řídící deska bez modulů, pohled shora



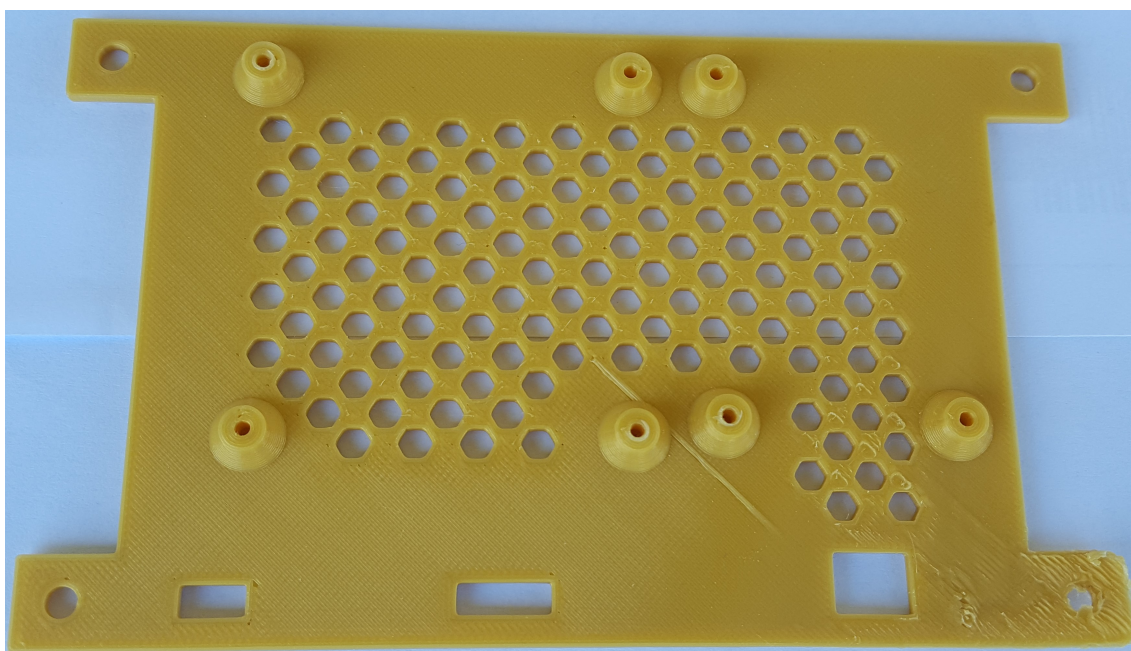
Obr. D.3: Řídící deska s moduly, pohled shora

E Mechanická část

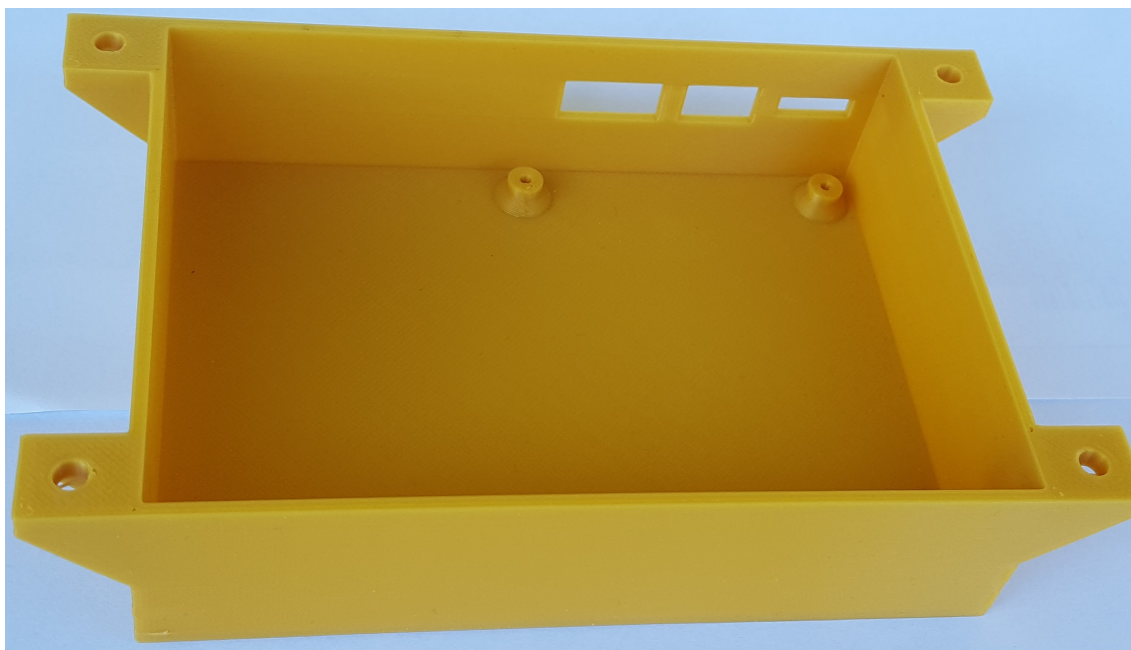
E.1 Krabíčka



Obr. E.1: Krabíčka - horní část



Obr. E.2: Krabíčka - prostřední část

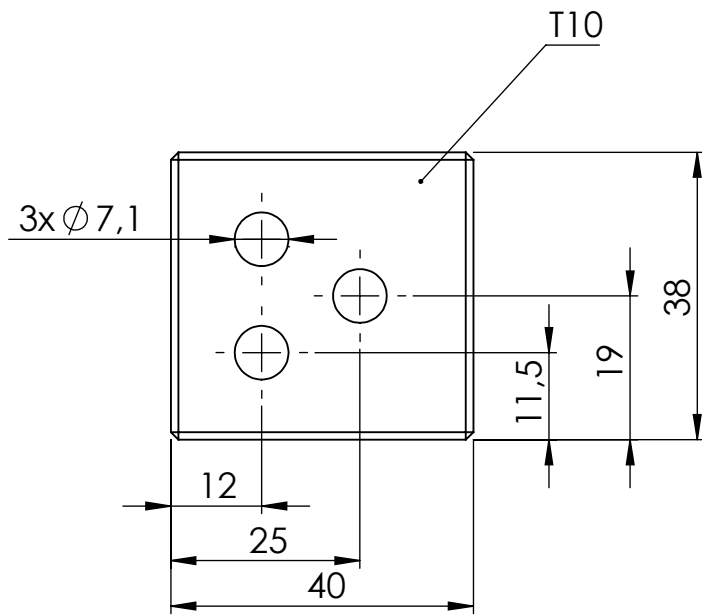
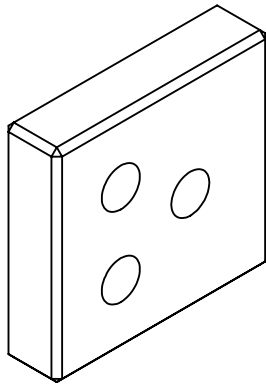


Obr. E.3: Krabička - spodní část

E.2 Rám



Obr. E.4: Vyrobený rám



$Ra\ 6,3$

POKUD NENÍ UVEDENO JINAK:
 JEDNOTKY JSOU V MILIMETRECH
 DRSNOST:
 TOLERANCE:
 LINEÁRNÍ:
 ÚHLOVÁ:

OPRACOVÁNÍ:

ODSTRANIT
OSTRÉ HRANY

NEUPRAVOVAT MĚŘÍTKO VÝKRESU

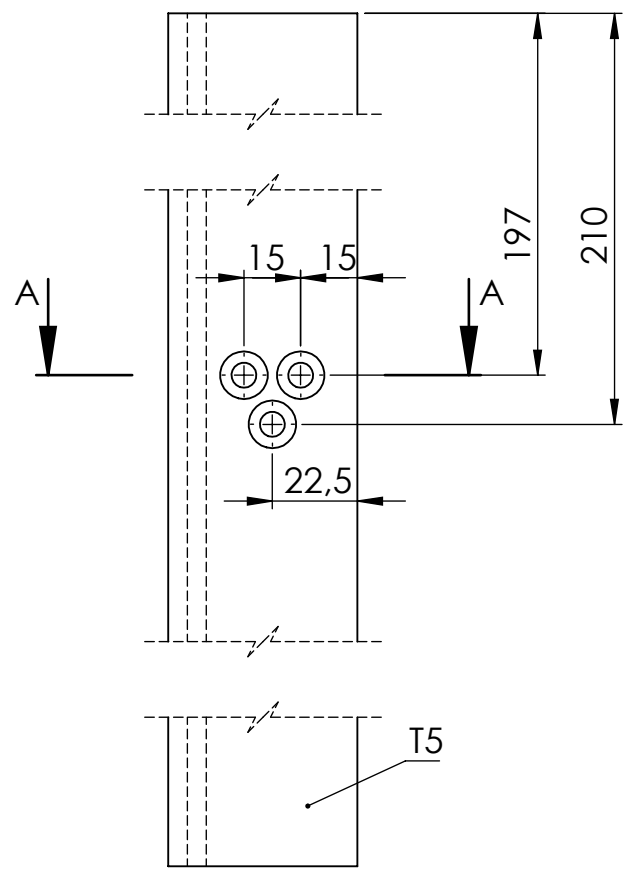
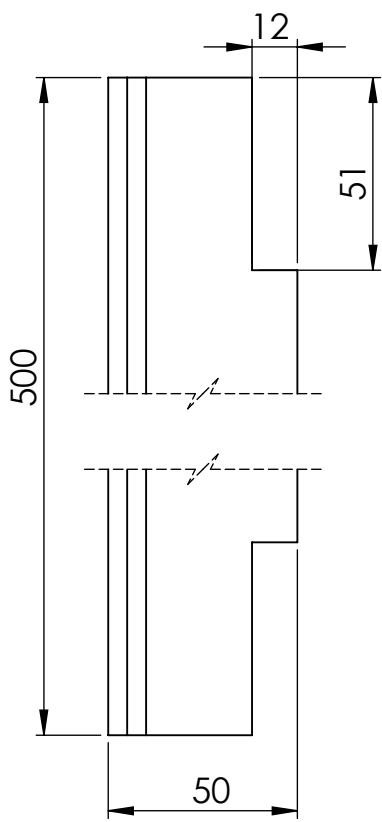
ZMĚNA

HAVRÁNEK

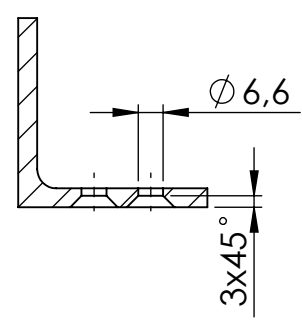
VLOŽKA

JMÉNO	PODPIS	DATUM
NAVRHL		16.4.2022
PŘEZKOUŠEL		
SCHVÁLIL		
VÝROBA		
Z. JAKOSTI		
MATERIÁL:		
11 373		
HMOTNOST:		

NÁZEV:	VLOŽKA	
Č. VÝKRESU	1	A4
MĚŘÍTKO: 1:1	LIST 1 Z 1 LISTŮ	



ŘEZ A-A



$\sqrt{Ra\ 6,3}$ (✓)

POKUD NENÍ UVEDENO JINAK: JEDNOTKY JSOU V MILIMETRECH			OPRACOVÁNÍ:		ODSTRANIT OSTŘÉ HRANY		NEUPRAVOVAT MĚŘÍTKO VÝKRESU		ZMĚNA	
DRSNOST: TOLERANCE: LINEÁRNÍ: ÚHLOVÁ:							HAVRÁNEK			
									L 50 x 50x500 - 1	
JMÉNO			PODPS		DATUM		NÁZEV:			
NAVRHL					16.4.2022					
PŘEZKOUSEL										
SCHVÁLIL										
VÝROBA										
Z. JAKOSTI							MATERIÁL:		Č. VÝKRESU	
							11 373		2	
									A4	
							HMOTNOST:		MĚŘÍTKO: 1:2	
									LIST 1 Z 1 LISTŮ	

4 | 3 | 2 | 1

F

E

D

C

B

A

F

E

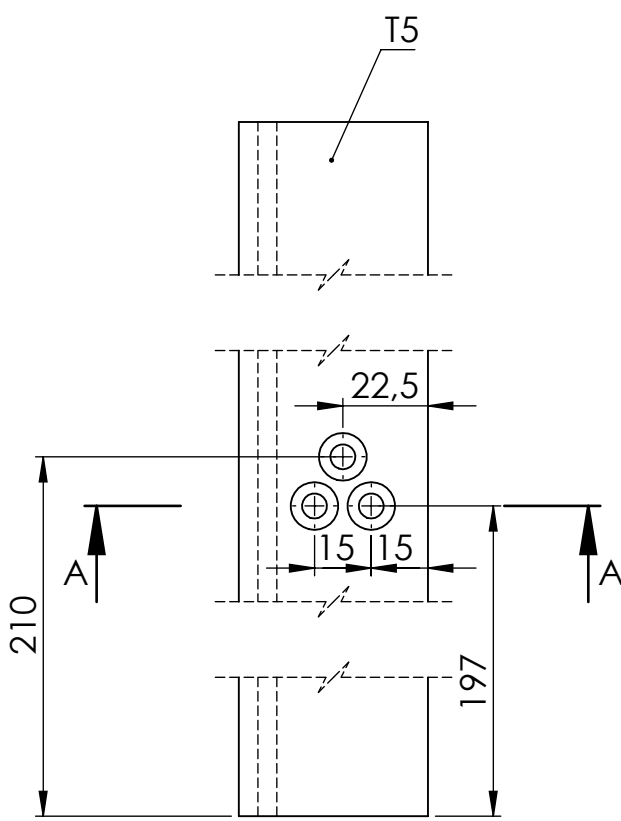
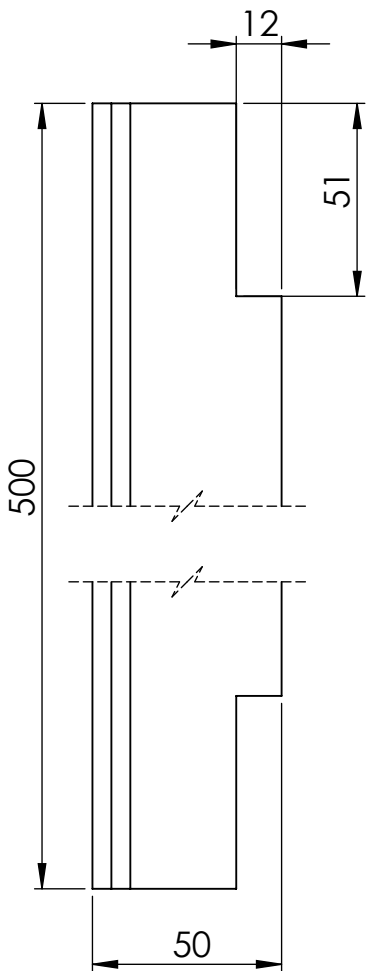
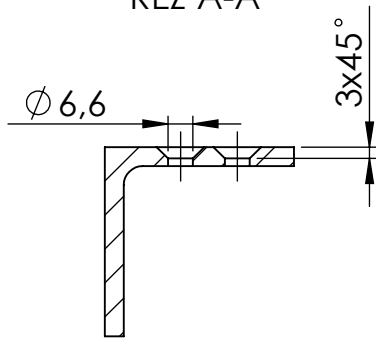
D

C

B

A

ŘEZ A-A



$\sqrt{Ra\ 6,3}$ (✓)

POKUD NENÍ UVEDENO JINAK:
JEDNOTKY JSOU V MILIMETRECH
DRSNOST:
TOLERANCE:
LINEÁRNÍ:
ÚHLOVÁ:

OPRACOVÁNÍ:

ODSTRANIT
OSTŘE HRANY

NEUPRAVAVAT MĚŘÍTKO VÝKRESU

ZMĚNA

HAVRÁNEK

NÁZEV:

L 50 x 5x500 - 2

JMÉNO	PODPIS	DATUM
NAVRHL		16.4.2022
PŘEZKOUŠEL		
SCHVÁLIL		
VÝROBA		
Z. JAKOSTI		
MATERIÁL:		
11 373		
HMOTNOST:		

Č. VÝKRESU

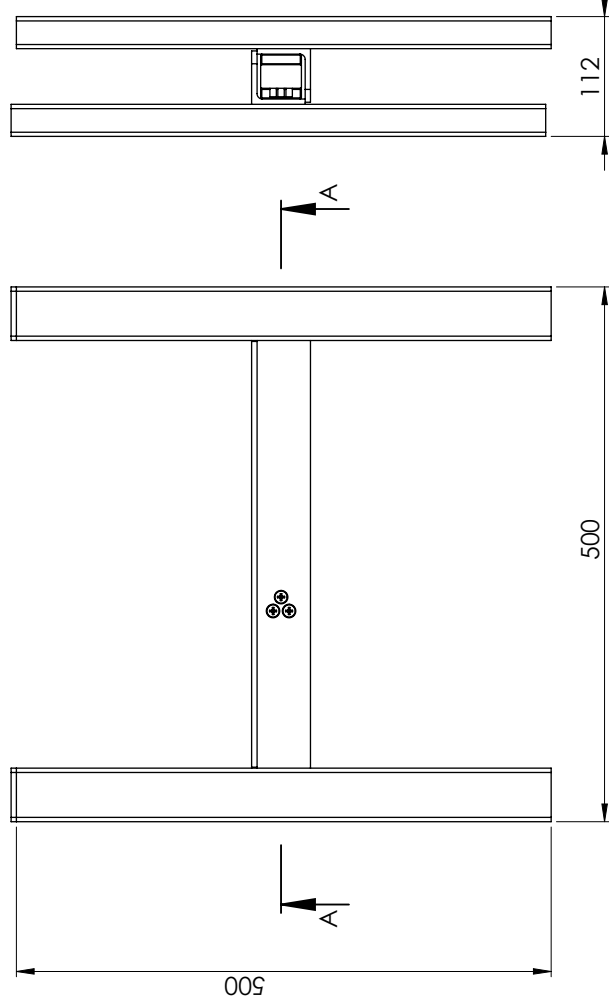
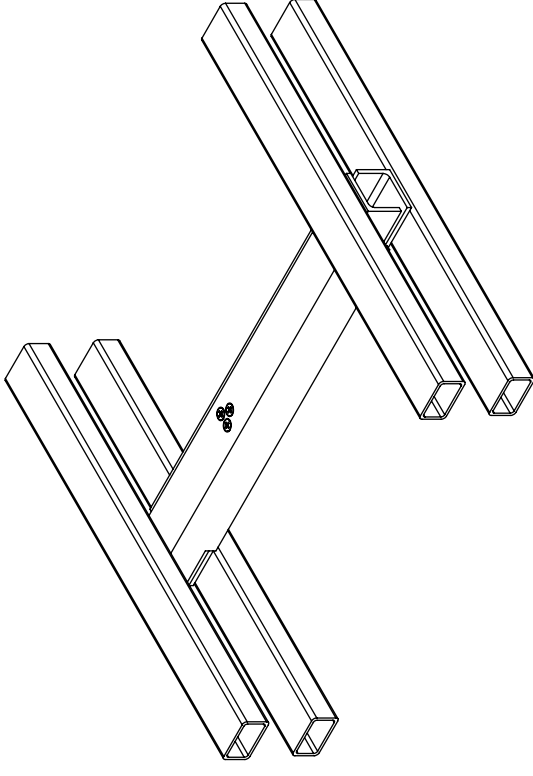
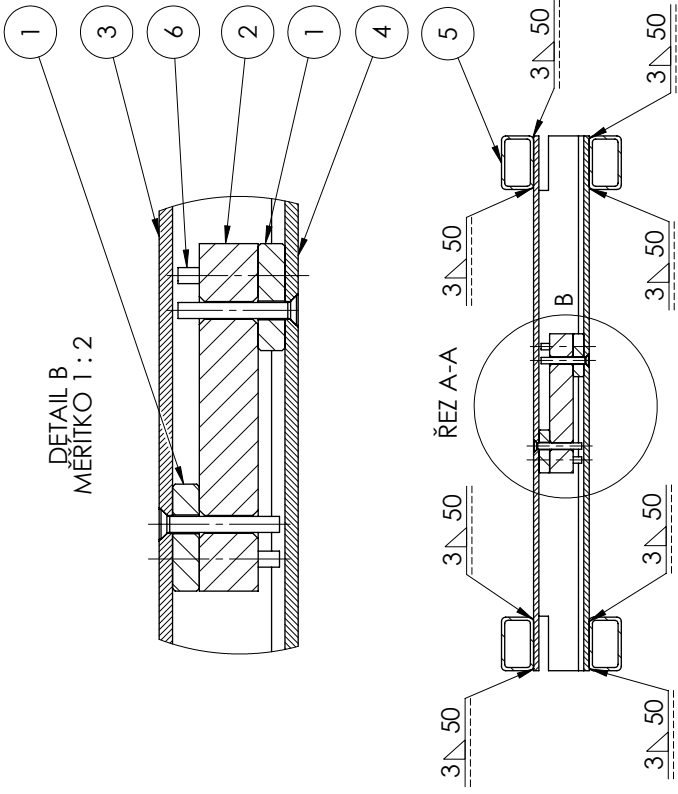
3

A4

MĚŘÍTKO: 1:2

LIST 1 Z 1 LISTŮ

4 | 3 | 2 | 1



Č. POLOŽKY	Č. DÍLU	POPIS	Množství
1	VLOŽKA		2
2	SENSOR		1
3	L 50 x 5x500 - 1		1
4	L 50 x 5x500 - 2		1
5	50 x 30 x 3x500		4
6	ISO 7046-1 - M6 x 45 - Z - 45N		6

OPRACOVÁNÍ		NEUPRAVOVAT! MĚŘÍTKO VÝKRESU		ZMĚNA	
POKUD NEJÍ UVĚDĚNO JINAK: JEDNOTKY JSOU V MILIMĚTŘECH					
TOLERANCE: UMĚRNĚ					
ÚHLAVNÍ: UHLAVNĚ					
ÚHLAVNÍ: UHLAVNĚ					
JMÉNO	PODPIS	DATUM			
NAVRHL		16.4.2022			
PROJEKTOVAL					
SCHVÁLIL					
VÝKRES					
Z. JAKOSTI					
MATERIÁL:			C. VÝKRESU		
HMOTNOST:			MĚŘÍTKO: 1:5		
3			2		
4			1		

HAVRÁNEK

RÁM

NÁZEV: **0**

Č. VÝKRESU: **0**

MĚŘÍTKO: **A3**