

Česká zemědělská univerzita v Praze

Technická fakulta

Katedra elektrotechniky a automatizace



Diplomová práce

Akustický indikátor rojení včelstva

Bc. Martin Hejhal

© 2024 ČZU v Praze

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Bc. Martin Hejhal

Informační a řídicí technika v agropotravinářském komplexu

Název práce

Akustický indikátor rojení včelstva

Název anglicky

Acoustic indicator of bee swarming

Cíle práce

Cílem diplomové práce je návrh a realizace systému, který akusticky monitoruje chování včel ve včelím úlu. Dle naměřených dat systém rozpozná nadcházející tzv. rojovou náladu a poskytuje informace o tomto stavu. Jako kontrolní mechanismus funkce akustického systému bude systém doplněn tenzometrickým měřením váhy úlu pro indikaci případného vyrojení včel.

Data z jednotlivých úlů budou odesílána na centrální jednotku včelnice a do databázového úložiště. Data budou průběžně přístupná majiteli včelnice. Systém bude napájen ze solárního zdroje elektrické energie a bude optimalizován na minimální energetickou náročnost.

Metodika

1. Seznámení se s problematikou chování včelstva v úlech
2. Návrh systému pro akustické monitorování včelstva
3. Výběr vhodných komponent pro konstrukci zařízení
4. Realizace elektronických obvodů
5. Vytvoření softwaru pro programovatelné obvody a úložiště dat
6. Realizace a ověření funkce systému

Doporučený rozsah práce

60 až 70 stran

Klíčová slova

včelstvo, rojení, úl, mikrokontroler, senzor

Doporučené zdroje informací

CHYSKÝ, J. Vestavěné systémy I. Praha: ČVUT. 2010. ISBN 978-80-010-4629-6.

LAMPEITL, Franz. *Úspěšný chov včel*. [Líbeznice]: Víkend, 2016. ISBN 978-80-7433-143-5.

MATOUŠEK, D. Programování mikrokontrolérů ATmega bez předchozích znalostí. Computer Press. 2022. ISBN 978-80-251-5042-9.

SOUKUP, T. Omezení a využití rojové nálady v chovu včel. Bakalářská práce. Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích. 2013. <http://www.nusl.cz/ntk/nusl-166270>

TAUTZ, Jürgen; HEILMANN, Helga R.; MATYÁSKOVÁ, Olga. *Fenomenální včely : biologie včelstva jako superorganismu*. Praha: Brázda, s.r.o., 2021. ISBN 978-80-209-0433-1.

Předběžný termín obhajoby

2023/2024 LS – TF

Vedoucí práce

doc. Ing. Stanislava Papežová, CSc.

Garantující pracoviště

Katedra elektrotechniky a automatizace

Elektronicky schváleno dne 15. 1. 2023

doc. Ing. Monika Hromasová, Ph.D.

Vedoucí katedry

Elektronicky schváleno dne 8. 3. 2023

doc. Ing. Jiří Mašek, Ph.D.

Děkan

V Praze dne 20. 11. 2023

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci na téma "Akustický indikátor rojení včelstva" vypracoval samostatně a použil jen pramenů, které cituji a uvádím v seznamu použitých zdrojů.

Jsem si vědom, že odevzdáním diplomové práce souhlasím s jejím zveřejněním dle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů, ve znění pozdějších předpisů, a to i bez ohledu na výsledek její obhajoby.

Jsem si vědom, že moje diplomová práce bude uložena v elektronické podobě v univerzitní databázi a bude veřejně přístupná k nahlédnutí.

Jsem si vědom, že na moji diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů, ve znění pozdějších předpisů, především ustanovení § 35 odst. 3 tohoto zákona, tj. o užití tohoto díla.

V Praze dne 29. 2. 2024

Poděkování

Rád bych touto cestou poděkoval především vedoucímu práce doc. Ing. Stanislavě Papežové, CSc. za odborné vedení práce a doporučení týkající se obsahu diplomové práce.

Akustický indikátor rojení včelstva

Abstrakt

Diplomová práce se zabývá návrhem a konstrukcí zařízení, které je schopné predikovat tzv. rojovou náladu u včely medonosné. Zařízení využívá akustické monitorování chování včely medonosné s využitím frekvenční analýzy za asistentce metody rychlé Fourierovy transformace. Ke kontrolním účelům je možné zařízení doplnit o volitelný tenzometrický systém pro sledování hmotnosti úlu. Získaná naměřená data jsou zpracována algoritmem, který je schopen stanovit podezření na rojovou náladu a pomocí GSM signálu informovat majitele včelnice o této skutečnosti. Všechna naměřená data jsou dostupná pomocí aplikačního softwaru koncovému uživateli. Zařízení je možné dobíjet ze solárních panelů, proto ho mohou používat včelaři ve všech druzích včelích úlů i na odlehlých včelnicích jako praktickou a ekonomicky zajímavou pomůcku.

Klíčová slova: včelstvo, rojení, úl, mikrokontroler, senzor, akumulátor, tenzometr

Acoustic indicator of bee swarming

Abstract

This thesis is focused on the development and construction of a device designed to predict the swarming behaviour of honeybees. Utilizing acoustic surveillance, the device analyses bee activity through frequency analysis via the fast Fourier transform method. Additionally, it can be enhanced with an optional strain gauge system to monitor the hive's weight. The data collected are processed by sophisticated software that identifies potential swarming behaviour, subsequently alerting the hive owner through a GSM signal. All measured data are available via application software to the end user. The device can be recharged from solar panels and can therefore be used by beekeepers in all kinds of hives and in remote apiaries as a practical and economically interesting tool.

Keywords: bee colony, swarming, hive, microcontroller, sensor, accumulator, strain gauge

Obsah

1 Úvod	1
2 Cíl práce a metodika.....	3
2.1 Cíl práce.....	3
2.2 Metodika.....	3
3 Teoretická část práce	4
3.1 Rojová nálada.....	4
3.1.1 Důvody vzniku tzv. rojové nálady	4
3.1.2 Úskalí vyrojení včel	5
3.1.3 Protirojová opatření.....	5
3.1.4 Průběh rojení.....	6
3.2 Zpracování zvuku v úlu a realizovatelnost.....	7
3.3 Návrh zařízení pro analýzu zvuku.....	10
3.3.1 Zpracování zvuku.....	11
3.3.2 Energetická náročnost	14
3.3.3 Propojení měřicích karet s internetem.....	14
3.3.4 Doplnkový systém měření hmotnosti.....	15
3.3.5 Záznam vnitřního prostředí úlu.....	17
3.4 Návrh zařízení pro přenos dat.....	18
3.4.1 GSM komunikace	18
3.4.2 Časová značka.....	19
3.4.3 Energetická náročnost	19
4 Praktická část práce	20
4.1 Hardwarové řešení měřicích karet	20
4.1.1 Řídící CPU.....	20
4.1.2 Modul záznamu zvuku	21
4.1.3 Modul zpracování teploty a vlhkosti.....	23
4.1.4 Napájecí soustava.....	24
4.1.5 Tenzometrické zpracování hmotnosti	27
4.1.6 Vysílání v pásmu 2,4 GHz.....	30
4.1.7 Zapojení a použití měřicí karty	31
4.2 Hardwarové řešení GSM brány	34
4.2.1 Řídící CPU.....	35
4.2.2 Modul reálného času	35
4.2.3 Modul zpracování klimatu.....	36
4.2.4 Napájecí soustava.....	37

4.2.5	Příjem v pásmu 2,4 GHz	39
4.2.6	Vysílání v GSM	40
4.2.7	Zapojení a konstrukce GSM brány	41
4.3	Firmware zařízení.....	43
4.3.1	Seznam použitých knihoven	43
4.3.2	Firmware měřicí karty	45
4.3.3	Hlavní struktury a činnost funkcí firmwaru měřicí karty	46
4.3.4	Firmware GSM brány.....	49
4.3.5	Činnost funkcí firmwaru GSM brány.....	50
4.4	Webový portál.....	51
4.4.1	Struktura webu	51
4.4.2	Webové rozhraní	52
4.5	Ekonomický pohled na zařízení	55
Výsledky a diskuse	56	
4.6	Realizované zařízení	56
4.6.1	Měřicí karta.....	56
4.6.2	GSM brána.....	60
4.7	Analýza úrovní frekvencí	62
4.8	Tenzometrický systém.....	65
4.9	Efektivnost a nasazení	66
Závěr	67	
5 Seznam použitých zdrojů	69	
6 Seznam obrázků.....	71	
7 Seznam tabulek	72	
Přílohy.....	73	

1 Úvod

Svět včel provází lidstvo od nepaměti a stále přináší nové otázky. Odpovědět na ně je někdy velmi složité, ale ti, kteří se včelařstvím zabývají, se pokoušejí do způsobu včelího života proniknout a hledat nové možnosti jejího využití.

Z původního chovu včel pro radost a pro opylování květů většina chovů včel dnes existuje kvůli hospodářskému využití. Počet včelstev se zvyšuje různými způsoby, ale přirozeným množením je rojení. Včely vede k rojové náladě nedostatek místa v úlu zapříčiněný velkým množstvím mladých včel a nekončícím přísunem potravy v jarním období. To přímo směřuje ke vzniku nové včelí kolonie, která se začíná tvořit zakladením vajíčka nové včelí královny. Již v tomto období se včely postupně začínají připravovat na rojení. Před vylíhnutím první mladé matky, která zůstává v úle s částí dělnic, je stará matka se zbytkem včelstva připravena na vyrojení. Za příznivého počasí se vyrojí, a tím způsobí včelaři ztráty. Proto včelaři zavádí protirojová opatření, aby zabránili ztrátě medného výnosu, a tedy ekonomickým ztrátám.

I když jsou včelaři přesvědčeni, že mají vše, co potřebují, přemýšlejí, jak něco nového vyzkoušet nebo to stávající vylepšit. Využívají různá zařízení, která jim šetří čas a zpříjemňují obhospodařování včelstev. Nejsou to jen mechanické stroje, ale především elektronické systémy vzdáleného monitorování včelstev. V úlu jsou umístěny senzory napojené na online portál a jeho prostřednictvím dostává včelař informace o situaci a dění uvnitř úlu. Některá zařízení mohou mít určité nedostatky. Může to být absence napájení v místě instalace nebo potřeba dalších přídavných prvků. A pokud samotnou instalaci a nastavení systému provádí odborná firma, může být pořizovací cena pro včelaře příliš vysoká. I samostatný provoz vzhledem k poplatkům za přenos dat nebo potřeba internetového připojení v místě instalace může být překážkou zavedení elektronického systému do praxe.

V souvislosti s tím, že vyrojený úl je v daném roce pro včelaře již bez užitku, zaměřil jsem se ve své diplomové práci na vytvoření akustického indikátoru rojení včelstva, který upozorní včelaře na možné vyrojení včel, a tím zabráni ztrátě medného užitku. Výhodou takového detektoru je nízká pořizovací cena a provoz na baterie, které jsou dobíjeny solárními panely. Je levný a jednoduchý na obsluhu a i ten, kdo není technicky zdatný, zvládne instalaci a uvedení do provozu.

Jako mladého včelaře začátečníka mě zajímá spojení tradičního včelařství s moderními technologiemi, které může pomoci včelařům předvídat chování včel, pochopit jejich aktivitu a včas zasáhnout, když je potřeba. V teoretické části této práce se zabývám vznikem rojové nálady ve včelstvu, jaká jsou rizika vyrojení včelstva a jak lze aplikovat protirojová opatření. Popisuji metodu akustického monitorování chování včel, včetně požadavků na hardwarové vybavení měřících zařízení, jako jsou senzory vlhkosti, teploty a parametry solárních regulátorů, v případě použití dobíjení ze solárních panelů. V závěru teoretické části se zaměřuji na přenos získaných dat do internetu a k majiteli včelnice pomocí GSM sítě.

V praktické části jsou vybrány a popsány jednotlivé komponenty zařízení, včetně jejich hardwarového spojení pro jednotlivá zařízení ve včelích úlech a také pro zařízení sloužící k distribuci signálu mezi včelnicí a internetem. Objasňuji, proč byly zvoleny vybrané komponenty a jaké mají výhody pro danou aplikaci. Jednotlivé díly jsou doplněny grafickou ukázkou.

Součástí práce jsou bloková schémata fungování firmwaru zařízení a GSM brány včelnice. Je zde znázorněn webový aplikační software pro koncového uživatele, ve kterém se zobrazují nejdůležitější údaje o včelstvu a včelnicí. Ve své práci vyhodnocuji ekonomické hledisko akustického indikátoru pro využití v praxi.

2 Cíl práce a metodika

2.1 Cíl práce

Cílem diplomové práce je návrh a realizace systému, který akusticky monitoruje chování včel ve včelím úlu. Dle naměřených dat systém rozpozná nadcházející tzv. rojovou náladu a poskytne informace o tomto stavu. Jako kontrolní mechanismus funkce akustického systému bude systém doplněn tenzometrickým měřením hmotnosti úlu pro indikaci případného vyrojení včel.

Data z jednotlivých úlů budou odesílána na centrální jednotku včelnice a do databázového úložiště. Data budou průběžně přístupná majiteli včelnice. Systém bude napájen ze solárního zdroje elektrické energie a bude optimalizován na minimální energetickou náročnost.

2.2 Metodika

1. Seznámení se s problematikou chování včelstva v úlech
2. Návrh systému pro akustické monitorování včelstva
3. Výběr vhodných komponent pro konstrukci zařízení
4. Realizace elektronických obvodů
5. Vytvoření softwaru pro programovatelné obvody a úložiště dat
6. Realizace a ověření funkce systému

3 Teoretická část práce

Včelařství patří k nejstarším oborům lidské činnosti, které přináší člověku užitek v tvorbě včelích produktů, mezi něž patří med, včelí vosk, mateří kašička, pyl a včelí jed. Včelstvo je společenství, které zastane všechny funkce, i když jeho projevy a rozvoj jsou každý rok trochu odlišné. Jsou závislé zejména na počasí a zdrojích potravy. Včelí populace za příznivých podmínek roste, rozmnožuje se a ukládá zásoby. Včelstvo se přirozeně množí rojením, jež je ovšem nekontrolovatelné a hlavně má negativní dopady na výnosy medu z vyrojeného včelstva.

V teoretické části práce bude vysvětleno, co je to rojení včel a jak vzniká tzv. rojová nálada. Dále bude popsáno, co tomuto stavu předchází, a bude nastíněna funkce systému včasného varování vyrojení včelstva.

3.1 Rojová nálada

3.1.1 Důvody vzniku tzv. rojové nálady

Rojení včel je zcela přirozený proces množení včel. Založení nového včelstva nemůže realizovat pouze včelí královna, ale je potřeba celé škály druhů včelích dělnic a trubců. Od samotných krmíček a létavek až po strážkyně česna (Lampeit, 2016).

Důvodů vzniku rojové nálady včely medonosné je hned několik. Ve většině případů k tomu vede omezení včelí královny klást malé larvy, ze kterých se postupně vylíhnou včely nebo trubci.

Toto omezení nastává v období velké jarní snůšky, kdy všechno začíná kvést a včely mají enormní přísun sladiny do úlu. Standardně se jedná o období dubna, kdy začínají kvést první ovocné stromy jako třešně, meruňky apod. Tuto sladinu ukládají všude, kde je místo, a ignorují potřeby včelí královny. Ta je kvalitními jarními pyly povzbuzována včelími krmíčkami k větší a větší produkci. V tomto období je schopná denně zaklást i 2000 vajíček (Lampeit, 2016). Nastává tedy velký problém s místem v úlu.

Nedostatek místa v úlu není jediným faktorem způsobující rojovou náladu. Dalším důvodem může být i plemenná příslušnost včel nebo forma křížení. Známa je vysoká rojivost včely vřesové, která byla chována speciálně pro silný rojový pud na vřesovištích. Proti tomu včela Buckfast se vyznačuje malou rojivostí. (Lampeit, 2016).

Ke vzniku rojové nálady může vést také stáří včelí královny. Např. tříleté a starší matky mají větší snahu se vyrojit (Lampeit, 2016).

V neposlední řadě důvodem rojení včel, o kterém se již moc nemluví, je špatné zdraví nebo nehygienické podmínky v úlu. Včela medonosná je v České republice sice léčena na tzv. varoázu, jež je způsobena parazitem na včele připomínajícím klíště, ale další zásahy léčivými přípravky nejsou v naší zemi povoleny. Velice se tedy šíří tzv. zvápenatění včelího plodu, nosematóza či viry. Jednou z metod proti těmto příznakům je přemetení včel na mezistěny. V podstatě dojde ke kompletní obměně včelího díla. To samé udělá včelstvo, když z úlu vylétne a hledá si nové místo pro kolonii.

3.1.2 Úskalí vyrojení včel

V minulosti se hledělo na rojení včel jako přirozený proces, který signalizuje schopného včelaře, jenž poskytl svým včelám ideální zázemí pro život, a proto se mu rozmnožením snaží včely zavděčit.

V dnešní době již tento pohled není tak zřejmý. Vyrojené včelstvo sice vytvoří novou kolonii, nicméně původní včelstvo je tak oslabeno, že produkční rok, ve kterém se vyrojilo, již nepřinese žádnou nebo jen velmi malou produkci medu. To je zapříčiněno nejen množstvím zásob, které si roj na cestu odnese, ale i sníženou pracovitostí včel, než dojde k rozkladu nové včelí královny.

3.1.3 Protirojová opatření

Protirojových opatření existuje několik. V ideálním případě je potřeba zvolit kmen včely medonosné, která byla šlechtěna přímo pro to, aby měla rojový pud co nejvíce potlačen. Pro naše podnebí je šlechtěn kmen včely kraňské, případně kmeny Singer a Vigor. Začínající včelaři ale většinou z ekonomického hlediska volí levnější kmeny.

Výměna včelí královny, která je doporučována jednou za 3 roky (Urban, 2018), je také finančně a časově náročná.

Jako základní protirojová metoda je vždy zvětšování úlového prostoru. To ale musí být provedeno včas. Dnes se již ví, že rojová nálada začíná i 30 dní před vyrojením (Urban, 2018). Pokud už rojová nálada nastane, je většinou jakákoliv další činnost směřující k zabránění vyrojení marná.

3.1.4 Průběh rojení

Průběh vyrojení včelstva je vždy velmi podobný. Včelí královna po snubním proletu již nelétá. Ostatní včely o ni pečují, vydatně ji krmí a připravují plástové buňky pro kladení vajíček. Stará včelí královna opustí úl jen v případě rojení.

V období před vyrojením neklade larvičky pro další líhnutí včel. Včely krmičky ji nekrmí, ale spíše prohání po úle, aby co nejvíce odlehčily její váze. Ostatní včely v tomto období omezí své pracovní povinnosti. Nosí sladinu v omezeném množství, takže jejich sladina jako krmivo a zásoby medu se mohou dostávat do deficitu.

Těsně před vyrojením dojde u včel, které se z úlu chystají k odletu, k zaplnění medných váčků ze zásob, jež jsou v úle. Ty vystačí na maximálně 10 dní (Tautz, 2021). Včely si je nesou na cestu, aby včelstvo, až se usadí, mělo nějaké zásoby do začátku. To opět vede k dalšímu poklesu medných zásob ve včelstvu. Pak stará včelí královna se svými věrnými včelami vylétá z úlu.

První roj z úlu se nazývá prvoroj. Vylétne při něm 70 % dělnic z celkového počtu 30 až 50 tisíc včel v úlu (Tautz, 2021). Někdy vznikají i další roje podle toho, jak se líhnou nové matky v původním úlu. Nově vylíhlá včelí královna by sice měla další včelí královny před vylíhnutím usmrtit, ale není to pravidlem. Proto dochází k dalším rojům, a tím i k dalšímu úbytku zásob v úlu.

Včely, které se chystají vylétnout, se postupně shlukují v podmetu úlu. Krátce před vyrojením začínají včely běhat mezi sebou, vyluzovat vibrace s vysokou frekvencí a matku pobízejí k vyrojení kousáním a taháním. Potom začnou masivně vylétat z úlu projevujíc se svým bzučením. Vyrojené dělnice se spolu s matkou usadí v blízkosti starého úlu do hroznu a začnou hledat nový domov (Tautz, 2021).

Vzhledem k nosnosti včely 40 mg, při její hmotnosti 90 mg (Tautz, 2021), dojde při prvoroji k okamžitému úbytku zásob a to mezi 0,84 kg a 1,4 kg. Celý roj pak váží mezi 2,7 kg a 4,6 kg.

V poslední řadě je potřeba zmínit skutečnost, že než dojde k vylíhnutí a oplodnění nové včelí královny, jež opět začne klást larvičky, ze kterých se vylíhnou nové včely, trvá to dalších 14 až 16 dní (Lampeit, 2016). Po celou dobu včely v úle pracují velmi laxním způsobem.

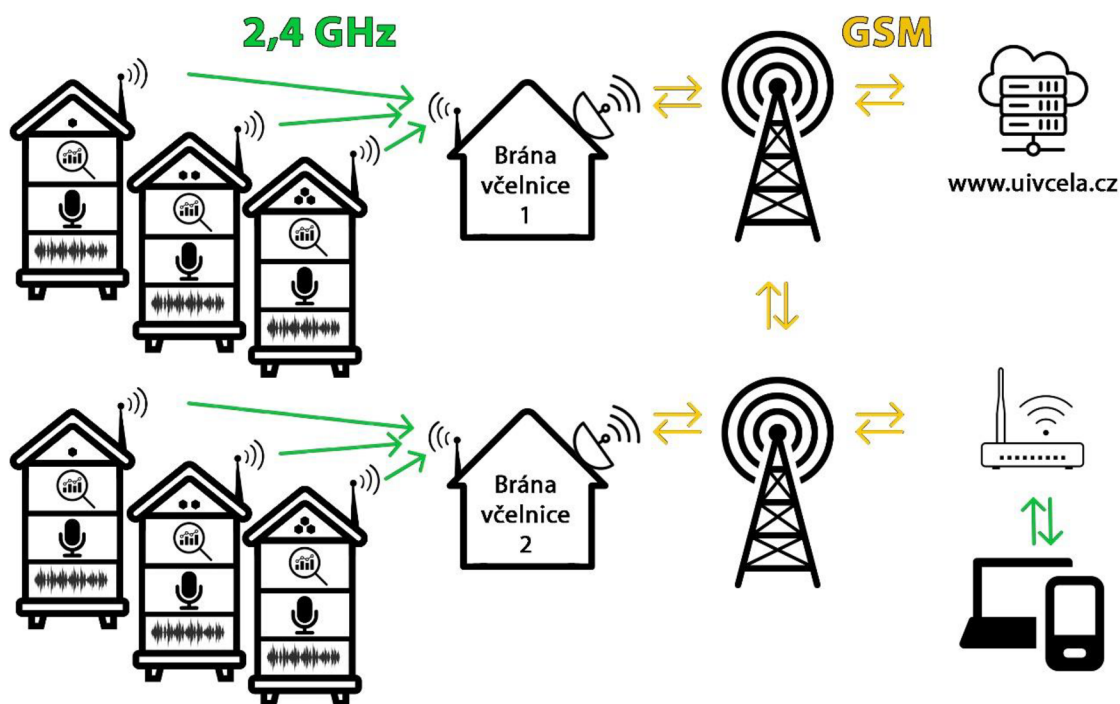
3.2 Zpracování zvuku v úlu a realizovatelnost

Frekvence, kterou včely připravující se na vyrojení produkují, se dle italských autorů článku v mezinárodním časopisu „Computers and Electronics in Agriculture“ odhaduje na 300 Hz až 500 Hz [16].

Na internetu je nabízeno několik komerčních systémů, které se podobnou problematikou zabývají. Jedná se o poměrně složitá zařízení, jež využívají trvalé připojení k datovému úložišti, kde probíhá analýza zvuku. Systémy značek Bee-Hive a ProBee, které působí na českém trhu, se také zaměřují na analýzu chování včelstev, ale bez sledování akustických projevů. Finančně patří mezi nákladná zařízení. V jejich ceně se projevuje možnost čerpat na sestavu monitorovacího váhového systému dotační příspěvek.

Podle mého názoru je lepším řešením protirojové analýzy přenesení samotného zpracování zvukového spektra přímo do úlu. Do datového úložiště na internetu odesílat již vyhodnocená data pro grafickou prezentaci uživateli systému. Tím odpadnou finančně nákladná a energeticky náročná datová propojení. Touto problematikou se budu zabývat ve své diplomové práci. Struktura uspořádání systému je zobrazena na obrázku č. 1.

Obrázek 1 – Uspořádání protirojové analýzy



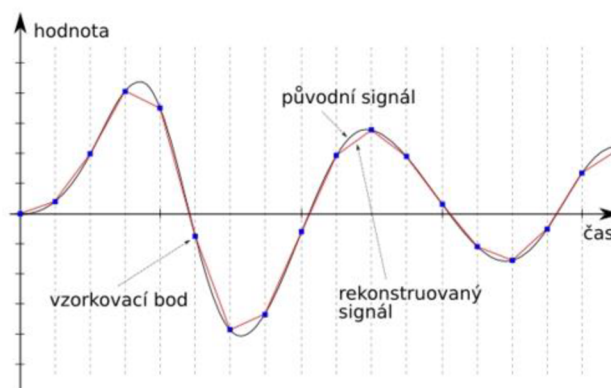
Zdroj: Autor práce

Nejdříve je nutné stanovit, jak získat zvukový projev včelstva. Tento analogový signál je potřeba dostatečně přesně převést do digitální podoby pro další zpracování. Získaný zvukový vzorek se musí zpracovat A/D převodníkem. Vzorkování je proces diskretizace v časové oblasti. Provádí se rozdělením osy x , v našem případě osy času, na rovnoměrné úseky, jak zobrazuje obrázek č. 2. Z obrázku je patrné, že zde dochází k velké ztrátě analogových dat při převodu na data diskretní. Čím bude vzorkovací frekvence menší, tím větší vznikají chyby měření.

Pokud nedojde k dodržení tzv. Shannon Kotělnikova vzorkovacího teorému, který stanoví, že frekvence vzorkování musí být alespoň 2krát vyšší než frekvence nejvyšších existujících spektrálních složek vzorkovaného signálu, dojde přeložením spekter ke zkreslení, tzv. aliasingu [19].

Pro reálný signál, který nemá striktně definovanou mezní frekvenci, nad kterou má zanedbatelnou úroveň spektrální funkce, filtruje se obvykle zpracovávaný signál dolní propustí, která spektrální složky nad polovinou vzorkovací frekvence bezpečně potlačí.

Obrázek 2 – Vzorkování spektra



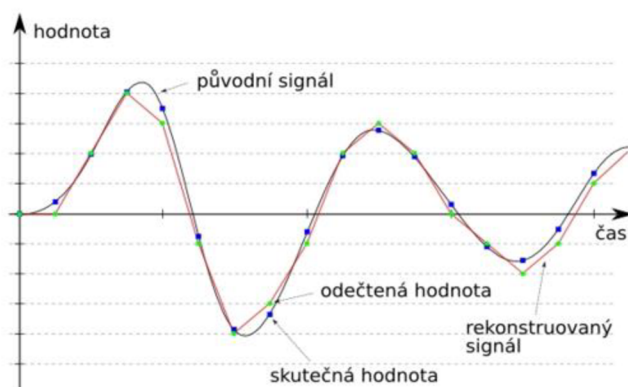
Zdroj: <https://is.muni.cz/>

Při zpracování analogového signálu na digitální je nutné určit hodnoty, které má signál v daném čase vzorkování. Tomu ději se říká kvantování. Jak zobrazuje obrázek č. 3 osa y je rozdělena na několik ekvidistantních úrovní podle toho, jak přesný je A/D převodník. Pro každý n -bitový převodník je to 2^n úrovní. S tím souvisí nejen přesnost, ale i chyba diskretizace.

Jak obrázek č. 3 ukazuje, dochází u kvantování spektra k zaokrouhlení úrovně diskretizovaného signálu buď na horní, nebo dolní ekvidistantní úroveň. Vždy tedy existuje malé okolí ekvidistantní úrovně, které převodník nerozliší.

Dnes jsou nejčastěji u mikroprocesorů převodníky s přesností 2^{10} bitů. Čím více bitů použijeme k zachycení vzorku v časovém bodě, tím přesnější bude jeho hodnota. Každému dílu osy y je přiřazeno toleranční pásmo. V případě, že průsečík analogového signálu a vzorkování patří do daného tolerančního pásma, je tato hodnota vyhodnocena jako výsledná digitální dle hodnoty na ose y.

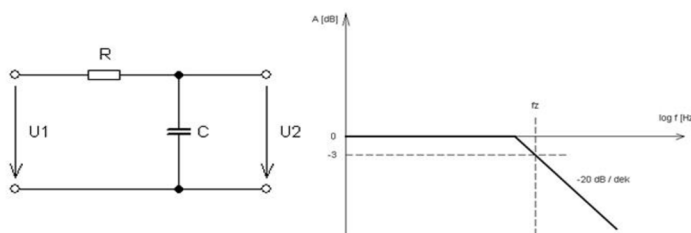
Obrázek 3 – Kvantování spektra



Zdroj: <https://is.muni.cz/>

Aby nedocházelo k prolínání spekter signálu, tzv. aliasingu, je nutné odstranit vyšší harmonické složky pomocí frekvenčního filtru typu dolní propust. Ta zabrání vstupovat do převodníku frekvencím větším, než je $\frac{1}{2}$ frekvence vzorkování. Nejjednodušším možným zapojením dolní pásmové propusti je integrační RC článek, který má útlum amplitudy frekvence -3 dB. Schéma zapojení je včetně útlumu na obrázku č. 4.

Obrázek 4 – Dolní propust



Zdroj: <https://www.barts.cz/>

Výpočet mezní frekvence f_c znázorňuje rovnice č. 1.

$$f_c = \frac{1}{2\pi RC} \quad (1)$$

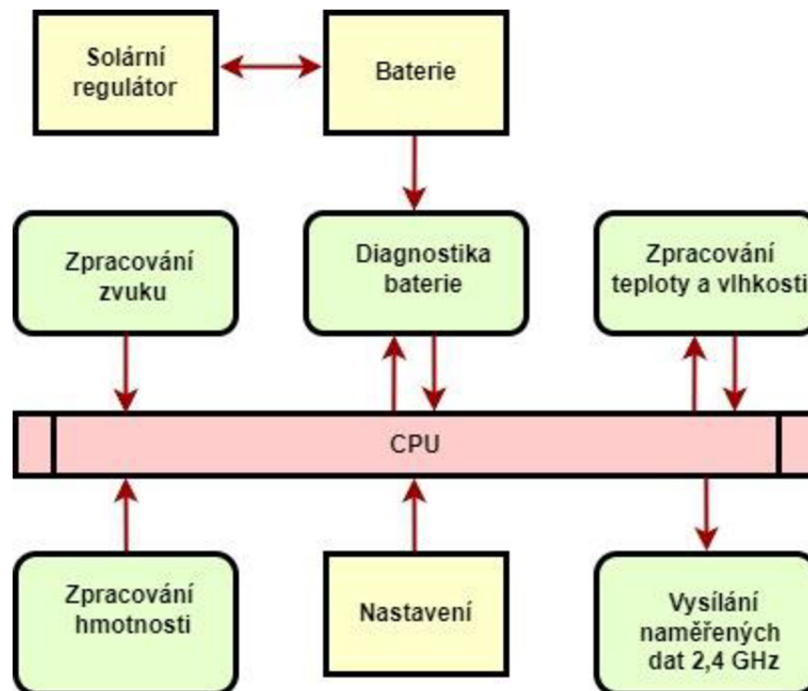
R ... odpor [Ω]
 C ...kapacita [F]

3.3 Návrh zařízení pro analýzu zvuku

Pro analýzu zvuku je potřeba do úlu umístit zařízení, které bude zajišťovat zpracování a rozbor zvuku včetně dalších důležitých údajů z úlu. Tomuto zařízení se bude v této práci říkat měřicí karta. Blokové schéma měřicí karty je zobrazeno na obrázku č. 5. Měřicí karta se skládá z ucelených bloků, které jsou vzájemně propojeny. Naměřené údaje, jako teplota, vlhkost a zvuková analýza, jsou po zpracování řídicím CPU odesílány do GSM brány včelnice.

Zařízení musí být kompaktní, aby se dalo nainstalovat do jakéhokoliv druhu včelího úlu. Použité materiály by měli být přírodní, nebo certifikované pro styk s potravinami.

Obrázek 5 – Blokové schéma měřicí karty



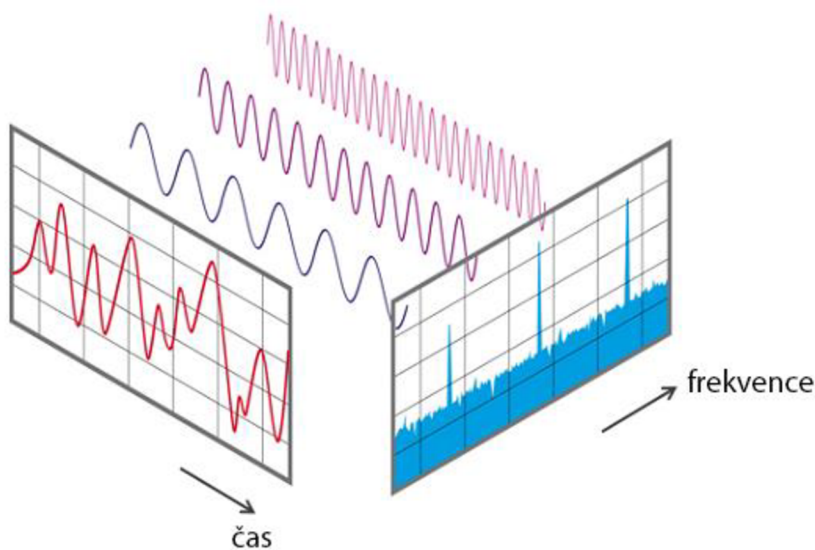
Zdroj: Autor práce

3.3.1 Zpracování zvuku

Pro zpracování celého zvukového spektra je potřeba zvolit dostatečně citlivý mikrofon, jehož pracovní rozsah bude zabírat co nejnižší frekvence. Rojová nálada se odhaduje na 300 Hz až 500 Hz. Zvolený mikrofon by měl být schopný tyto frekvence zpracovat i s dostatečnou rezervou.

Získaná analogová zvuková data, jež budou převedena do digitální formy, budou mít velký objem dat, který pro další zpracování nebude nutný. Řešením může být použití tzv. rychlé Fourierovy transformace (FFT), což je optimalizovaný algoritmus, který počítá tzv. diskrétní Fourierovu transformaci (DFT). Jedná se o měřicí metodu pro měření zvuku a akustiky. Získaný digitální signál převádí na jednotlivé spektrální složky. Signál je vzorkován přesně stanovenou dobu a je rozdělen do frekvenčních složek. Tyto složky jsou jednotlivé sinusové oscilace na různých frekvencích. Každá z těchto složek má svou vlastní amplitudu a fázi, jak je znázorněno na obrázku č. 6 [19].

Obrázek 6 – Pohled na signál v časové a frekvenční oblasti



Zdroj: <https://www.nti-audio.com/>

Algoritmus FFT vyžaduje pro své fungování část analogového signálu. Dalším krokem je stanovení vzorkovací frekvence f_s . Jedná se o počet vzorků získaných za jednu sekundu. Dále se stanoví tzv. délka bloku B_l , která je vždy ve formátu 2^n , kde platí $n \in \mathbb{N}$.

Z těchto dvou základních parametrů lze odvodit další, jako je doba měření D či frekvenční rozlišení d_f . Rovnice těchto parametrů jsou zobrazeny rovnicemi č. 2 a 3 [19].

$$D = \frac{B_l}{f_s} [ms] \quad (2)$$

$$d_f = \frac{f_s}{B_l} [Hz] \quad (3)$$

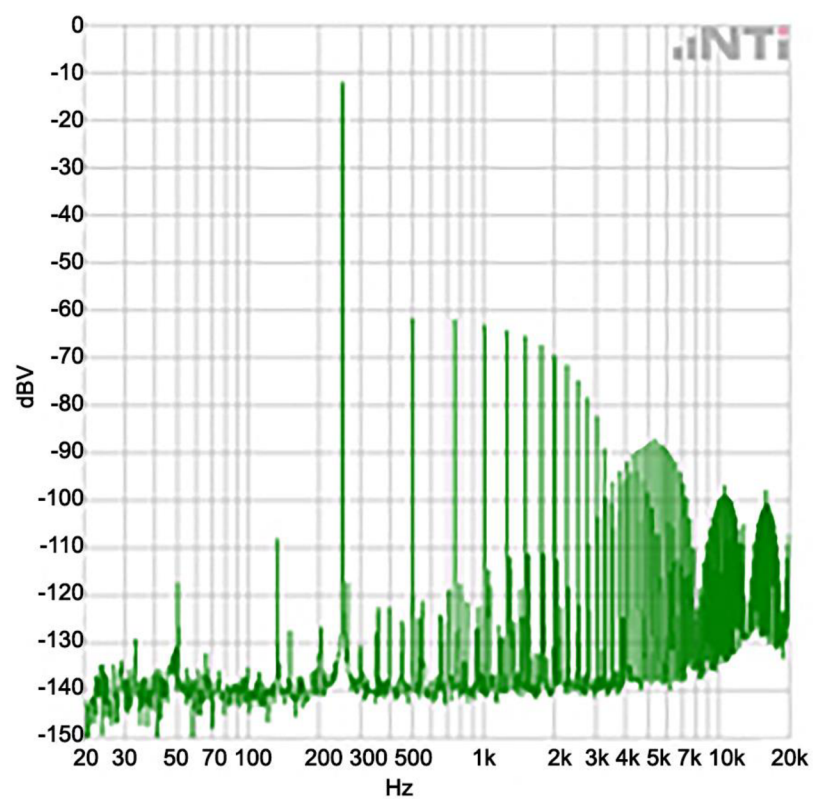
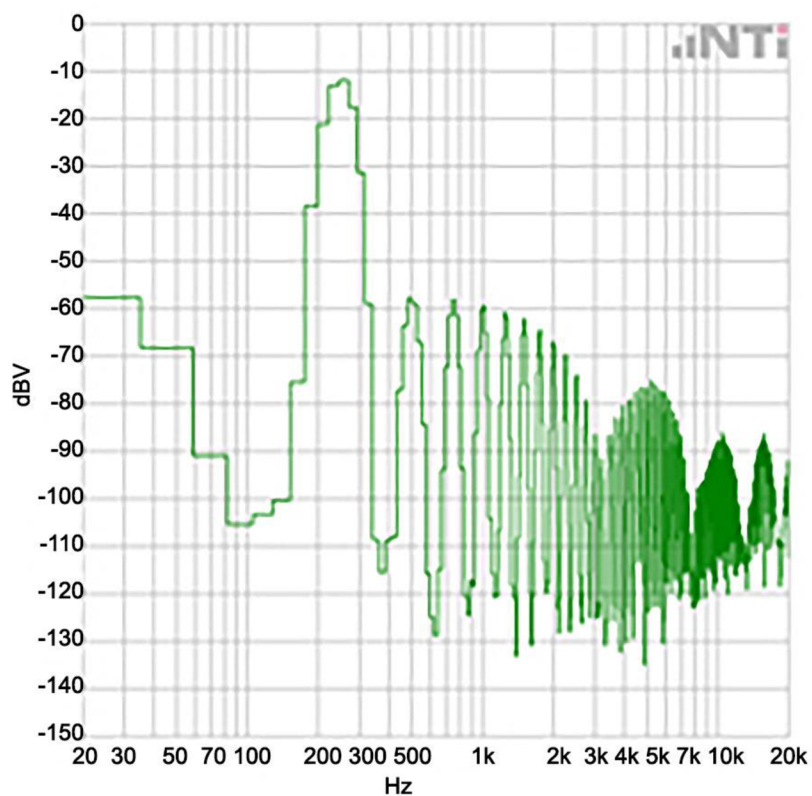
Z f_s můžeme stanovit velice důležitý údaj, a to Nyquistovu frekvenci, a také šířku pásma f_n . Ta udává teoretickou maximální frekvenci pro danou aplikaci, kterou lze použít na FFT dle rovnice č. 4.

$$f_n = \frac{f_s}{2} [Hz] \quad (4)$$

Vzorkovací frekvence f_s bývá pevně daná aplikací. Délkou bloku B_l lze stanovit dobu měření D i frekvenční rozlišení d_f . Malá délka bloku dovoluje rychlé opakování měření, ale hrubé frekvenční rozlišení. Naopak velká délka bloku má pomalejší opakování, ale jemnější rozlišení, jak zobrazuje obrázek č. 7.

Předpokladem FFT je periodicky se opakující signál do nekonečna. Toho nelze při analýze zvuku docílit. Proto je výhodnější zachytit více bloků FFT a vypočítat střední hodnotu metodou aritmetického průměru nebo tzv. exponenciálním průměrem. Při exponenciálním průměru se měří nepřetržitě a počítá se s pevným počtem posledních měření. Každému měření je přiřazena váha měření, která je nepřímo úměrná „stářím“ měření. Tedy čím novější měření zařazené do výpočtu průměru, tím větší váha a opačně [19].

Obrázek 7 – Repräsentace FFT signálu s malou a velkou délkou bloku



Zdroj: <https://www.nti-audio.com/>

3.3.2 Energetická náročnost

Jelikož systém může být provozován i na včelnicích, které nemají přístup k síťovému napájecímu napětí, měl by být optimalizován tak, aby mohl být napájen z alternativního zdroje energie. V našem případě, v rámci jednoduchosti a ceny, budou použity solární panely. Denní energetické výkonnostní špičky ze solárních panelů budou ukládány do záložních akumulátorů, které budou pokrývat spotřebu zařízení v období bez sluneční aktivity (noc, zataženo).

Napětí použitých akumulátorů by mělo odpovídat výstupnímu napětí solárních panelů i použitému zdrojovému napětí celého zařízení. Tím dojde k minimalizaci ztrát na straně převodu solární panel – akumulátor i na straně převodu akumulátor – zařízení. Použité akumulátory by měly mít, vzhledem ke své velikosti, co největší kapacitu. Z těchto důvodů by mohly být použity baterie Li-Pol, Li-Ion, nebo sériově zapojené akumulátory NiCd a NiMh.

Solární panel pro měřicí kartu by měl být co nejmenší a nejodolnější, jelikož bude umístěn na každém úlu, v němž bude probíhat měření, a bude s ním často manipulováno z důvodu zásahu do včelího úlu. Systémovým řešením by bylo umístit ho do variabilního držáku, který bude poskytovat vždy optimální úhel panelu vůči slunci, ať už je úl natočen na jakoukoliv světovou stranu. Tento solární panel by měl přes optimálně dimenzovaný solární regulátor dobíjet akumulátory a v případě nabití je odpojit od solárního panelu.

Součástí měřicí karty by mělo být i zařízení, jež bude průběžně sledovat stav nabití integrovaného akumulátoru. Řídící software by měl být schopný podle naměřených dat upozornit majitele včelnice tehdy, když se úroveň nabití dostane pod minimální stanovenou mez. Tato skutečnost by se v rámci celistvosti měření stát neměla, ale klimatické vlivy mohou zapříčinit i několikadenní zaclonění oblohy.

3.3.3 Propojení měřicích karet s internetem

Spojení měřicích karet s datovým úložištěm může využít několika přenosových protokolů, ať již síť internetu věcí (Sigfox, Lora), tak i síť GSM s protokolem GPRS. Síť jako Wifi a Bluetooth nebyvají na včelnicích, které jsou odlehlé od obytné zástavby, dostupné. Dle tabulky č. 1 je GSM síť proti sítím internetu věcí na tom řádově lépe, a to z hlediska ceny provozu a množství odeslaných zpráv. Další výhodou je zaslání SMS zprávy přímo majiteli včelnice v případě detekce možné rojové nálady, nebo nízké úrovně nabití

akumulátoru a z toho vyplývající možnost vypnutí měřicí karty. Nevýhodou této technologie jsou velké energetické nároky při odesílání dat.

Tabulka 1 – Porovnání sítí pro přenos dat z hlediska finančních nároků

Sítě	Lora	Sigfox	GSM
Cena za 1 zařízení, 1 měsíc s DPH [Kč]	24	21	10
Počet zpráv za hodinu	1,3	5,8	∞
Délka zprávy [B]	240	12	320

Zdroj: Autor práce

Vzhledem k cenám jednotlivých vysílacích modulů v roce 2023, které se pohybují okolo 500 Kč s DPH, je vhodné umístit jeden z těchto vysílacích modulů na včelnici jako hlavní bránu. Měřicí karty jednotlivých úlů potom propojit levným bezdrátovým modulem s tímto řídicím systémem.

Mohou být použity moduly pracující na frekvencích 433 MHz, 868 MHz nebo 2,4 GHz. Vysílání v pásmu 433 MHz je omezeno na 10 mW a pásmo 868 MHz na 25 mW. Tato pásma se používají pro 433 MHz na vzdálenosti do 300 m a pásmo 868 MHz do 600 m. V těchto pásmech vznikají velké problémy vzájemného rušení z důvodu velkého nasazení v různých zařízeních. Přestože má rádiový signál v těchto frekvenčních pásmech nižší útlum, protože využívá nižší frekvence, je možné dosáhnout i vyšší dosahy signálu v porovnání s 2,4 GHz. Zásadním problémem ale může být legislativní omezení vysílacího času přenosu signálu na 1 % (tedy 36 s/hod.). Moduly pracující na frekvenci 2,4 GHz mají podle velikosti antény a použitého integrovaného zesilovače dosah signálů až 1000 m na volném prostranství. Zástavbou ale jejich maximální dosah velmi rychle klesá [11]. Dosah a kvalita signálu je také ovlivňována působením Wifi sítí, které vysílají také na frekvenci 2,4 GHz.

Jelikož nejsou pro naše použití vyžadovány takto velké dosahy signálu a je převážně kladen důraz na proudový odběr a stabilitu, jsou vhodné vysílače v pásmu 2,4 GHz.

3.3.4 Doplnkový systém měření hmotnosti

Pro měření hmotnosti jednotlivých úlů je potřeba počítat s hmotností do 200 kg. Citlivost by měla být minimálně 1 kg. Menší citlivost by mohla zapříčinit nedostatečně

přesné měření. Měřicí systém musí být odolný povětrnostním podmínkám a schopný vypořádat se s poryvy větru, které mohou zapříčinit chybné odečty hmotnosti.

Vhodné se jeví tenzometrické senzory hmotnosti, které mají malý proudový odběr, vysokou přesnost a spolehlivost. Tyto senzory fungují na principu změny odporu při mechanickém namáhání. Nejčastěji se jedná o změnu délky vodiče v senzoru. Standardně nás nezajímá odpor R tenzometru, ale změna tohoto odporu ΔR . Většinou se uvádí koeficient K jako součinitel deformační citlivosti, pro který platí rovnice č. 5. Pro kovové tenzometry nabývá K hodnoty 2, ale může se lišit dle materiálu [17]. Veličina ε je relativní deformace. Dle použitého materiálu na výrobu může být převodní charakteristika lineární nebo nelineární.

$$\frac{\Delta R}{R} = K * \varepsilon \quad (5)$$

ΔR ... změna odporu tenzometru při ohýbání [Ω]

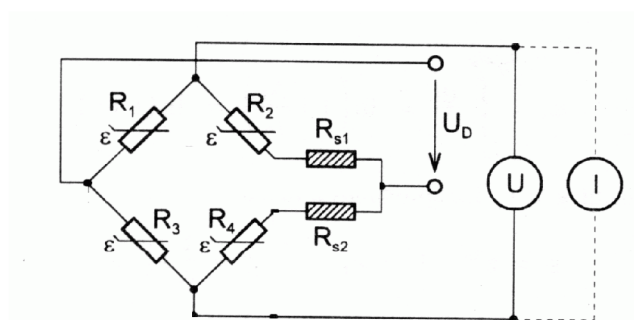
R ... odpor tenzometru [Ω]

K ... součinitel deformační citlivosti tenzometru [-]

ε ... relativní (poměrná) deformace [-]

Vedle těchto základních hodnot je potřeba počítat u tenzometrů i s parazitními aspekty, jako je teplota odporu, vliv okolní teploty prostředí tenzometru a konstanty K . Proti omezení těchto parazitních vlivů se využívá zapojení čtyř aktivních tenzometrů do tzv. plného můstku vyobrazeného na obrázku č. 8.

Obrázek 8 – Plné můstkové zapojení tenzometrů

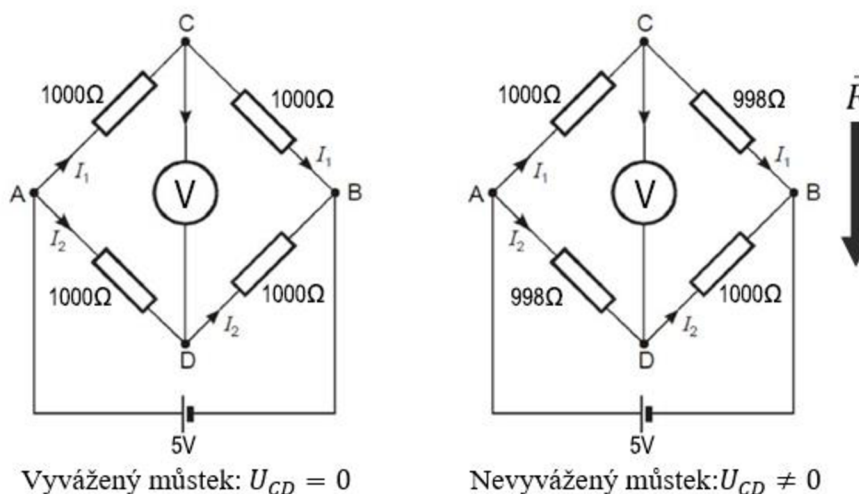


Zdroj: <https://automatizace.hw.cz/>

Plný Wheatstoneův můstek má dva rezistory jako tahové a dva jako tlakové připojené na stejnosměrné napětí, jak zobrazuje obrázek č. 9. Rezistory R_{S1} a R_{S2} jsou tzv. justážní

a používají se jako nastavovací rezistory potřebné při výrobě. Jednotlivé větve se chovají jako děliče napětí a bez zatížení jsou vyvážené a měřené napětí je nulové. V případě zatížení dojde k rozvážení můstku a začne vznikat rozdíl napětí, který změříme a správným převodem získáme i hmotnost předmětu, jež můstek zatížil [17].

Obrázek 9 – Vyvážený a nevyvážený Wheatstoneův můstek



Zdroj: Autor práce

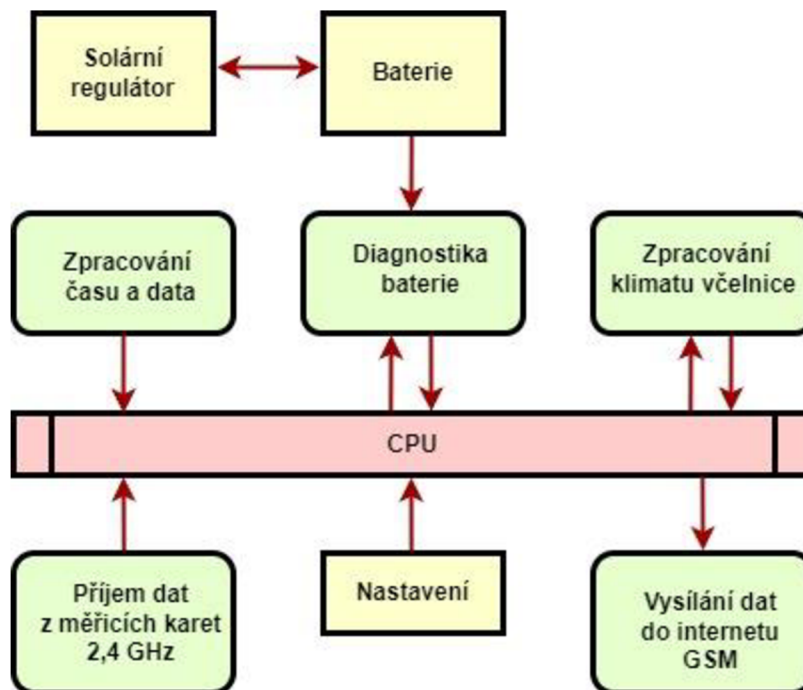
3.3.5 Záznam vnitřního prostředí úlu

Při analýze chování včel některé publikace zmiňují změnu vnitřního prostředí úlu, převážně nárůst teploty při zachování vlhkosti. Tato skutečnost by měla být měřicí kartou zaznamenávána pro pozdější analýzu dat. Včela medonosná uchovává téměř konstantní teplotu v úlu mezi únorem a zářím na 35 °C (Lampeit, 2016). Pokud teplota v úlu dosáhne mezní teploty 40,5 °C, včely opouštějí úl. Vlhkost v úlu je spojená s teplotou ve včelím chomáči. V mezerách mezi plásty je při teplotě 35 °C vlhkost 40 % (Lampeit, 2016). Při vlhkých dnech se v izolovaných úlech sráží vlhkost na strůpku úlu a včely z těchto kapiček vody získávají část své denní spotřeby vody.

3.4 Návrh zařízení pro přenos dat

Jednotlivá naměřená data z úlů se přenesou do internetu pro další zpracování. K tomu bude navržena GSM brána dle blokového schématu na obrázku č. 10.

Obrázek 10 – Blokové schéma GSM brány



Zdroj: Autor práce

Blokové schéma GSM brány obsahuje některé stejné části jako měřicí karta, a to napájecí část a prvky týkající se hardwarového nastavení GSM brány. Oproti blokovému schématu měřicí karty obsahuje navíc blokové schéma GSM brány, blok GSM vysílače a blok zpracování reálného času. Dále zde na frekvenci 2,4 GHz neprobíhá vysílání, ale pouze asynchronní příjem dat z měřicích karet.

3.4.1 GSM komunikace

Přijatá a zpracovaná data z měřicích karet by se měla odesílat do internetu pro další analýzu a prezentaci uživateli. Dle tabulky č. 1 se jeví jako nejvhodnější GSM modul. Tento modul by měl být schopný přepínat mezi telefonním a internetovým připojením. Musí být schopný pracovat na frekvencích, které pokrývají území ČR veřejnými širokopásmovými

mobilními LTE provozovanými v pásmech 800 MHz, 900 MHz, 1800 MHz, 2100 MHz, a musí být schopný trvalého provozu bez výpadků.

3.4.2 Časová značka

Data z měřicích karet neobsahují ani čas vzniku měření, ani datum. Tuto časovou značku, jako datum a čas pořízení, jim přiřadí až GSM brána. Je nutné využít moduly přesného reálného času se zálohovací baterií a teploměrem, který kompenzuje běh krystalu těchto hodin. Tento modul by sice mohl být součástí každé měřicí karty, ale zbytečně by navyšoval cenu celé sestavy. Dále by zvětšoval proudovou zátěž akumulátorů v měřicích kartách a také celkovou velikost zařízení instalovaného do včelího úlu.

3.4.3 Energetická náročnost

GSM moduly mají při vysílání velký proudový odběr, a proto je podle nich potřeba optimalizovat napájecí část. GSM moduly mají spotřebu při vysílání 2 A a při proudových špičkách často trpí na přehřívání. Vzhledem k tomu bude vhodné využít 12V olověný akumulátor s 5V napěťovým stabilizátorem s dostatečnou proudovou zatížitelností. Olověný akumulátor je vhodný z hlediska ceny a kapacity. Napájení by měl zajišťovat dostatečně velký solární panel doplněný indikací stavu nabití akumulátoru. V podzimním a zimním období, ve kterém probíhá léčení včel kyselinou mravenčí, nebudou měřicí karty v úle umístěny. GSM brány budou vypnuty a bez akumulátorů, které by byly ovlivňovány zimním mrazivým obdobím.

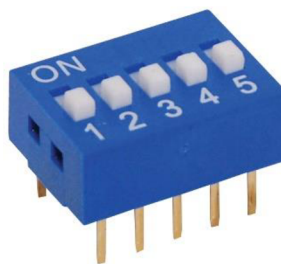
4 Praktická část práce

V praktické části práce jsou popsány jednotlivé komponenty, které byly pro realizaci zařízení vybrány, včetně nejdůležitějších parametrů jednotlivých komponent a návrhy schémat zapojení. Součástí je řešení síťové komunikace mezi měřicí kartou a GSM bránou, ať již po stránce firmwaru jednotlivých mikroprocesorů, tak i po stránce softwaru integrovaného v datovém uložišti na internetu pro příjem naměřených záznamů z GSM brány. V poslední sekci praktické části je naznačena funkce webového portálu, včetně grafického rozhraní pro prezentaci naměřených dat a pohled na zařízení z ekonomického hlediska.

4.1 Hardwarové řešení měřicích karet

Pro implementaci požadovaných funkcí do zařízení je třeba vybrat odpovídající vývojovou desku s dostatečně rychlým CPU a několik dalších samostatných modulů, které budou spojeny na desce plošných spojů. Kromě jednotlivých modulů bude deska plošných spojů obsahovat pěti sekční DIP přepínač, který slouží k hardwarové konfiguraci identifikátoru měřicí karty. Tímto přepínačem, zobrazeným na obrázku č. 11, lze nastavit 2^5 možných kombinací. Tento identifikátor jednoznačně identifikuje určitou měřicí kartu, a tedy i konkrétní včelí úl na včelnici.

Obrázek 11 – DIP přepínač



Zdroj: [https:// www.altronics.com.au/](https://www.altronics.com.au/)

4.1.1 Řídicí CPU

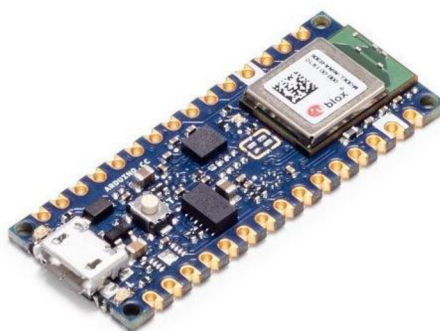
Z důvodu požadavku vysoké vzorkovací frekvence A/D převodníku byla zvolena vývojová deska Arduino Nano 33 BLE, která je zobrazena na obrázku č. 12. Základem této vývojové desky je 32bitový procesor ARM® Cortex™ -M4 běžící na 64 MHz [27]. Tento mikrokontroler má 1MB flash paměť určenou pro program a 256 kB SRAM pro ukládání

proměnných. Dále obsahuje 14 digitálních a 8 analogových vstupů. To dělá v kombinaci s I2C sběrnici ideální mikrokontroler na zpracování velkého objemu dat. A/D převodník je s přesností 2^{12} bitů a zvládá maximální vzorkovací frekvenci 35 kHz. Vyjdeme-li z Nyquistova vzorkovacího teorému, máme maximální vzorkovanou frekvenci 17,5 kHz.

Vývojová deska je plně kompatibilní s předchozími modely Arduino NANO, ale není tolerantní na větší napětí, než 3,3 V. Programování probíhá po sériové lince, kde je deska vybavena převodníkem USB/UART. Deska dále obsahuje integrovaný Bluetooth Low Energy modul.

Deska Arduino Nano 33 BLE má již v sobě integrovaný stabilizátor napětí na 3,3 V. Tento stabilizátor slouží pro programování zařízení pouze v případě napájení přes USB konektor. Nevýhodou této vývojové desky je její cena, která v porovnání s méně výkonnými deskami stojí cca 650 Kč (2023).

Obrázek 12 – Arduino Nano 33 BLE



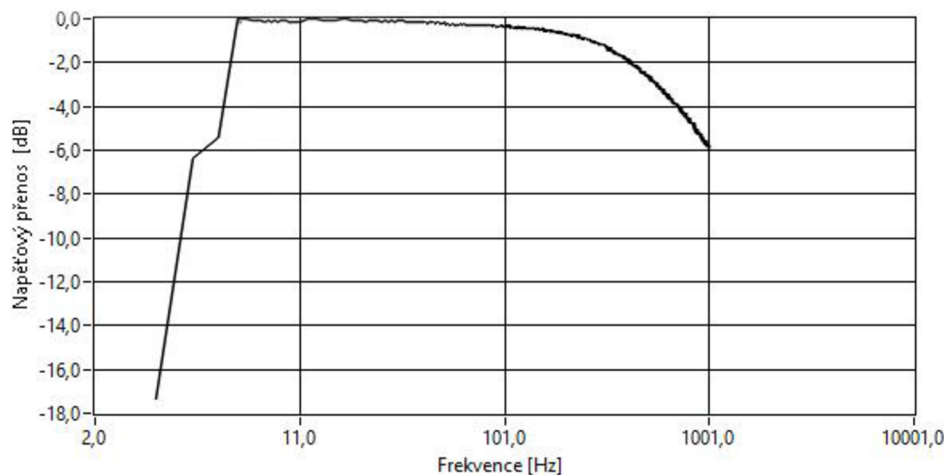
Zdroj: <https://www.laskakit.cz/>

4.1.2 Modul záznamu zvuku

Pro záznam zvuku bude použit modul CMA-4544PF-W od společnosti Adafruit, zobrazený na obrázku č. 13, který vedle elektretového kondenzátorového mikrofónu obsahuje i integrovaný zesilovač zvuku MAX9814 od společnosti Maxim. Tento mikrofón pracuje v rozsahu frekvence od 20 Hz do 20 kHz při THD 0,04 % [13]. Jeho rozměry jsou 26 x 14 x 8 mm a vzhledem k jeho kompaktním rozměrům ho lze použít ve velmi stísněném prostředí měřicí karty. Napájecí napětí je od 2,7 do 5,5 V a proudový odběr činí 3 mA [14]. Tento modul bude připojen do desky plošného spoje přes DuPont lištu. Rozložení připojení jednotlivých pinů zobrazuje tabulka č. 2.

frekvence a přes osciloskop odečítá výstupní napětí. Z poměrů vstupního a výstupního napětí se spočítá přenos a vykreslí amplitudová frekvenční charakteristika. Výsledná amplitudová frekvenční charakteristika, která je zobrazena na obrázku č. 14, potvrzuje správné použití součástek, jež byly vypočteny v rovnici č. 6.

Obrázek 14 – Amplitudová frekvenční charakteristika přenosu



Zdroj: Autor práce

4.1.3 Modul zpracování teploty a vlhkosti

Pro zpracování teploty a vlhkosti existuje mnoho různých senzorů a modulů. Mezi nejčastěji používané senzory teploty a vlhkosti patří senzory typu DHT11. Jedná se o nejlevnější řešení za cenu 57 Kč (2023), kdy se digitální senzor připojuje přes sběrnici 1-Wire. Teplotní rozsah má 0 °C až 60 °C a rozsah vlhkosti 20–90 %. Přesnost tohoto senzoru je ± 2 °C a ± 5 % RH. Tyto údaje jsou pro naše použití nedostatečné. Praktičtější je použít senzor vnitřního prostředí úlu s čipem HTU21D, který v sobě kombinuje přesný teploměr a velmi přesný vlhkoměr přístupný přes sběrnici I2C. Tento vlhkoměr měří s přesností ± 2 % v rozsahu 5–95 % RH. Teploměr má přesnost $\pm 0,3$ °C v rozsahu -40 °C až 125 °C a celkové rozměry jsou 12 x 10 mm. Napájení je možné 3,3V nebo 5V při 1,5 μ A [21].

Obrázek 15 – Senzor HTU21D



Zdroj: <https://www.dratek.cz/>

Připojení senzoru využívá sběrnici I2C, jak je zobrazeno na obrázku č. 15. Sběrnice I2C podporuje až 128 různých zařízení na stejné dvou žilové sběrnici. Jedná se o velice populární sériovou komunikaci v digitálních zařízeních využívající jeden datový kanál, označovaný jako SDA pro data a jeden kanál SCL, který tvoří hodinový signál. Piny GND a VIN se připojují na napájecí napětí.

4.1.4 Napájecí soustava

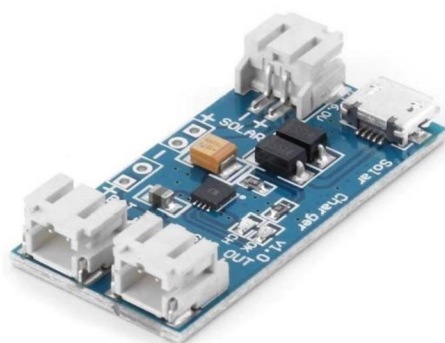
Napájení měřicí karty budou zajišťovat dva akumulátory Li-ion 18650 o nominálním napětí 3,7 V a kapacitě 9800 mAh, které budou zapojeny paralelně. Ty jsou umístěny v bateriovém boxu pro 3 baterie 18650 rozměru 75 x 65 x 15 mm. Jedna pozice baterie zůstane volná a v případě potřeby může být doplněna. Vždy je nutné dodržet základní podmínky na spojování akumulátorů, jako je použití stejného typu akumulátoru se stejným nominálním napětím, kapacitou a ideálně i vnitřním odporem. V případě nedodržení těchto podmínek může docházet k větší proudové zátěži jednoho z akumulátorů vzhledem k ostatním a vést k nerovnoměrnému vybíjení a zkrácení životnosti akumulátorů [15].

Baterie jsou dobíjeny ze solárního monokrystalického panelu rozměru 142 x 85 x 10 mm. Monokrystalická verze byla zvolena z důvodu využití panelu pouze během léta, kdy monokrystalické panely mají o cca 2 % lepší účinnost oproti polykrystalickým. Tento panel dodává dle výrobce 400 mA při 5 V. Panel je uložen do držáku vytisknutého na 3D tiskárně z materiálu PLA, který má v sobě závit pro zašroubování neodymového magnetu se závitovým čepem M6. Panel je připojen do měřicí karty pomocí kabelu 2 x 0,75 mm² s PVC izolací jak pro jednotlivé žíly, tak i pro celý kabel. Označení kabelu je H03VVH2-F.

Mezi solární panel a Li-ion baterie je vložen 0,5A solární regulátor CN3065, který je zobrazen na obrázku č. 16 ve verzi 1S s výstupním napětím 3,7 V. Vstupní napětí je mezi

4,4 V a 6 V. Tento regulátor je určen pro nabíjení Li-ion akumulátorů s použitím konstantního nabíjecího napětí $4,2\text{ V} \pm 1,5\%$. Nemá nadproudovou ani zkratovou ochranu, ale tyto nedostatky kompenzuje jeho cena 38 Kč (2023) a rozměry 40 x 20 x 7,5 mm. V případě plného nabití Li-ion baterie je zajištěno odpojení od solárních panelů jeho vnitřním zapojením. Kromě konektorů typu JST-PH-2P 2,0 mm pro připojení baterie, zátěže a solárního panelu má i mikro-USB konektor, kterým lze solární panel nahradit [24].

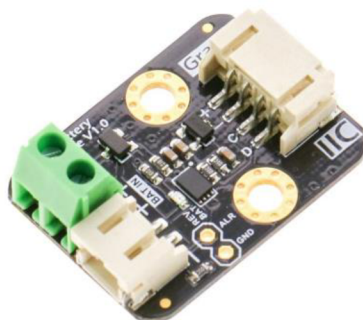
Obrázek 16 – Solární regulátor CN3065



Zdroj: <https://www.drateg.cz/>

Stav akumulátoru sleduje modul Gravity DFR0563 společnosti DFRobot, který je zobrazen na obrázku č. 17. Jedná se o modul postavený na čipu MAX17043 společnosti Maxim. Ten slouží ke sledování stavu Li-ion baterie v reálném čase. Čip využívá sofistikované schéma modelování baterií společnosti Maxim pod obchodním označením ModelGauge™. Čip kombinací zmíněného algoritmu relativního nabití akumulátoru a přímého A/D měření napětí akumulátoru je schopen poskytnout údaje o úrovni nabití akumulátoru. Napájecí napětí modulu je 3,3–6 V při 50 μA . Úroveň vstupního napětí baterie je 2,5–4,2 V a rozměr 22 x 30 mm. Pro připojení akumulátoru modul obsahuje na jedné straně konektor typu JST-PH-2P 2,0 mm a svorkovnici pro připojení ze solárního regulátoru. Na straně druhé je vyveden konektor JST-PH-4P, který zajišťuje připojení napájecího napětí pro modul a I2C komunikaci s řídicím CPU.

Obrázek 17 – Modul Gravity DFR0563



Zdroj: [https:// cz.farnell.com/](https://cz.farnell.com/)

Výstupní napájení napětí 3,7 V celé této napájecí kaskády je přivedeno na pozitivní lineární napěťový regulátor v TC1262-3.3VDB v pouzdře SOT223 společnosti Microchip s pevným výstupním napětím 3,3 V. Tento napěťový regulátor byl zvolen záměrně, jelikož rozdíl vstupního napětí 3,7 V a požadovaného napětí 3,3 V je velmi malý a nelze použít běžné regulátory typu LM7803 apod., které vyžadují minimálně 1,5 V rozdíl vstupního a výstupního napětí. Proudová zatížitelnost napěťového regulátoru 500 mA je dle výpočtu v tabulce č. 3 dostatečná pro použití v měřicí kartě. V pouzdře SOT223 je s rozměry 6,6 x 7,0 x 1,7 mm přímo předurčený pro použití v drobné elektronice [29].

Tabulka 3 – Výpočet proudové zátěže regulátoru měřicí karty

Funkce	I_{max} [mA]
Řídicí CPU	15,000
Zpracování zvuku	3,100
Solární regulátor	4,000
Stabilizátor	1,000
Senzor baterie	0,050
Senzor v prostředí úlu	0,002
Tenzometrický systém	1,500
2,4 GHz modul	11,300
celkem	35,952

Zdroj: Autor práce

Důležitou součástí napájení měřicí karty bude vhodné zvolení periody měření T_m . Pokud bude perioda T_m velmi malá, bude docházet k velmi rychlému vybíjení akumulátorů. Je tedy vhodné zvolit takovou periodu T_m , aby dostatečně pokryla nastupující rojovou náladu a zároveň byla ve sledu s co nejdelší životností provozu na akumulátor.

Vyjdeme-li z naměřených hodnot $I_s = 7,9$ mA a $I_p = 13,8$ mA s dobou trvání $t_p = 2$ s a z požadavku periody vzorkování T_m v délce 300 s, vychází dle rovnice č. 7 celková spotřeba zařízení 7,94 mA.

$$S_z = \frac{I_s \cdot (T_m - t_p) + I_p \cdot t_p}{T_m} \quad (7)$$

S_z ... celková spotřeba zařízení [mA]
 I_s ... hodnota proudu v režimu spánku [mA]
 I_p ... hodnota proudu při analýze zvuku a odesílání dat [mA]
 T_m ... perioda vzorkování [s]
 t_p ... doba pracovního cyklu [s]

Dosazením S_z do rovnice č. 8 a použitím dvou akumulátorů o kapacitě 9800 mAh vychází doba provozuschopnosti zařízení bez dobíjení přibližně 103 dní.

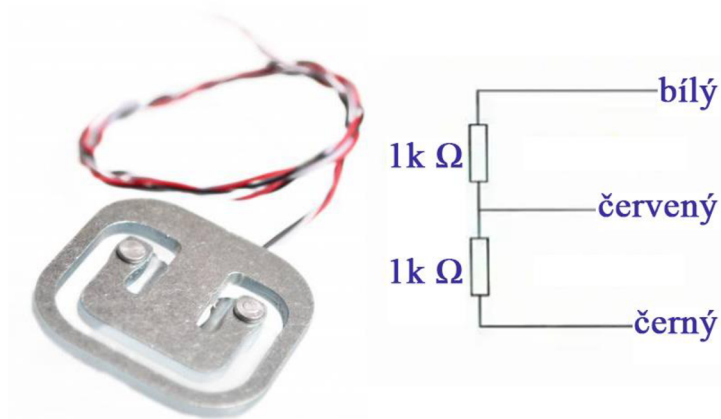
$$T = \frac{B_p \cdot B_c}{24 \cdot S_z} \quad (8)$$

T ... doba provozu bez dobíjení [den]
 S_z ... celková spotřeba zařízení [mA]
 B_p ... počet použitých akumulátorů [-]
 B_c ... kapacita akumulátoru [mAh]

4.1.5 Tenzometrické zpracování hmotnosti

Pro záznam aktuální hmotnosti včelího úlu budou použity z důvodu nižší ceny hmotnostní senzory. Každý z těchto senzorů je tzv. poloviční tenzometrický můstek se zatížitelností 50 kg. Jedná se o třívodičový senzor o rozměrech 34 x 34 x 8 mm, který je zobrazený na obrázku č. 18, s vnitřním odporem $2 \times 1k\Omega \pm 1\%$. Tyto senzory mají pracovní teplotu od -10 °C do 65 °C. Kombinovaná chyba je $0,2\%$ rozsahu [20].

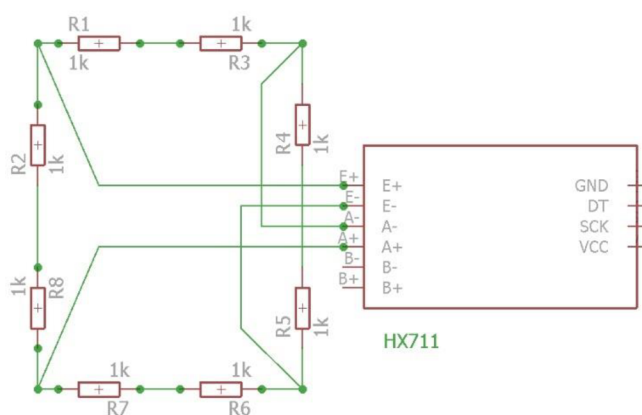
Obrázek 18 – Váhový senzor



Zdroj: <https://www.drateg.cz/>

Tyto aktivní tenzometrické senzory budou zapojeny do plného můstku, tzv. Wheatstonova můstku, bez pomocných odporů. Wheatstonův můstek vyžaduje 2 kusy použitých tenzometrických senzorů, ale vzhledem k požadavku na větší nosnost budou použity 4 kusy. Změna ΔR je velmi malá, a proto bude pro co nejpřesnější kvantování signálu na výstup umístěn A/D převodník. Z důvodu požadavku na napájecí napětí 3,3 V byl vybrán 2kanálový 24bitový převodník HX711 [12], který s doplněnými pomocnými pasivními součástkami má jako modul rozměry 35 x 22 mm. Zapojení je vyobrazeno na obrázku č. 19. Vodiče E+ a E- jsou napájecí a vodiče A+ a A- jsou měřicí.

Obrázek 19 – Propojení tenzometrů s HX711



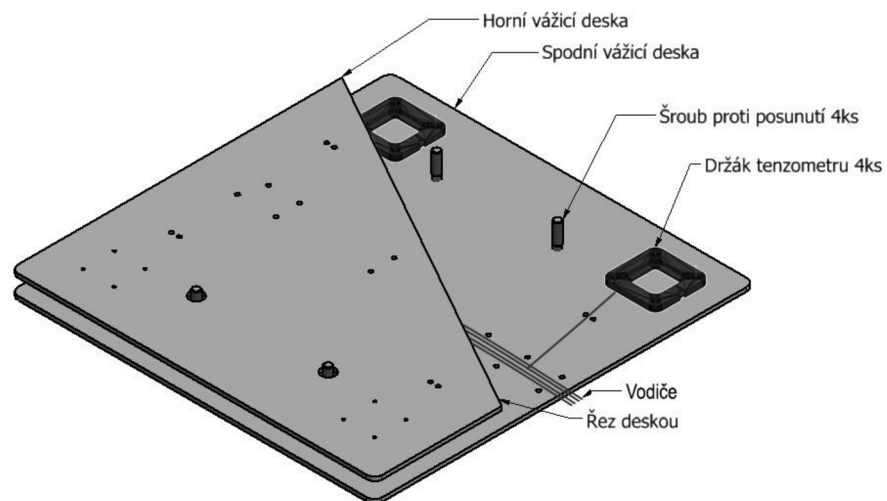
Zdroj: Autor práce

Přestože jsou tenzometry velice náchylné na teplotní výkyvy, a to v řádů desetin procent, je tato chyba pro naše použití zanedbatelná. Zapojením tenzometrů do můstku jsou teplotní vlivy kompenzovány. Při naší aplikaci sledujeme skokovou změnu hmotnosti

váženého předmětu, nikoliv lineární změnu hmotnosti v závislosti na změně teploty nebo na tzv. tečení senzoru. Převodník HX711 se připojuje k vývojové desce přes sériové rozhraní, které využívá piny SCK (pin D7) a DT (pin D8).

Rozmístění tenzometrů pro zpracování hmotnosti pod včelím úlem je zobrazeno na obrázku č. 20. Desky pod úlem jsou z důvodu nízké hmotnosti a odolnosti na povětrnostní vlivy vyrobeny z hliníku. Rozměry desek jsou 490 x 470 x 5 mm. Tento rozměr byl zvolen tak, aby na desky mohly být umístěny všechny běžné rozměry včelích úlů. Každá ze dvou desek váží 3 kg a je nutné s touto váhou počítat pro případné přetížení nosnosti tenzometrů. Desky jsou naddimenzované na celkové zatížení do 300 kg. Za nepříznivých povětrnostních podmínek je potřeba zajistit proti svévolnému posunutí tyto hliníkové desky mezi sebou pomocí jisticích šroubů, jak ukazuje obrázek č. 20. Po vyříznutí závitů do vypálených děr o průměru 8,5 mm lze použít proti posunu nerezové šrouby M10x30x1,5. V hliníkové desce jsou ještě dírký o průměru 3,4 mm, které slouží pro vyříznutí závitů M4x0,7. Do těchto dírek se pomocí šroubů M4x15 se zapuštěnou hlavou šroubují redukční vložky vytisknuté na 3D tiskárně z materiálu PLA, které jsou určené pro uložení vážících senzorů. Podklady pro 3D tisk těchto vložek jsou součástí přílohy této práce. Ostatní dírký ve vážící desce slouží pro přichycení vodičů mezi jednotlivými tenzometry. Tenzometry jsou po propojení na vážící desce připojeny do měřicí karty kabelem 4x 0,25 mm² s konektorem USB-B, dle zapojení na obrázku č. 19.

Obrázek 20 – Uspořádání vážící desky



Zdroj: Autor práce

4.1.6 Vysílání v pásmu 2,4 GHz

Bezdrátový přenos mezi měřicími kartami a GSM bránou zajišťují komunikační čipy nRF24L01 značky Nordic Semiconductor. Společnost Nordic Semiconductor se zaměřuje na bezdrátovou komunikaci s nízkou spotřebou elektrické energie. Komunikační rozhraní modulu je SPI. Pracovní frekvence těchto bezdrátových modulů je 2,4 GHz při maximální rychlosti 2 Mbps. Ta je pro použití na měřicí kartě dostatečná, stejně tak i teoretický dosah 100 m. Dosah signálu je závislý na použité verzi modulu s tímto čipem a také na umístění a stínění prostředí. Tyto komunikační čipy se připojují přes sběrnici SPI, což je tzv. sériové periferní rozhraní. Strukturu propojení bezdrátového čipu a vývojové desky Arduino ukazuje tabulka č. 4.

Tabulka 4 – Propojení nRF24L01 s Arduino BLE 33

nRF24L01 (piny)		Arduino BLE 33 (piny)
1 GND	-	GND
2 VCC	-	VCC (3,3V)
3 CE	-	D9
4 CS	-	D10
5 SCK	-	D13
6 MOSI	-	D11
7 MISO	-	D12
8 IRQ	-	nezapojeno

Zdroj: Autor práce

Čipy nRF24L01 se používají se třemi druhy antén, a to integrovanou, odpojitelnou a odpojitelnou se zesilovačem, které jsou zobrazeny na obrázku č. 21.

Obrázek 21 – Moduly nRF24L01



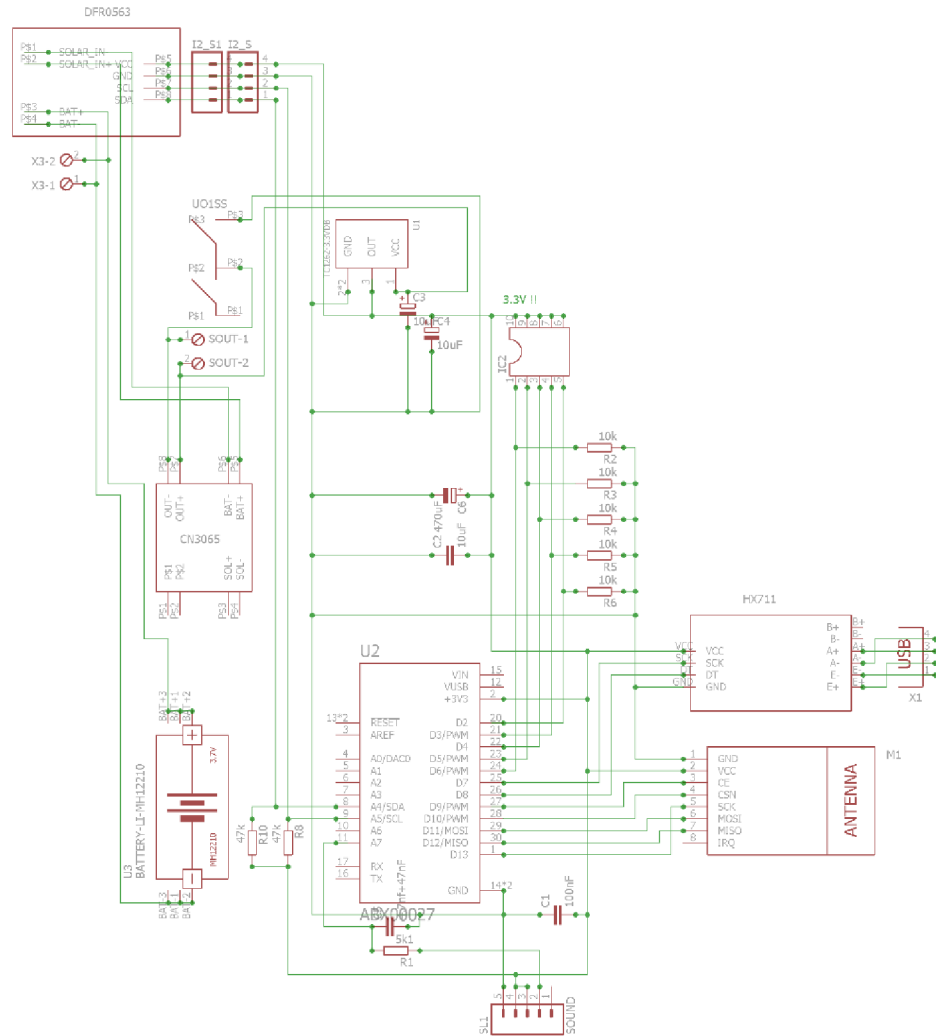
Zdroj: <https://howtomechatronics.com/>

Pro aplikaci v systému se solárním napájením je vhodné použít verzi s integrovanou anténou z důvodu velmi nízkého proudového zatížení při vysílání dat. Proudové zatížení je dle údajů výrobce 11,3 mA a rozměr modulu 28 x 15 x 13 mm [11]. Mezi další výhody patří cena a minimální rozměr vzhledem k integrované anténě. Tyto čipy ve svém přenosovém protokolu mají omezení přenášení dat na 32 bytů a je nutné počítat s tím při návrhu firmwaru řídicí karty.

4.1.7 Zapojení a použití měřicí karty

Pro výše uvedené vybrané moduly bylo vypracováno schéma zapojení, které je uvedené na obrázku č. 22. Hlavním blokem v tomto schématu je CPU, v našem případě Arduino Nano 33 BLE označené jako U2. K němu je přivedena napájecí větev s napětím 3,3 V z regulátoru TC1262. Napájení je doplněno několika kondenzátory, a to jak na vstupní straně regulátoru, tak i na straně výstupní. K CPU je připojen pinem A7 výstup z mikrofonu SL1, který prochází dolní propustí tvořenou rezistorem R1 a kondenzátorem C5. Piny D9 až D13 jsou vyvedeny do konektoru M1 a využity pro připojení 2,4 GHz modulu NRF sběrnice SPI. Z důvodu velkého kolísání při vysílání je hned u modulu připojen v napájecí větvi ještě doplňkový kondenzátor C1. Piny D7 a D8 se připojuje modul HX711, jež plní funkci přesného A/D převodníku pro doplňkový tenzometrický systém. Tenzometrický systém se připojuje přes USB-B konektor zobrazený ve schématu jako X1. Do konektoru I2_S1 a I2_S2 jsou vyvedeny piny A4 a A5, které zde plní funkci pinů sběrnice I2C. U měřicí karty se připojuje do konektoru I2_S1 senzor HTU21D a do I2_S2 modul Gravity DFR0563. Oba piny jsou opatřeny rezistory R8 a R10, které plní funkci tzv. pull-up rezistorů pro I2C komunikaci. Funkci tzv. pull-up rezistorů plní i rezistory R2-R6 u 5 sekčního DIL přepínače označeném ve schématu jako IC2. Označení U3 ve schématu zobrazuje připojovací svorky akumulátorů. Dále je ve schématu označení UO1SS, což je hlavní přepínač, který slouží k vypnutí zařízení.

Obrázek 22 – Zapojení měřicí karty



Zdroj: Autor práce

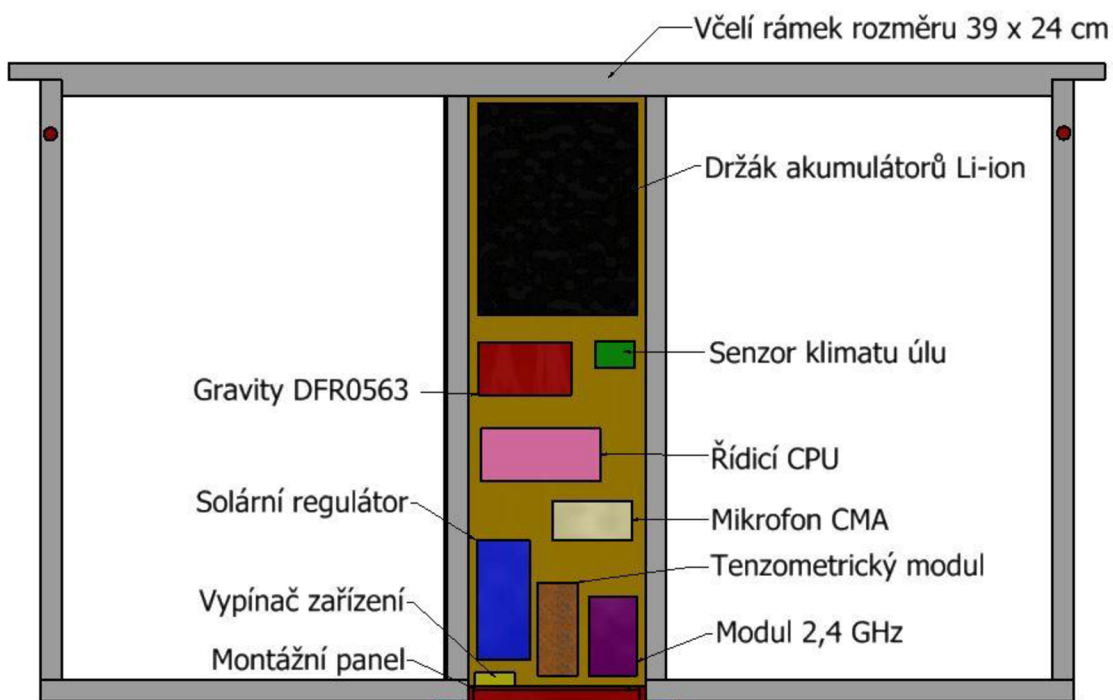
Schéma zapojení bylo zpracováno v programu Eagle společnosti CadSoft. Tento program slouží ke kreslení schémat a tvorbu plošných spojů a je také schopný generovat podklady pro jejich samotnou výrobu. Výsledný rozměr jednovrstvé desky plošného spoje je 65 x 159 mm.

Vzhledem k využití měřicí karty uvnitř včelího úlu bylo nutné dodržet maximální možné rozměry karty tak, aby bylo možné měřicí kartu do úlu umístit. V České republice jsou ve včelařské komunitě nejrozšířenější úly typu Čechoslovák a Tachovský. Ty využívají tzv. Adamcovu míru včelích rámků s rozměry 39 x 24 cm. Z tohoto rozměru vychází i rozmístění jednotlivých komponent uvnitř měřicí karty, jak zobrazuje obrázek č. 23. Měřicí kartu lze bez problémů vložit do včelího rámků Adamcovy míry.

Přední a zadní strana je vyrobena z lineárního polyethylenu PE-HD. Ten má certifikaci pro styk s potravinami a v tloušťce 2 mm je velmi dobře zpracovatelný na gravírovacím laseru. Při řezání těchto krycích desek byla přední strana doplněna drážkami pro průchod vzduchu měřicí kartou a otvory nad mikrofonem pro lepší prostup zvuku. Na spodní straně měřicí karty je umístěn montážní panel s otvory pro hlavní vypínač a konektory na připojení doplňkových periférií. Tento montážní panel je vytisknut na 3D tiskárně z materiálu PLA, který je také zdravotně nezávadný a biologicky odbouratelný. Montážní panel se spodní a horní krycí deskou se šroubuje do dřevěného rámu včelího rámků šrouby se zapuštěnou hlavou Torx o rozměru M3x8.

V panelu je umístěn hlavní vypínač, který odpojuje řídicí CPU a na něj vázané komponenty. Část zařízení zajišťující dobíjení akumulátoru, jako např. solární regulátor, je stále v provozu, aby bylo možné nabíjet akumulátory i při vypnutém zařízení. Dále se zde nachází DC souosý konektor do panelu rozměru 5,5/2,1 mm. Do tohoto konektoru se připojuje solární panel, který zajišťuje dobíjení akumulátorů v měřicí kartě. Je zde umístěn čtyřpinový konektor na připojení doplňkového kontrolního tenzometrického systému typu USB-B.

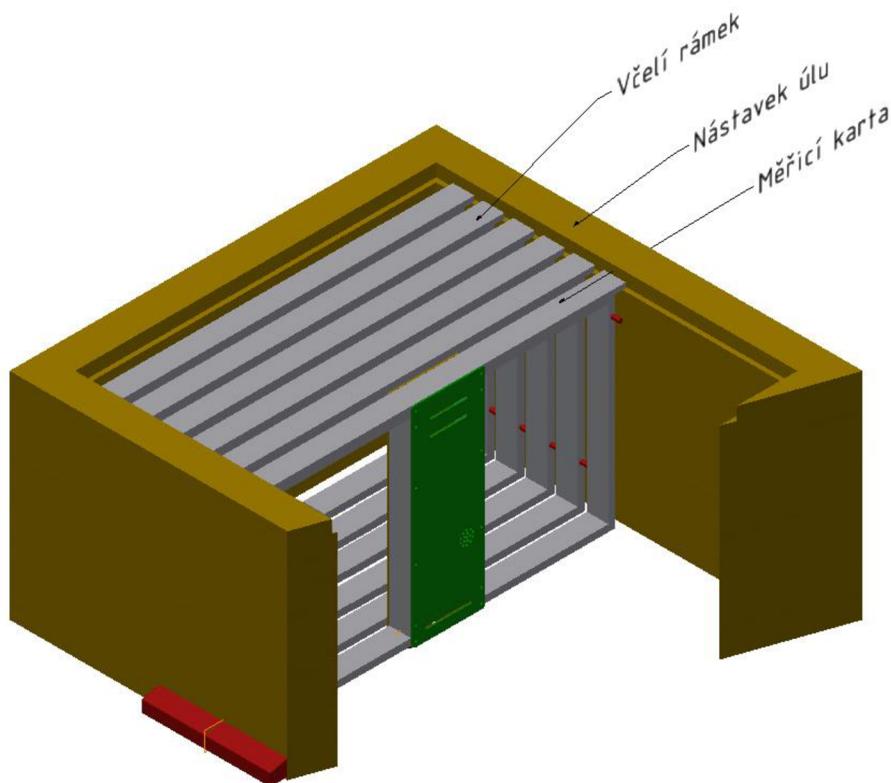
Obrázek 23 – Rozmístění uvnitř měřicí karty



Zdroj: Autor práce

Na obrázku č. 24 je ukázka použití měřicí karty přímo v nástavku včelího úlu. Umístění by mělo být v nejspodnějším patře na středu plodového tělesa. Do měřicí karty lze připojit jak solární panel pro dobíjení, tak i vážicí tenzometrické desky.

Obrázek 24 – Použití měřicí karty



Zdroj: Autor práce

4.2 Hardwarové řešení GSM brány

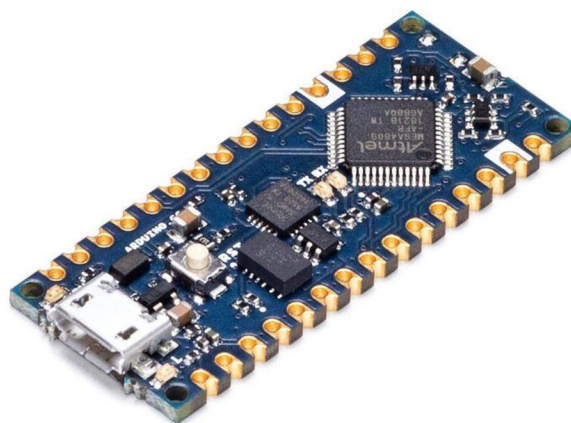
Pro měřicí bránu byl použit dostatečně velký plastový box, který je vhodný k umístění ve venkovním prostředí. GSM brána musí ve svém obalu odolat povětrnostním podmínkám, jako je přímý svit letního slunce nebo velký letní liják. Vzhledem k použití 12V olověného akumulátoru je vhodná plastová krabice osvědčené značky GEWISS s typovým označením GW44208 s vnějšími rozměry 240 x 190 x 90 mm a krytím IP56.

Pro propojení jednotlivých komponent je navrženo schéma zapojení včetně DPS rozměrů 72 x 87 mm, které je součástí přílohy této práce.

4.2.1 Řídicí CPU

Pro obsluhu GSM brány a jednotlivých částí byl zvolen čip ATmega4809. Tento čip vychází z konstrukce svého předchůdce ATmega328, ale oproti němu má o 50 % větší programovou paměť a o 200 % větší paměť SRAM. Jelikož získaná data z měřicích karet jsou ukládána průběžně do vyrovnávací paměti a až poté odeslána jako komprimovaný balík dat, je potřeba paměť SRAM co největší. Procesor pracuje na frekvenci 20 MHz. Vývojová deska Arduino Nano Every je zobrazena na obrázku č. 25. Integrovány jsou standardně používané sběrnice SPI, I2C, UART. Napájecí napětí vývojové desky činí 7–21 V při použití integrovaného stabilizátoru a zatížitelnosti jednotlivých pinů 20 mA [28].

Obrázek 25 – Vývojová deska Arduino Nano Every

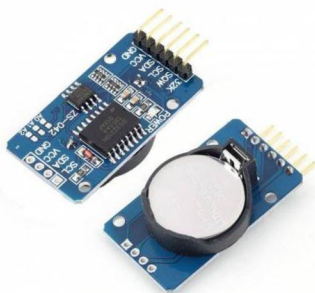


Zdroj: <https://www.drateg.cz/>

4.2.2 Modul reálného času

Jako modul reálného času je vhodný modul RTC DS3231, který je zobrazený na obrázku č. 26. Tento modul je postaven na čipu DS3231 s integrovaným krystalovým oscilátorem, který je teplotně kompenzovaný. Dále je na modulu integrována EEPROM paměť v čipu AT24C32 s kapacitou 32 kB. Celé zařízení je vybaveno držákem zálohovací baterie typu LIR2032, která slouží jako zdroj napětí při odpojení napájecího napětí. Provozní napětí je 3,3–5 V při 4,5 mA a rozměry modulu jsou 38 x 28 x 14 mm. Propojení s řídicím CPU probíhá přes sběrnici I2C, jak ukazuje tabulka č. 5.

Obrázek 26 – Modul reálného času



Zdroj: <https://www.dratek.cz/>

4.2.3 Modul zpracování klimatu

Přes I2C sběrnici se k vývojové desce Every připojí senzor BME280, který je zobrazen na obrázku č. 27. Tento senzor působí jako přesný teploměr, vlhkoměr a senzor barometrického tlaku. Teplotu měří s rozsahem $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ až $85\text{ }^{\circ}\text{C}$ při přesnosti $\pm 1\text{ }^{\circ}\text{C}$ a vlhkost $0\text{ }\%$ až $100\text{ }\%$ s přesností $\pm 3\text{ }\%$. Výborných parametrů dosahuje i provozní rozsah pro tlak, jež je $30\text{--}110\text{ kPa}$ při přesnosti $\pm 1\text{ Pa}$. Napájecí napětí je $1,8\text{--}5\text{ V}$ a maximální proud 1 mA . Jedná se o velmi malý modul s rozměry $14 \times 10\text{ mm}$ [30].

Obrázek 27 – Modul BME280



Zdroj: <https://www.dratek.cz/>

Modul reálného času a modul zpracování klimatu se připojí k vývojové desce Arduino Every přes I2C sběrnici pomocí pinů, jak je znázorněno v tabulce č. 5.

Tabulka 5 – Propojení DS3231 a BME280 s vývojovou deskou

DS3231 (piny)		Arduino EVERY (piny)		BME280 (piny)
1 GND	-	GND	-	2 GND
2 VCC	-	VCC (3,3 V)	-	1 VIN
3 SDA	-	A4	-	4 SDA
4 SCL	-	A5	-	3 SCL

Zdroj: Autor práce

Pro modul klimatu byl vytisknut metodou 3D tisku z materiálu PLA speciální držák, který zajišťuje proudění vzduchu kolem senzoru a současně zabraňuje prostupu nadměrné vlhkosti do celého zařízení GSM brány. Tento držák je součástí přílohy B.

4.2.4 Napájecí soustava

K napájení GSM brány byl vybrán 12V akumulátor značky MHPower s kapacitou 9 Ah, typ MS9-12. Jedná se o bezúdržbový akumulátor, který může pracovat v jakékoliv poloze. Rozměry daného akumulátoru jsou 151 x 65 x 94 mm a hmotnost 2,5 kg. Vzhledem k těmto rozměrům jej lze snadno vestavět do plastového boxu. Připojení akumulátoru je zajištěno konektory Faston o rozměru 4,8 mm [22].

Akumulátor je dobíjen polykrystalickým solárním panelem 12 V/20 W při rozměrech 500 x 350 x 25 mm. Tento panel je umístěn v duralovém nosném rámu a doplněn kovovou konstrukcí pro lepší manipulaci, jak je zobrazeno v příloze E této práce. Propojení panelu se solárním regulátorem umístěným v boxu GSM brány zajišťuje kabel 2 x 1,5 mm² s gumovou izolací EPR ať již pro jednotlivé žíly vodiče, tak i pro celý kabel. Použitý kabel nese označení H05RR-F. Průchod kabelu přes plastový box GSM brány zajišťuje bílá kabelová průchodka typu PG 11.

Solární panel se k akumulátoru připojuje přes PWM solární regulátor značky Epever. Regulátor s typovým označením LS1024E umístěný v boxu GSM brány je konstruován pro maximální výkon 240 W při jmenovitém napětí 12,24 V. Maximální výstupní proud je 10 A. Regulátor disponuje čtyřmi LED diodami, určujícími stav nabití akumulátoru, a dvěma LED diodami pro signalizaci stavu regulátoru. Regulátor má 6 připojovacích svorek, jak je zobrazeno na obrázku č. 28. Dvě svorky jsou určeny pro solární panel, dvě svorky pro akumulátor a poslední dvě pro samotnou zátěž. Vzhledem k ceně a spolehlivosti tohoto regulátoru je vhodný k použití pro naši aplikaci.

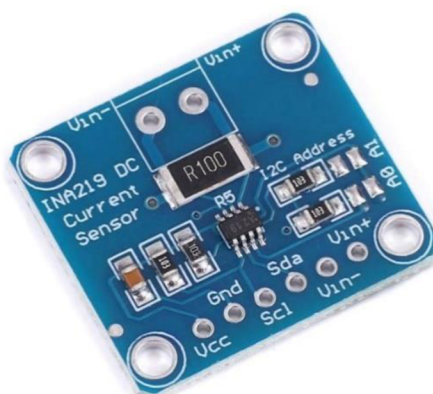
Obrázek 28 – PWM solární regulátor



Zdroj: <https://www.ecoprodukt.cz/>

Měření napětí akumulátoru a aktuální proudový odběr zajišťuje v GSM bráně proudový snímač INA219. Jedná se o čip společnosti Texas Instruments, který je schopný měřit kladný i záporný proud do 3,2 A, a napětí ± 26 V. Tento čip je osazen na modulu zobrazeném na obrázku č. 29. Umístěním tohoto modulu mezi solární regulátor a akumulátor GSM brány je možné pomocí CPU určit nejen úroveň protékajícího proudu, ale i směr toku proudu, ať kladný proud ze solárního panelu do akumulátoru, tak i záporný proud z akumulátoru do GSM brány. Modul měřený proud přepočítává jako úbytek napětí na bočníku. Napájecí napětí je 3,3–5,5 V při proudovém odběru 0,1 μ A. Rozlišení je 12 bitů a přesnost 1 % [25]. K vývojové desce Arduino Every se připojuje přes I2C sběrnici.

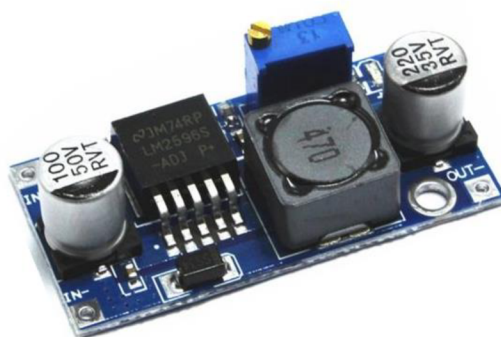
Obrázek 29 – Proudový senzor INA219



Zdroj: <https://www.laskakit.cz/>

Napětí akumulátoru 12 V je upraveno neizolovaným step-down měničem na požadovaných 5 V, který je zobrazený na obrázku č. 30. Jedná se o impulzní měnič s řídicím obvodem LM2596S. Tento měnič je plynule nastavitelný pomocí potenciometru v rozmezí 3–33 V při vstupním napětí 4,5–35 V. Vzhledem ke svým kompaktním rozměrům 40 x 22 x 14 mm ho lze velmi lehce vestavět do zařízení. Výstupní výkon je 15 W bez využití chladiče při účinnosti 92 %. Maximální proud při výstupním napětí 5 V činí tedy 3 A [23]. Tato maximální zatížitelnost je dostatečná pro celkový proud GSM bránou I_{max} vypočtený v tabulce č. 6.

Obrázek 30 – DC/DC měnič s LM2596S



Zdroj: [https:// www.laskakit.cz/](https://www.laskakit.cz/)

Tabulka 6 – Výpočet proudové zátěže GSM brány

Funkce	I_{max} [mA]
Řídicí CPU	37,0
Stabilizátor 5V	2,0
Senzor baterie	1,0
Senzor klimatu	1,0
Modul reálného času	4,5
2,4 GHz modul	11,3
GSM modul	2200,0
celkem	2256,8

Zdroj: Autor práce

4.2.5 Příjem v pásmu 2,4 GHz

Pro příjem dat v pásmu 2,4 GHz slouží modul nRF24L01 od společnosti Nordic Semiconductor, jež je připojený k vývojové desce přes sběrnici SPI [11]. Zapojení je

identické s měřicí kartou. Použitý typ je na rozdíl od měřicí karty jiný. Jedná se o verzi s externí anténou, jak je zobrazeno v obrázku č. 21. Anténa má délku 170 mm a zisk 5 dBi. Příjímací anténa bude umístěna pro lepší příjem dat z měřících karet mimo přijímací modul, na boku boxu použitého pro GSM bránu. Propojení antény pro pásmo 2,4 GHz s modulem nRF24L01 zajišťuje anténní kabel s koncovkami SMA o délce 20 cm.

4.2.6 Vysílání v GSM

Pro vysílání naměřených dat ze včelnice do internetu bude použit modul SIM900A. Jedná se o kompaktní modul, jak je zobrazeno na obrázku č. 31, který podporuje frekvenční pásma 900/1800 MHz [26]. Proto je po změně firmwaru tohoto modulu vhodný pro použití v České republice. Standardně se tyto moduly dodávají s firmwarem pro asijské trhy.

Modul lze ovládat po sériovém portu z mikrokontroleru, který pro naši aplikaci používá standardní AT příkazy. Lze jím nejen posílat SMS zprávy, či provést volání, ale nejpodstatnější je jeho schopnost přenášet data přes GPRS protokol.

Napájení tohoto modulu je 5 V a špičkový odběr proudu 2,2 A při registraci do sítě. S tímto špičkovým proudem je potřebné počítat v případě optimalizace napájecího bloku celé GSM brány včelnice. Kompaktní rozměry 49 x 47 mm včetně držáku na SIM kartu mobilního operátora dělají z modulu, na kterém je konektor SMA, ideální prvek pro vývojové platformy. Modul se připojuje napájecím konektorem typu JST-PH-2P do DPS na 5V napájecí větev. Dále je použit sériový konektor obsahující TX a RX kanál pro komunikaci s řídicím CPU na digitálních pinech D7 a D8, jak zobrazuje obrázek č. 31. Pomocí 5cm dlouhého anténního kabelu s koncovkami SMA je vyvedena externí anténa GSM modulu na druhý bok boxu pro GSM bránu, jak zobrazuje obrázek č. 10. Jedná se o anténu o délce 10 cm, pracující v GSM pásmu se ziskem 3 dBi.

Obrázek 31 – SIM900A

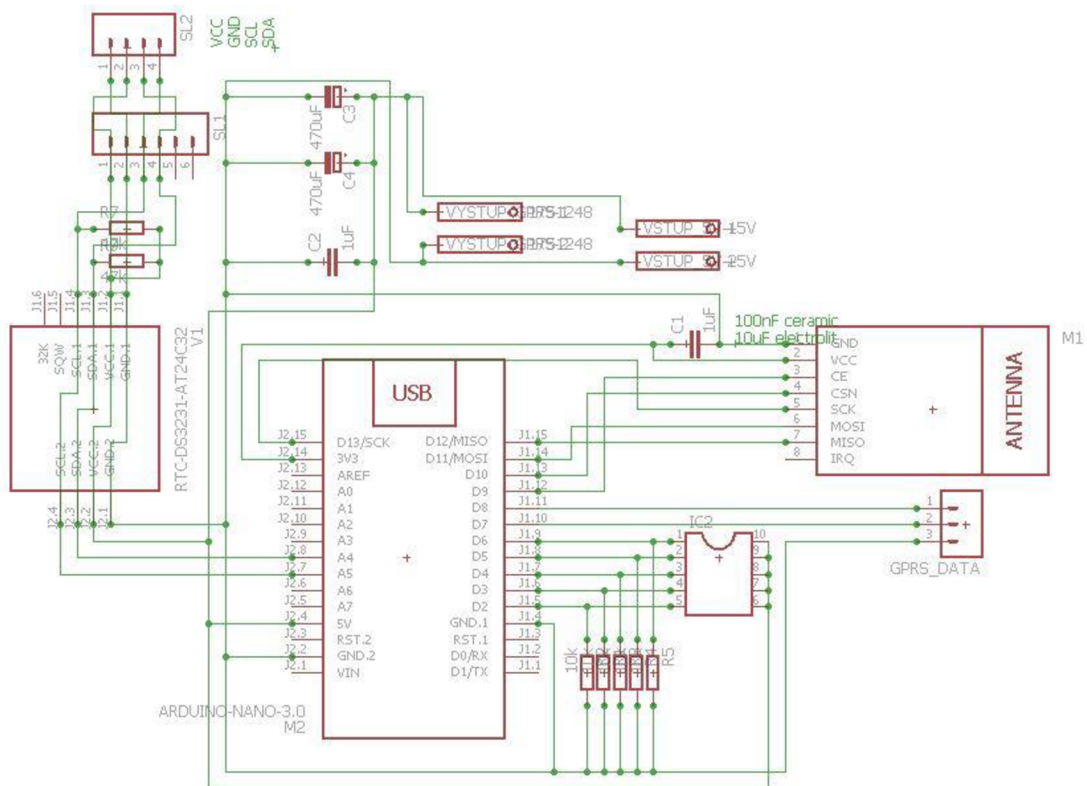


Zdroj: <https://www.laskakit.cz/>

4.2.7 Zapojení a konstrukce GSM brány

Deska plošného spoje GSM brány propojuje jednotlivé moduly a přidává několik součástek, které zajišťují stabilnější chod zařízení, jak je zobrazeno na schématu zapojení č. 32. Hlavním prvkem na DPS je řídicí CPU Arduino Every, které je označené jako M2. To je napájeno napětím z 5V vstupních svorek, jež je vyhlazeno kondenzátory C2 až C4. Na výstupní piny D9 až D13 je připojen konektor M1, který je osazen modulem NRF pro příjem dat na frekvenci 2,4 GHz. Tento modul je doplněn o externí kondenzátor C1. Piny D7 a D8 jsou využity pro sériové propojení s GSM modulem. Piny D2 až D6 slouží pro připojení 5 sekčního mikro přepínače DIL, k němuž jsou přiřazeny rezistory R1 až R5 plnící funkci tzv. pull-up rezistorů. Obdobnou funkci plní i rezistory R7 a R8 připojené na piny A4 a A5, které se využívají pro sběrnici I2C. Na sběrnici I2C najdeme konektory SL1 pro BME280 a SL2 pro INA219. Modul reálného času DS3231, označený ve schématu jako V1, je připojen také na I2C sběrnici. Dále je na DPS i 5V výstupní konektor sloužící jako napájení pro GSM modul.

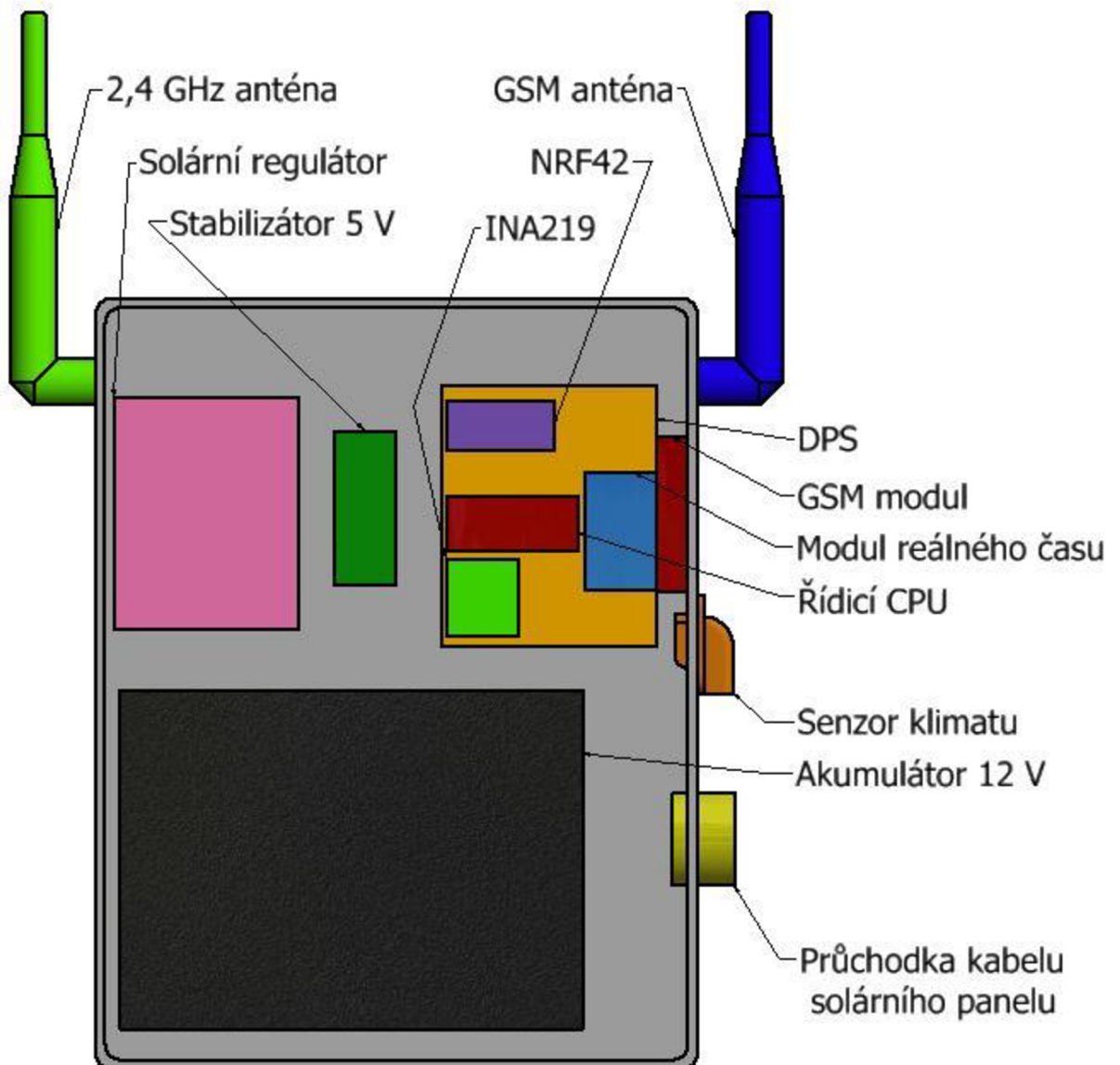
Obrázek 32 – Zapojení GSM brány



Zdroj: Autor práce

Uspořádání jednotlivých částí GSM brány odpovídá obrázku č. 33. Na spodní straně je umístěn olověný akumulátor. Nad ním je v levé části napěťový regulátor, který má po pravé straně 5V stabilizátor napětí a desku plošného spoje, jež spojuje jednotlivé moduly. Na levém boku boxu GSM brány je pro příjem dat z měřicích karet instalována anténa, která pracuje na frekvenci 2,4 GHz. Na pravém boku je instalována anténa pro vysílání dat v GSM pásmu, uložení senzoru klimatu prostředí a průchodka pro kabel od solárního panelu.

Obrázek 33 – Uspořádání jednotlivých modulů GSM brány v boxu



Zdroj: Autor práce

4.3 Firmware zařízení

Pro psaní firmwaru měřicích karet a GSM brány bylo zvoleno vývojové prostředí Arduino IDE v 1.8.0, které je open-source vyvíjené v jazyce Java pro desky Arduino. Toto prostředí je velmi jednoduché a pro psaní kódů velmi rychlé. Programování využívá upravený jazyk vycházející z jazyka C++. Zdrojový kód firmwaru měřicí karty a GSM brány včetně knihoven je součástí přílohy F této diplomové práce.

4.3.1 Seznam použitých knihoven

Do projektu je nutné importovat volně dostupné obslužné knihovny pro práci s použitými moduly.

SPI.h – knihovna zajišťující komunikaci po SPI sběrnici mezi mikroprocesorem a modulem NRF

autor: společnost Arduino, použitá verze: 1.0.0

zdroj knihovny: výchozí knihovna vývojového prostředí

RF24.h – tato knihovna pomocí předchozí knihovny SPI zajišťuje vysílání, příjem dat a nastavení modulu NRF

autor: společnost TMRh20, použitá verze: 1.4.6

zdroj knihovny: <https://github.com/nRF24/RF24>

DFRobot_MAX17043.h – knihovna zajišťuje komunikaci mikroprocesoru s modulem MAX17043 od společnosti DFRobot, který v zařízení plní funkci senzoru nabití akumulátoru měřicí karty

autor: společnost DFRobot, použitá verze: 1.0.0

zdroj knihovny: https://github.com/DFRobot/DFRobot_MAX17043

HX711_ADC.h – jedná se o knihovnu zajišťující přepočítání získaného napětí z tenzometrického můstku zpracovaného A/D převodníkem HX711

autor: Olav Kallhovd, použitá verze: 1.2.12

zdroj knihovny: <https://github.com/kosme/arduinoFFT>

SparkFunHTU21D.h – knihovna zprostředkovává komunikaci po I2C sběrnici mezi mikroprocesorem a modulem HTU, který poskytuje údaje o aktuální teplotě a vlhkosti ve včelím úlu

autor: SparkFun Electronics, použitá verze: 1.1.0

zdroj knihovny: https://github.com/sparkfun/SparkFun_HTU21D_Breakout_Arduino_Library

arduinoFFT.h – jedná se o knihovnu zajišťující využití algoritmu tzv. rychlé Fourierovy transformace v Arduino projektech

autor: Enrique Condes, použitá verze: 1.5.6

zdroj knihovny: <https://github.com/kosme/arduinoFFT>

uRTCLib.h – knihovna umožňující nastavení a čtení aktuálního času včetně data z modulu DS3231 přes I2C sběrnici

autor: Naquissa, použitá verze: 6.6.0

zdroj knihovny: <https://github.com/Naguissa/uRTCLib>

SoftwareSerial.h – originální knihovna sloužící k zavedení sériové komunikace na dvou definovaných digitálních pinech

autor: společnost Arduino, použitá verze: 1.0.0

zdroj knihovny: výchozí knihovna vývojového prostředí

Adafruit_BME280.h – knihovna sloužící ke čtení naměřených dat z modulu BME280 přes I2C sběrnici

autor: společnost Adafruit, použitá verze: 1.0.4

zdroj knihovny: https://github.com/adafruit/Adafruit_BME280_Library

Adafruit_INA219.h – tato knihovna zpřístupňuje přes I2C sběrnici modul INA219, který slouží k měření aktuálního napětí akumulátoru a úrovně tekoucího kladného i záporného proudu v GSM bráně

autor: společnost Adafruit, použitá verze: 1.2.1

zdroj knihovny: https://github.com/adafruit/Adafruit_INA219

wdt.h – originální knihovna umožňující v zařízení využívat funkce tzv. Watchdogu

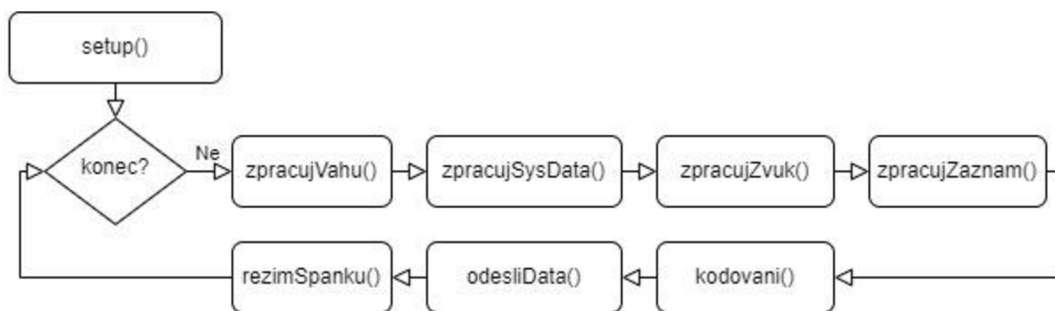
autor: společnost Arduino, použitá verze: 1.0.0

zdroj knihovny: výchozí knihovna vývojového prostředí

4.3.2 Firmware měřicí karty

Firmware měřicí karty vychází z blokového schématu zobrazeného na obrázku č. 34. Nejprve proběhne import knihoven uvedených v kapitole č. 4.3.1 této práce a funkce **setup()**, jež po spuštění mikrokontroleru inicializuje jednotlivé proměnné, včetně vytvoření všech objektů, nad kterými bude program pracovat.

Obrázek 34 – Blokové schéma firmwaru měřicí karty



Zdroj: Autor práce

Mezi hlavní knihovny patří knihovna **SPI.h** a **nRF24L01.h**. Tyto dvě knihovny zajišťují komunikaci mezi mikrokontrolerem a vysílačem NRF. Současně jsou využívány knihovny pro měření napětí akumulátoru a pro zpracování naměřené hmotnosti pomocí tenzometrů. Pro záznam vnitřního prostředí úlu je využita knihovna **SparkFunHTU21D.h** a knihovna **arduinoFFT.h** pro frekvenční analýzu zvukového spektra v úlu.

Dále proběhne nastavení identifikátoru měřicí karty podle nastavení mikropřepínačů na řídicí desce a vytvoření několika systémových objektů nad jednotlivými použitými moduly, jako jsou HTU21, NRF a MAX17043. Po jejich inicializaci je ukončena funkce **setup()** a následuje vstup do nekonečné smyčky **loop()**. Ta již obsahuje jednotlivé funkce programu.

Nejprve dojde ke zpracování aktuální hmotnosti **zpracujVahu()** a systémových dat **zpracujSysData()**, jako je teplota a vlhkost. Následuje funkce zpracování zvuku **zpracujZvuk()**. Po zpracování zvukového spektra dojde ke zpracování naměřených dat do jedné struktury funkcí **zpracujZaznam()** a následuje zkomprimování záznamu funkcí **komprimujHex()**. Tímto posledním krokem dojde k úpravě velikosti přenášených dat a k samotnému odeslání přes NRF modul funkcí **odeslat()**.

Jelikož se jedná o asynchronní přenos bez zpětné vazby o přijetí, není možné na stejném kanálu vysílat současně více než jednu měřicí kartou. To je zajištěno hardwarově čipem NRF. Po úspěšném odeslání naměřeného záznamu dojde k uspání měřicí karty na definovanou dobu, která odpovídá periodě vzorkování T_m . Z důvodu větší stability je integrován softwarový reset, který provede po předem definovaném počtu průběhů hlavní smyčky softwarový restart měřicí karty. Zdrojový kód měřicí karty je součástí přílohy F.

4.3.3 Hlavní struktury a činnost funkcí firmwaru měřicí karty

V měřicí kartě je použita vlastní nesystémová struktura **Zaznam**. Konstrukce deklarace této datové struktury je popsána níže.

```
struct Zaznam
{
    uint8_t idUlu;
    uint8_t teplota;
    uint8_t vlhkost;
    uint8_t hmotnost, baterie;
    uint8_t fr[10];
    int firmw, alarm;
};
```

Tato struktura vytváří celek z jednotlivých naměřených dat určených pro odeslání. Hlavní funkce firmwaru měřicí karty, které nad touto hlavní strukturou pracují:

zpVahu() – Funkce pracuje nad objektem LoadCell, kdy nejprve čeká, až budou nová data připravena k vyčtení od A/D převodníku HX711. Jakmile jsou data připravena, dojde k jejich načtení a přiřazení do struktury **Zaznam**.

zpSysData () – Tato funkce vyčte údaje z modulů HTU a MAX17043 a uloží je do struktury **Zaznam**.

zpracujZvuk () – Tato funkce využívá knihovnu pro aplikaci tzv. rychlé Fourierovy transformace pro analýzu zvukového spektra. Algoritmus FFT je schopen identifikovat, jaké frekvence a v jakých úrovních jsou v jakémkoliv analogovém signálu. Funkci FFT popisuje kapitola 3.3.1 této práce. V našem případě je použit získaný analogový signál ze včelstva. Pro správné fungování algoritmu FFT je nutné dodržet Nyquist -Shannonův teorém vzorkování a počet vzorků, který musí být 2^n , jelikož algoritmus pracuje s konečným počtem prvků. Pro analýzu využijeme 1024 vzorků. Výsledkem je pole úrovní frekvencí v analyzovaném spektru vzorku. Celé frekvenční spektrum, které je omezeno použitím A/D převodníku na 17,5 kHz, je rozděleno do bloků o délce 20 Hz. Jelikož se pracuje s frekvencemi do 600 Hz, algoritmus firmwaru měřicí karty bloky FFT pro větší frekvence než 600 Hz vymaže. Vymazány jsou i některé další frekvenční bloky FFT, které z důvodu omezení kapacity přenosového protokolu nejsou zasílány k dalšímu zpracování. Naměřené úrovně signálu vybraných frekvencí potřebných k určení rojové nálady jsou nejprve podrobeny analýze, zda nedochází ke skokovému růstu úrovní vzhledem k předchozím měřením. Pokud k růstu úrovní frekvencí dochází u všech frekvencí, lze očekávat, že plodiště včelstva se postupně posouvá po včelím úlu směrem k česnu, kde je měřicí karta umístěna a nejedná se o podezření na rojovou náladu. V dalším kroku jsou uloženy naměřené úrovně frekvencí do struktury **Zaznam**.

zpracujZaznam () – Naměřené údaje, které předchozí funkce získaly a uložily do struktury **Zaznam**, jsou převedeny do pole pro odeslání přes NRF modul. Z tabulky č. 7 je zřejmé rozložení jednotlivých bytů v přenosovém protokolu mezi měřicí kartou a GSM bránou včelnice.

komprimujHex () – Pole připravené pro odeslání je ještě dodatečně zkomprimované na požadovanou délku přenosovým bufferem 32 bytů.

odeslat () – Tato poslední funkce smyčky přenosové karty vezme buffer 32 bytů a odešle jej přes NRF vysílač do přílehlé GSM brány včelnice.

Tabulka 7 – Přenosový protokol měřicí karty

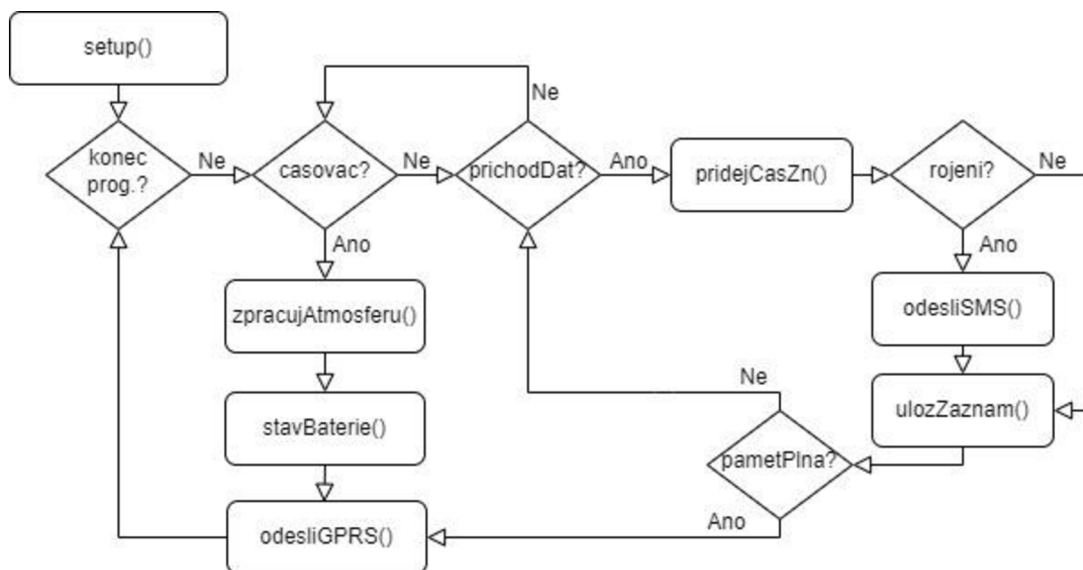
Byt v protokolu	Druh dat	Typická data	Počet znaků	Počet znaků po kompresi
1	ID úlu	0 - 33	2	2
2				
3	Teplota	0 - 90	2	2
4				
5	Vlhkost	0 - 99	2	2
6				
7	Hmotnost	0 - 200	3	2
8				
9	Baterie	0 - 100	3	2
10				
11	Úroveň frekvence 80 Hz	0 - 255	3	2
12				
13	Úroveň frekvence 100 Hz	0 - 255	3	2
14				
15	Úroveň frekvence 120 Hz	0 - 255	3	2
16				
17	Úroveň frekvence 160 Hz	0 - 255	3	2
18				
19	Úroveň frekvence 220 Hz	0 - 255	3	2
20				
21	Úroveň frekvence 280 Hz	0 - 255	3	2
22				
23	Úroveň frekvence 300 Hz	0 - 255	3	2
24				
25	Úroveň frekvence 340 Hz	0 - 255	3	2
26				
27	Úroveň frekvence 480 Hz	0 - 255	3	2
28				
29	Úroveň frekvence 600 Hz	0 - 255	3	2
30				
31	Firmware	0 - 9	1	1
32	Alarm	0 - 1	1	1

Zdroj: Autor práce

4.3.4 Firmware GSM brány

Funkce firmwaru GSM brány včelnice je zobrazena na obrázku č. 35. Po importu knihoven popsaných v kapitole 4.3.1. této práce následuje v mikrokontroleru inicializace funkcí **setup()**. Ta vytvoří objekty a instance objektů, nad kterými bude celý program pracovat.

Obrázek 35 – Blokové schéma firmwaru GSM brány



Zdroj: Autor práce

Na rozdíl od měřicí karty je v GSM bráně stěžejní knihovnou **Adafruit_BME280.h**, která se stará o analýzu prostředí na včelnici a **Adafruit_INA219.h**, jež zajišťuje měření nabití akumulátoru včelnice. Současně jsou potřebné knihovny **SoftwareSerial.h**, které plní funkci propojení mikrokontroleru s GSM modulem a **RF24.h** pro příjem dat z měřicích karet. Následuje načtení hardwarového identifikátoru včelnice nastaveného mikropřepínačem na DPS a konfigurace GSM modulu do přenosového protokolu GPRS. Přes ten si vyžádá GSM brána telefonní číslo na majitele včelnice. V posledním kroku dojde ke spuštění časovače.

Po úspěšném ukončení funkce **setup()** následuje spuštění nekonečné smyčky **loop()**. V této hlavní smyčce dojde k volání funkce **prichodDat()**, která zjišťuje, zda není dostupný datový stream z některé měřicí karty umístěné ve včelím úlu. Pokud taková data jsou, dojde ke kontrole na celistvost dat funkcí **pridejCasZn()** a přiřazení časové značky. Je-li

v přijatém záznamu hodnota bytu číslo 32 rovna jedné, signalizuje měřicí karta podezření na rojovou náladu, a je spuštěna funkce **odesliSMS()**. Může se stát, že přijatých záznamů je již plná paměť zařízení a dojde k zavolání funkce **odesliGPRS()**. Vyprší-li běh spuštěného časovače, dojde k zavolání funkce **zpracujAtmosferu()**, **zpracujBaterii()** a **odesliGPRS()**. Zdrojový kód GSM brány je součástí přílohy F.

4.3.5 Činnost funkcí firmwaru GSM brány

prichodDat () – Funkce testuje, zda přijímací modul v pásmu 2,4 GHz nepřijímá na nastaveném kanále příchozí data.

pridejCasZn () – Pokud jsou nová data přijata, dojde touto funkcí ke kontrole na celistvost dat přijatého záznamu z měřicí karty včelího úlu. Tato funkce k záznamu přiřadí čas a datum příjmu tohoto naměřeného záznamu a uloží jej do pole přijatých záznamů, jak zobrazuje tabulka č. 8. Nakonec funkce zkoumá, zda přijatý záznam z měřicí karty obsahuje datovou značku podezření na rojovou náladu, a to buď z části frekvenční analýzy zvukového spektra, nebo z kontrolního tenzometrického systému úbytkem váhy úlu. Pokud ano, volá funkci **odesliSMS()**.

odesliSMS () – Tato funkce přepne GSM modul z protokolu GPRS na GSM provoz a dojde k odeslání SMS zprávy majiteli včelnice o podezření na rojení. Potom následuje přepnutí GSM modulu zpátky na protokol GPRS.

odeslatData () – Tato funkce je volána ve dvou různých případech. První případ nastává, pokud je plná paměť zařízení určená pro ukládání naměřených záznamů. Pokud se tak stane, dojde ke spojení všech naměřených záznamů ze včelích úlů a k odeslání přes GPRS do datového úložiště na internetu. Druhý případ, kdy je volána, nastává, pokud vypršel časovač v mikrokontroleru a je potřeba odeslat aktuální stav prostředí na včelnici a stav baterie do datového úložiště.

zpracujAtmosferu () – Funkce čte teplotu a vlhkost prostředí na včelnici ze senzoru BME280.

zpracujBaterii () – Zvoláním této funkce dojde k načtení údajů o napětí akumulátoru GSM brány a hodnotě tekoucího proudu přes INA219 včetně určení jeho polaritu.

Tabulka 8 – Struktura protokolu přenosu dat GSM brána -> CLOUD

Č. záznamu v paměti	Datum		Čas		Přijatý záznam
	měsíc	den	hodina	minuta	
1					021E4B461E64646464646464646431
2					
.					
.					
n					

Zdroj: Autor práce

4.4 Webový portál

Pro lepší zobrazení a přístup k naměřeným datům byl zřízen webový portál www.uivcela.cz. Webová prezentace běží na Linux serveru s podporou PHP skriptů. Databáze pro ukládání dat je využívána MySQL.

4.4.1 Struktura webu

Pro psaní webové prezentace byl zvolen komerční software Adobe Dreamweaver verze 21.2 v distribuci trial. Jedná se o intuitivní moderní rozhraní podporující HTML, CSS a PHP kódování. Software podporuje náhledy v reálném čase včetně kontroly syntaxí. Mimo standardní balík knihoven aplikace byla doinstalována externí knihovna **CanvasJS** použitá pro vykreslování všech grafů použitých ve webové prezentaci naměřených dat. Struktura uspořádání celého webového portálu je zobrazena na obrázku č. 36.

Obrázek 36 – Struktura webového portálu



Zdroj: Autor práce

V **root** složce webového portálu se nacházejí tři zaváděcí soubory. Soubor **sql.php** obsahující ip adresu MySQL serveru, včetně přístupového jména, hesla, portu a názvu databáze, s níž webová prezentace pracuje. Soubor **index.php** je úvodní stránka webové prezentace, která se načte. Jedná se o stránku nabízející přihlášení k zákaznickému účtu, nebo vytvoření nového účtu. Dalším souborem v **root** adresáři je soubor **favicon.ico**, který slouží jako ikona webové stránky pro prohlížeče. Posledním souborem v hlavním adresáři je **style.css**. Tento soubor obsahuje záznamy o použitých kaskádových stylech stránek, které se používají k zobrazování jednotlivých HTML prvků na stránce.

Vedle těchto souborů je v **root** složce umístěno ještě několik dalších adresářů. V adresáři **image** se nachází všechny obrázky a ikony použité na webové prezentaci. V adresáři **insert** se nachází dva soubory, **k.php** sloužící k ukládání dat z měřicích karet a **g.php** k ukládání dat z GSM brány. Ve složce **data** je několik PHP skriptů, které generují jednotlivé grafy podle toho, jaký graf si uživatel ve webovém portálu zvolil. Nachází se zde i soubor **gsmcti.php**, který poskytuje zpětnou vazbu dotazům od GSM brány. Poslední adresář je **registrace**, jež obsahuje jednotlivé stránky potřebné pro registraci nového uživatele včelnice a úlu.

4.4.2 Webové rozhraní

Při zakládání nového včelaře do systému je nejprve potřeba projít registrací, která obsahuje základní údaje jako email, mobilní telefonní číslo a heslo. Email a heslo slouží k přihlášení do systému a náhledu naměřených dat. Mobilní telefonní číslo budou využívat přiřazené GSM brány včelnic pro případné zasílání informačních SMS zpráv s podezřením na rojení včel. Po založení elektronického účtu včelaře je potřeba ke včelaři přiřadit jeho virtuální včelnicu. Je tedy nutné do systému zaevidovat GSM brány pod jedinečným tzv. hardwarovým ID klíčem a ten nastavit na GSM bráně pomocí mikropřepínače DIL na DPS. V dalším kroku je potřeba přiřadit ke každé včelnici měřicí karty, které budou umístěny do včelích úlů na příslušené včelnici. Tyto měřicí karty také obsahují jedinečný tzv. ID hardwarový klíč nastavitelný mikropřepínačem DIL na DPS měřicí karty do patřičného včelího úlu.

GSM brány si v prvním kroku po spuštění vyžádají telefonní číslo majitele včelnice, jenž je v systému uložen pro danou GSM bránu dle hardwarového identifikátoru. Na toto

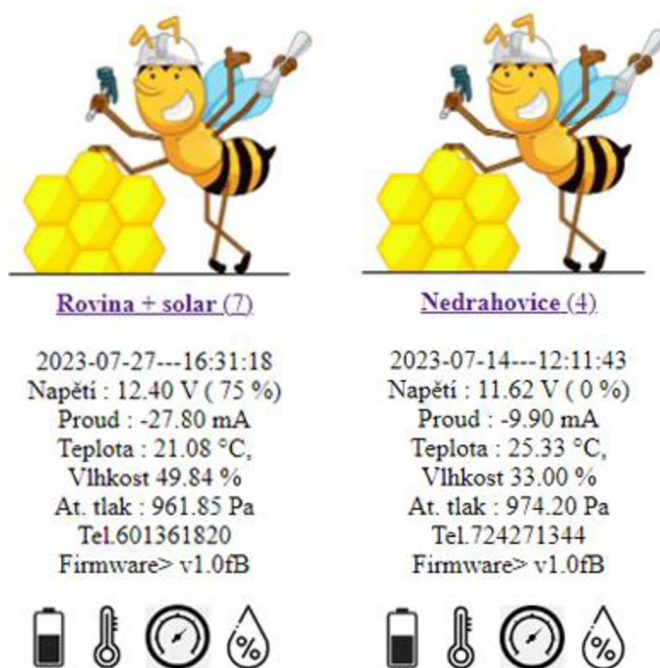
číslo zasílá GSM brána v případě podezření na rojovou náladu SMS zprávu. Webový server přijatá data od GSM brány nejprve zkontroluje na celistvost přijatých dat. Dále následuje rozdělení na jednotlivé naměřené záznamy, dešifrování a uložení do databáze.

Záznamy měřicích karet a GSM brány jsou přístupné po zadání uživatelského jména a hesla majitele včelnice použité při registraci do portálu www.uivcela.cz. Úvodní stránka majitele včelnice zobrazí stránku se všemi včelnicemi, které má v systému nastavené, včetně názvu včelnice, počtu evidovaných včelstev a jednotlivých klimatických hodnot. Je zde vidět i aktuální stav akumulátoru včelnice, verze firmwaru měřicí karty a datum a čas poslední přijaté aktualizace naměřených dat, jak je zobrazeno na obrázku č. 37.

Indikované hodnoty proudu jsou se znaménkem mínus, pokud systém spotřebovává více proudu, než solární panel dokáže dodat. Hodnoty s kladným znaménkem poukazují na stav, kdy solární panel nejen pokrývá spotřebu proudu, ale generuje i přebytek, který je v případě volné kapacity ukládán do akumulátoru. Procenta za hodnotou napětí akumulátoru ukazují stav nabití akumulátoru.

Je zde možné pod jednotlivými symboly rozkliknout grafy průběhů naměřených dat. Ukáže se např. vývoj stavu nabití akumulátoru, teplota na včelnici, atmosférický tlak či vlhkost prostředí ve zvoleném období.

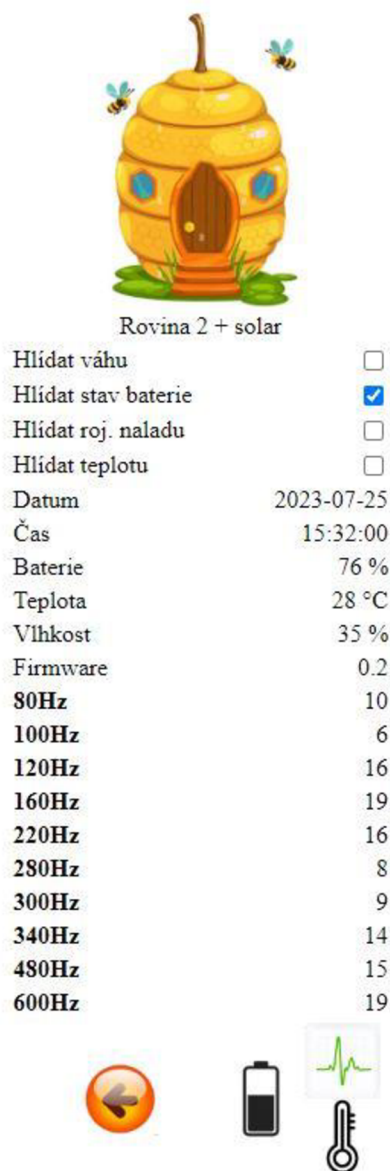
Obrázek 37 – Webová prezentace – včelnice



Zdroj: Autor práce

Po rozkliknutí včelnice se zobrazí soupis měřených včelích úlů uspořádaných podle názvu. Zvolením některého z úlů dojde k zobrazení stránky, jak je ukázáno na obrázku č. 38. Jsou zde zapsány kompletní záznamy z úlu včetně údaje, kdy proběhla poslední aktualizace dat daného úlu. Může se zde nastavit, zda má webový portál hlídat pokles hmotnosti, nízkou hladinu stavu akumulátoru nebo podezření na rojovou náladu a tuto skutečnost hlásit emailem majiteli včelnice. Dále je možné zobrazit průběhy grafů všech nejdůležitějších veličin, jako stav akumulátoru, vývoj hmotnosti či změny v jednotlivých frekvenčních spektrech. Ve všech typech grafů lze jednoduše zvolit i zobrazované období.

Obrázek 38 – Webová prezentace – stav včelího úlu



Zdroj: Autor práce

4.5 Ekonomický pohled na zařízení

Zařízení bylo od samého počátku konstruováno tak, aby při 100% splnění požadavků zvukové analýzy a zpracování dat včelího úlu, mělo co nejmenší finanční náklady. V tabulce č. 9 jsou zaznamenány náklady spojené s jednou měřicí kartou. Tabulka č. 10 ukazuje náklady spojené s výrobou GSM brány a v obou případech je zde i porovnání nákupních cen v době psaní této diplomové práce (2023). Použité komponenty jsou standardizované a běžně dostupné.

Tabulky č. 9 a č. 10 ukazují, že nákupem komponent přímo z Číny může být ušetřeno cca 15 % nákladů u GSM brány a dokonce 30 % u měřicí karty. Řídící čipy není potřeba nakupovat z Číny, jelikož jejich cena je identická nebo dokonce vyšší dle různých prodejců. Z tohoto důvodu je vhodné pořídit tyto komponenty na českém trhu se zárukou.

U 3,7V baterií nakoupených v Číně je psaná kapacita 9800 mAh. Pokud je tato kapacita reálná, je v nákupní ceně poměrně markantní rozdíl. Tenzometrický systém je pouze kontrolní a v případě odladění firmwaru měřících karet není potřeba. Bez použití tenzometrického systému cena měřicí karty klesne o dalších cca 700 Kč.

Tabulka 9 – Celkové náklady – měřicí karta

Položka	Česká republika [Kč]	Čína [Kč]
Řídící CPU	541	541
Zpracování zvuku	106	48
Solární regulátor	48	22
Senzor baterie	214	214
Senzor klimatu	140	35
Tenzometrický systém	710	682
2,4 GHz modul	28	20
Drobné el. součástky	40	40
Baterie 2ks 3,7 V	300	74
Solární panel	221	110
Obal, mechanické prvky	100	100
celkem	2448	1886

Zdroj: Autor práce

Tabulka 10 – Celkové náklady – GSM brána

Položka	Česká republika [Kč]	Čína [Kč]
Řídicí CPU	288	288
Solární regulátor	369	369
Baterie 12 V	309	309
Senzor baterie	81	45
Senzor klimatu	164	70
2,4 GHz modul	90	49
GSM modul	231	84
Modul času	105	52
Regulátor napětí 5 V	32	18
Drobné el. součástky	200	200
Solární panel	650	650
Obal, mech. prvky	300	300
celkem	2819	2434

Zdroj: Autor práce

Výsledky a diskuse

Prototyp zařízení byl sestaven v dubnu 2023 a implementován na dvou včelnicích do deseti různých úlů. Jedna včelnice byla umístěna na slunném stanovišti a jedna v zákrytu lesa. Tenzometrickým doplňkovým systémem byly vybaveny tři úly.

4.6 Realizované zařízení

4.6.1 Měřicí karta

Měřicí karty byly v době jarního rozvoje včelstva umístěny do nejnižší nástavky včelího úlu za česno. Zde se očekává nárůst měřené frekvence v případě přípravy na rojení. Je zde dobrý přístup ke kontrolnímu panelu měřicí karty pro připojení dobíjení a doplňkového tenzometrického systému. Solární panely byly umístěny pomocí magnetických držáků na pozinkovaná víka včelích úlů, jak ukazuje obrázek č. 39. Pozici solárních panelů lze pomocí magnetického držáku libovolně volit a nastavit na nejpříhodnější místo, kde bude největší část dne osvětlován.

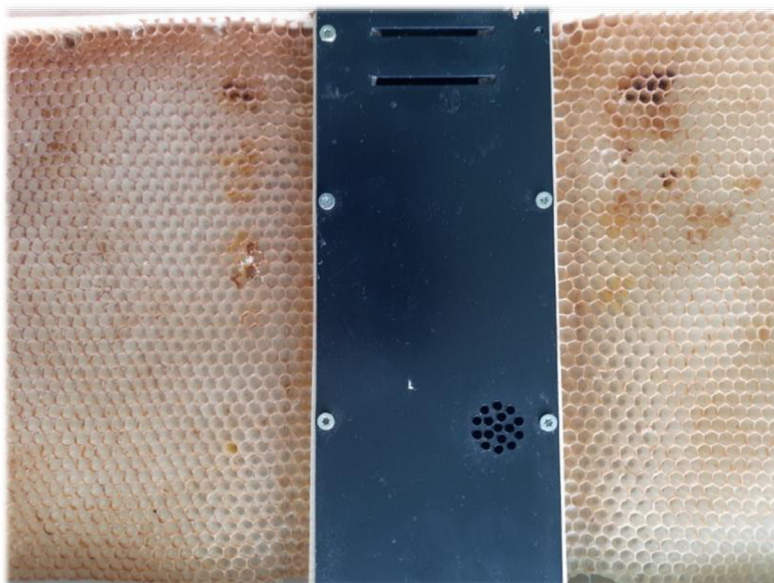
Obrázek 39 – Volitelné pozice umístění magnetických držáků solárních panelů



Zdroj: Autor práce

Hardware měřicí karty plně vychází z blokového schématu zobrazeného na obrázku č. 23. Použitý materiál na boky měřicích karet a vytisknutý 3D panel pro připojení konektorů nepůsobil pro včely rušivě. Včely měřicí kartu přijaly stejně jako jiný rámeček obsahující pouze voskovou mezistěnu. Došlo k jejímu vytažení a zaklazení v plodišti, jak zobrazuje obrázek č. 40.

Obrázek 40 – Vytažení voskové mezistěny v měřicí kartě

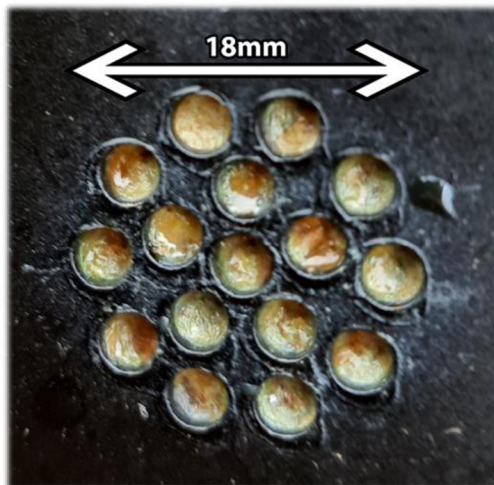


Zdroj: Autor práce

Nebyly zjištěny žádné negativní vlivy vysílání modulů NRF v pásmu 2,4 GHz. Dosah měřicích karet při použití modulů bez externí antény se pohybuje kolem 20 m na volném prostranství. Tato vzdálenost je ovlivněna nejen konstrukcí nástavku, kde je měřicí karta umístěna, ale hlavně dnem včelího úlu, které bývá ze silnějšího materiálu kvůli nosnosti. Moderní dna včelích úlů obsahují navíc nerezová Varroa síta, jež jsou schopná snížit dosah signálu až o 30 %. Další parametr, který může ovlivnit dosah signálu, je materiál použitý na konstrukci stojanu pod úlem. V případě potřeby většího dosahu signálu lze použít modul NRF24 s vyvedenou anténou a integrovaným zesilovačem. Ten lze softwarově zapnout a docílit dosahu až 65 m, avšak s tím je svázáno zvýšení spotřeby zařízení.

U některých měřicích karet došlo k zatmelení otvorů nad mikrofonem propolisem, jak ukazuje obrázek č. 41. V konstrukci nebyla dodržena optimální mezera. Mezera o velikosti 6–10 mm se bere jako tzv. včelí mezera. Touto mezerou včela prochází a nechává ji bez povšimnutí. Pokud má možnost, tak mezery větší než 10 mm zastaví voskovým dílem. Mezery menší než 6 mm často zatmelí propolisem, proto je nutné otvory nad mikrofonem zvětšit o tolik, aby jejich velikost byla stále pod velikostí včelí mezery.

Obrázek 41 – Zatmelení otvorů nad mikrofonem



Zdroj: Autor práce

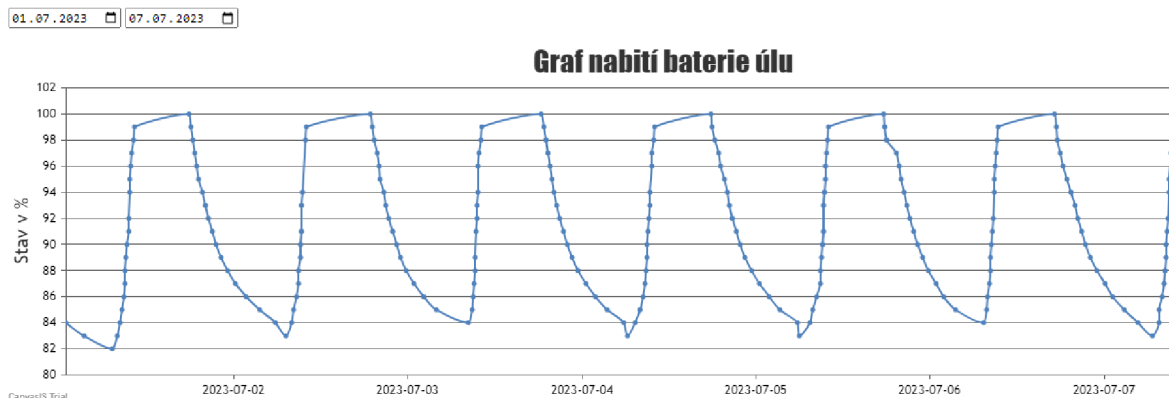
Napájení měřicích karet, které zajišťují dva akumulátory s kapacitou 2x 9800 mAh dobíjené solárními panely o maximálním proudu 400 mA, se ukázaly zpočátku jako správný výběr. Při využití vzorkovací periody $T_m = 300$ s docházelo bez dobíjení ze solárního panelu k poklesu stavu nabití akumulátoru od 18:00 do 8:30 hodin, tedy za 13,5 hodin provozu,

cca o 17 %, jak zobrazuje graf na obrázku č. 42. Provozní schopnost měřicí karty při ideálním lineárním průběhu vybíjení je bez dobíjení 80 hodin. Potom dojde k vypnutí měřicí karty z důvodu nízkého napájecího napětí akumulátoru.

Hodnota 80 hodin neodpovídá vypočtené hodnotě v praktické části této práce, v kapitole 4.1.4. Podle této kapitoly měl být vypočítaný provoz bez dobíjení cca 103 dní. Z tohoto důvodu byly použité akumulátory změřeny na zařízení Xtar VC2 pro stanovení jejich skutečné kapacity. Podle naměřených údajů použité akumulátory nemají nominální hodnotu 9800 mAh, ale pouze 540 mAh. Je zřejmé, že levné akumulátory z Číny nebyly správným výběrem.

Z důvodu ověření kapacity byly na českém trhu nakoupeny dodatečně baterie Samsung ICR18650-26J s kapacitou 2600 mAh. Tuto kapacitu potvrdila i nabíječka Xtar. Po instalaci do měřicí karty se prokázal teoretický výpočet z kapitoly 4.1.4 a provozní schopnost s uvedenou kapacitou 2x 2600 mAh byla 27 dní.

Obrázek 42 – Průběh nabití akumulátoru měřicí karty



Zdroj: Autor práce

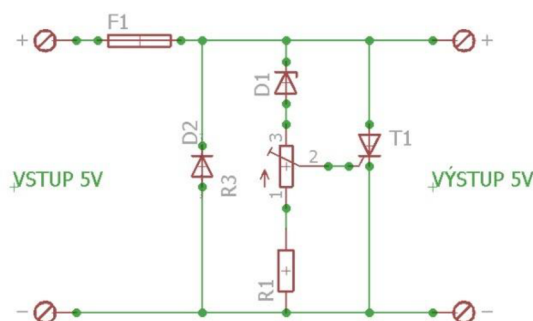
Solární panel s $I_{max} = 400 \text{ mA}$ dokáže s rezervou dobít naplno akumulátory v měřicí kartě, jak je zobrazeno na obrázku č. 42. Je to způsobeno maximálním dobíjecím proudem panelu 400 mA, i přes jeho malé rozměry, a ideálním umístěním na včelím úlu vzhledem k slunečnímu svitu. V našich zeměpisných šířkách se doporučuje pro solární panely volit umístění jižním směrem v úhlu 35° vzhledem k vodorovné rovině [18].

Jelikož při konstrukci prototypu došlo k opomenutí ochrany mikroprocesoru před vysokým napětím, v případě poruchy step-down měniče, bude nutné do budoucna doplnit

do zapojení ochranu proti přepětí a případně i ochranu proti přepólování, jak zobrazuje obrázek č. 43.

Výkonová dioda D2 v zapojení slouží proti přepólování napájecího napětí. V případě, že dojde k přepólování, dioda D2 je v propustném směru a zkratový proud zničí pojistku F1. Zvýšením napětí na vstupu nad úroveň 5 V dojde k otevření Zenerovy diody D1, která přivede napětí na řídicí elektrodu tyristoru T1. Otevřením tyristoru dojde opět ke zkratu a zničení pojistky F1. Hodnota řídicího napětí na elektrodě G tyristoru T1 se nastavuje potenciometrem R3. Maximální proud tyristorem T1 a diodou D2 musí být větší než maximální proud, na který je pojistka F1 dimenzovaná.

Obrázek 43 – Zapojení ochrany proti přepětí a přepólování



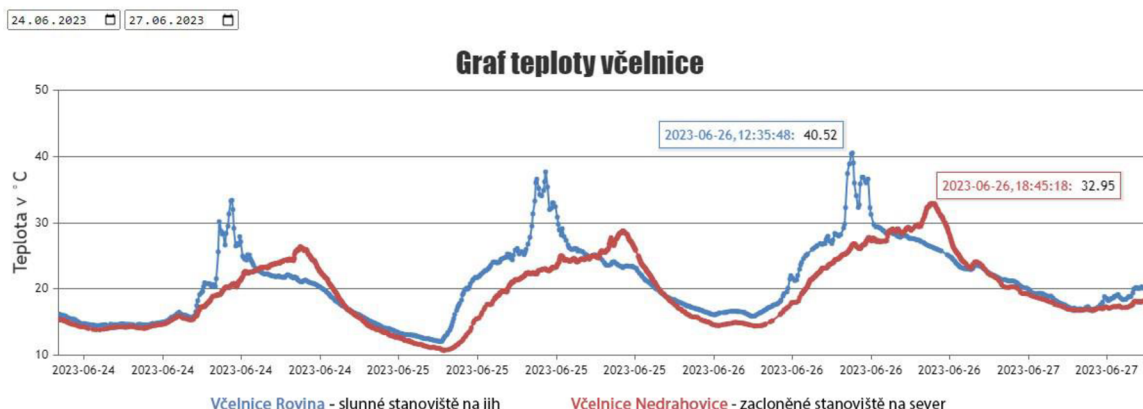
Zdroj: Autor práce

4.6.2 GSM brána

GSM brána byla zkonstruována dle blokového schématu na obrázku č. 33 a umístěna tak, aby pokrývala co nejvíce úlů s měřicími kartami. Krabice s krytím IP56, ve které byla GSM brána uložena, vyhovovala potřebám pro jednosezónní zkušební provoz, i když byla umístěna na zemi za úly. Dobíjení akumulátoru zajišťoval solární panel.

Doplňkové měření klimatu ukázalo, jak velké rozdíly mohou být u dvou různých včelnic vzdálených od sebe pouze 1,7 km s výškovým rozdílem 40 m. Jedna včelnice byla umístěna přímo na slunci, druhá v zákrytu lesa. Na obrázku č. 44 jsou proložena naměřená data z obou včelnic během tří po sobě jdoucích dní. Je zde vidět různý nárůst teploty prostředí. Nejprve začne stoupat teplota na slunném stanovišti a až se zpožděním na druhém, na něj dopadají paprsky slunce až později odpoledne. Maximálních teplot dosahuje slunné stanoviště kolem třinácté hodiny, kryté stanoviště až kolem osmnácté hodiny.

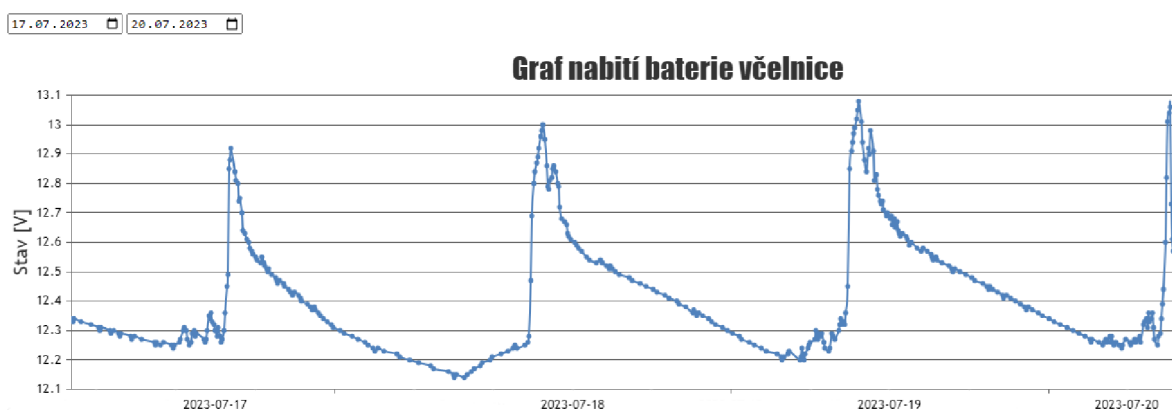
Obrázek 44 – Graf teploty dvou včelnic



Zdroj: Autor práce

Solární panel, který sloužil pro dobíjení GSM brány, velmi ovlivňovalo natočení panelu a zaclonění oblohy. Na obrázku č. 45 jsou vidět hodnoty napětí akumulátoru včelnice, kde panel osvětlovalo slunce přímo asi do 14. hodiny a pak začalo být zakryto lesem. Průběh napětí v letních dnech je velmi obdobný. Každou noc se k ránu dostalo napětí akumulátoru GSM brány na úroveň cca 12,2 V a pak v průběhu dne byl akumulátor opět nabit na hodnotu cca 13 V.

Obrázek 45 – Graf nabití baterie GSM brány na včelnici 1

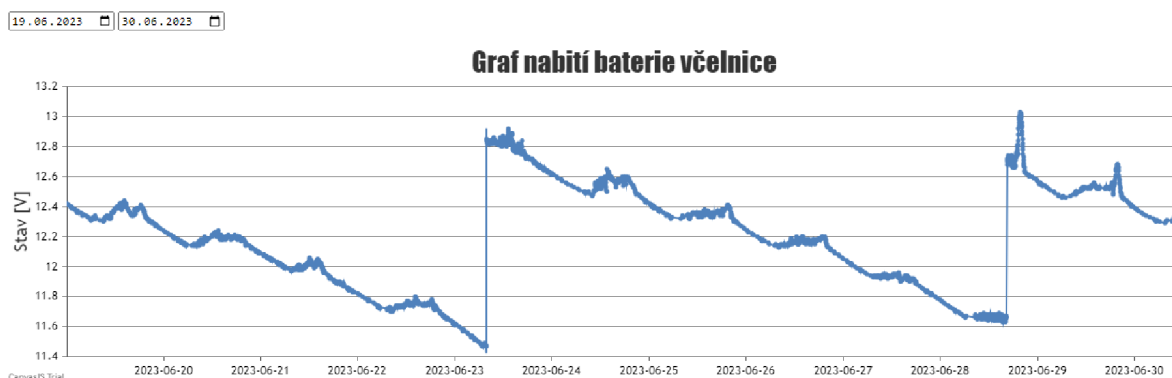


Zdroj: Autor práce

Jiný případ nastal na druhé včelnici, kde panel nebyl instalován na optimální pozici a po určité době stromy, za kterými byl umístěn, začaly obrůstat listím. Tím se funkčnost

dobíjení akumulátoru velmi snížila. Jak zobrazuje obrázek č. 46, napětí akumulátoru klesalo, až k hodnotě cca 11,5 V. Následovalo odpojení zátěže solárním regulátorem a tedy i vypnutí GSM brány. Obsluhou byl akumulátor vyměněn za jiný, dobítý na cca 12,8 V, ale průběh se opět opakoval.

Obrázek 46 – Graf nabití baterie GSM brány na včelnici 2



Zdroj: Autor práce

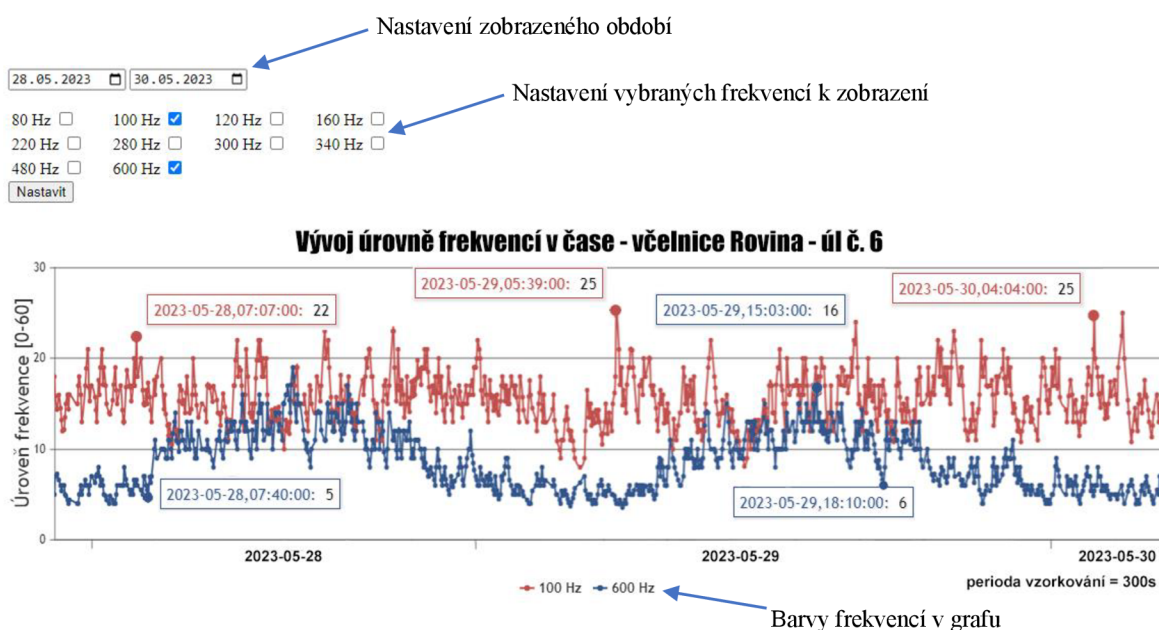
Z tohoto grafu je vidět, že umístění panelu velice rychle ovlivní funkčnost GSM brány, a je nutné počítat i s tím, že vegetace kolem panelu se v průběhu sezóny mění a může negativně ovlivnit její funkčnost.

Dalším parametrem, který může ovlivnit dobu provozu GSM brány, je množství měřicích karet, jež GSM brána obsluhuje. Čím menší je perioda měření karty T_m a čím více je měřicích karet v dosahu jedné brány, tím častěji probíhá odesílání dat přes GSM bránu s využitím protokolu GPRS do cloudu. Na včelnici č. 1, kde byl panel umístěn ideálně vzhledem k slunci, nebyl problém dobít GSM bránu obsluhující sedm měřicích karet s $T_m = 300 s$.

4.7 Analýza úrovní frekvencí

Naměřená data frekvenční analýzy z měřicích karet, umístěných ve včelích úlech dle kapitoly 4.3.2, odesílají již jen úrovně jednotlivých frekvencí ve zvukovém spektru přes GSM bránu do cloudu. Tyto naměřené údaje se dají najít ve webové prezentaci pod každým jednotlivým úlem. Pro lepší prezentaci lze ve webovém portálu vyfiltrovat pro každý včelí úl jednotlivé zkoumané frekvence a jejich průběh za určité časové období, jak ukazuje obrázek č. 47.

Obrázek 47 – Průběh úrovně frekvencí



Zdroj: Autor práce

Pro lepší prezentaci naměřených dat by bylo do budoucna potřeba použít nějaký druh polynomiální regrese a upravit citlivost mikrofonu.

Při měření během první sezony v roce 2023 se vyskytl jediný případ vyrojení včelstva na úlu č. 7 na jižnější včelnici. Tento úl byl spolu s vedlejším úlem, ve kterém byla instalována měřicí karta i tenzometrický systém, záměrně připravován na rojení. Byly porušeny všechny preventivní zásahy, jež jsou používány jako protirojová opatření, dle odstavce č. 3.1.3. Včelí úly byly nechány záměrně pouze na dvou nástavcích rámkové míry 39 x 24, což ze zkušeností z předchozích let mělo vést k vyrojení.

Dne 28. 5. 2023 kolem 12. hodiny proběhlo fyzické vyrojení včelstva z úlu č. 7. Systém měřicí karty zaznamenal výkyv úrovně frekvencí v pásmu 100 Hz a 160 Hz, což ukazuje obrázek č. 48. Vyrojení jednoho zkoumaného úlu nedává možnost zavést pravidlo předpokladu rojení včelstva nebo stanovit predikci vyrojení, ale ukazuje, že systém má potenciál dále používat a zkoumat další záznamy v případě vyrojení.

S každým dalším vyrojením včel a po důkladném rozboru naměřených dat by systém mohl být schopný poskytnout přesnější zkoumané vzorce, podle kterých by šlo stanovit pravidla algoritmu.

Na obrázku č. 48 je ve frekvenci 160 Hz zaznamenán ještě jeden výkyv, a to den před rojením. V některých případech, než se včelstvo finálně vyrojí, proběhne tzv. vyrojení nanečisto. Včely se sice vyrojí, ale opět se vrátí zpět do úlu. Dost často tento zkušební let probíhá bez včelí královny. Zkušební let není pravidlem, ani není jisté, zda je to hodinu či den před finálním vyrojením.

Do budoucna by bylo vhodné nahradit použitou dolní propust s jedním RC článkem dolní propustí se strmějším poklesem amplitudové charakteristiky, aby nevznikal aliasing. Pro použitý 10 bitový převodník by měl být pokles o 60 dB, tedy dolní propust třetího řádu.

4.8 Tenzometrický systém

Doplňkový tenzometrický systém instalovaný dle obrázku č. 20 pracoval podle předpokladu. Na obrázku č. 49 je ukázka naměřených hodnot pro jeden vzorový úl. Jedná se o období před medobraním, kdy mezi 17. 5. 2023 – 3. 6. 2023 došlo k nárůstu hmotnosti v úlu o 37 kg. Tato hmotnost není jen čistý med, ale váha nových včel, voskového díla, sladiny určené pro výrobu mateří kašičky a medu. Dále je z obrázku zřejmé, že 3. 6. 2023 proběhlo medobraní a z úlu bylo ubráno cca 32 kg medu.

Obrázek 49 – Průběh hmotnosti vzorového úlu



Zdroj: Autor práce

4.9 Efektivnost a nasazení

Vycházíme-li z tržní ceny jedné sklenice medu 170 Kč (v roce 2023) a průměrné sezónní produkce 30 kg na včelstvo, může být vyrojení produkčního včelstva, jež nevyprodukuje žádný komerční med, dost velký zásah do rozpočtu včelaře ve ztrátě částky 5100 Kč na vyrojené včelstvo.

Nastane-li tato situace, je důležité včelí roj včas chytit a udělat z něho alespoň oddělek, který je schopný včelař prodat ještě ten samý produkční rok za cenu 2 500 Kč (v roce 2023). Pokud by tento roj opustil včelí úl a včelař by o tom nebyl informován, zvláště na odlehlých včelnicích, kde není včelař každý den, je velká pravděpodobnost, že roj uletí a včelař bude počítat již jen ekonomickou ztrátu.

Proto se jeví systém varování nadcházející rojové nálady, či vyrojení včelstva jako významná včelařská pomůcka. Investice do jedné včelnice s pěti včelstvy vyjde finančně dle tabulek č. 9 a č. 10 cca na 12 tisíc Kč (v roce 2023). Tato částka je ekvivalentní finanční hodnotě pěti vyrojeným včelstvům na včelnici, jež systém odhalí a nahlásí včelaři. Investice se tedy vrátí ještě ten samý rok, v jakém bylo vybavení pořízeno, pokud zařízení bylo instalováno na začátku sezony. V průběhu sezony se může stát, že včelstvo je již vyrojeno, aniž by o tom byl nějaký záznam.

Závěr

Tato diplomová práce se zabývala návrhem a realizací zařízení, které akusticky monitoruje chování včelstva a je schopné rozpoznat tzv. rojovou náladu ve včelím úlu. Tento systém může být doplněn o kontrolní tenzometrický systém, který upozorní na případný pokles váhy včelího úlu.

Dle odborné literatury zabývající se chováním včel dochází k nárůstu úrovně signálu určitých frekvencí zvukového projevu včelstva, jež předcházejí tzv. rojení včel. Na základě zkušeností včelařů byl navržen design měřicího zařízení a výběr vhodných komponent, zajišťujících sběr dat ze včelího úlu. Byla získána nejen data z frekvenční analýzy, ale i druhotné parametry vnitřního prostředí, jako jsou teplota, vlhkost a hmotnost celého úlu.

Tato měřicí zařízení byla instalována do deseti včelích úlů na dvou včelnicích. Na každé včelnici byla instalována GSM brána včelnice, jež plní funkci příjmu dat z měřicích karet ve včelích úlech a zajišťuje nejen distribuci do datového úložiště na internetu, ale je i schopná kontaktovat majitele včelnice na podezření z rojení včel. Tyto GSM brány zaznamenávají také teplotu, vlhkost a atmosférický tlak na včelnici pro porovnání vlivu počasí a medného výnosu včelnice.

Získaná data za období duben až srpen 2023 přinesla jeden pozitivní záznam vyrojení včelstva a několik planých poplachů. Z frekvenčních křivek na frekvencích 130 Hz a 160 Hz byl zaznamenán nárůst amplitud v době před rojením a při rojení. Záslouhou zařízení byl roj včas odchycen. Doplnkový tenzometrický systém fungoval bezchybně a uživatel z něho mohl stanovit nejen denní přírůstek sladiny do úlu, ale také tzv. bez snůškové období, kdy včely nelétají na pastvu, ale pouze užívají zásoby.

Naměřené hodnoty teploty a vlhkosti uvnitř úlu potvrdily, jak včela medonosná dokáže dobře regulovat teplotu a vlhkost ve včelím úlu, ať již při zvýšené vlhkosti v období jarního rozvoje, tak i při nízké vlhkosti v době tzv. sušení medu v letních měsících, ale nepotvrdily přímou souvislost s rojením včel. Toto bude dalším předmětem zkoumání do budoucna.

Výkon autonomního solárního systému, který byl použit k napájení měřicích karet, potvrdil výpočty energetické soběstačnosti a poukázal na skutečnost, že systém je s velkou rezervou plně soběstačný. Navrhnuté držáky použitých solárních panelů s nastaveným sklonem 35° vzhledem k vodorovné rovině a s magnetickým úchytem se ukázaly jako velice praktické a variabilní.

Velkou výhodou zařízení pro včelaře je jeho vysoký potenciál do budoucna a nízká pořizovací cena. Všechny použité elektronické komponenty jsou běžně k dostání a všechny mechanické části zvládne každý zručný včelař. Výrobní náklady spojené s jednou včelnicí o pěti včelstvech činí 12 tisíc Kč. Tato investice se v případě pozitivního hlášení rojení včelaři vrátí ještě ten samý rok, kdy do zařízení vložil finanční prostředky.

Nasazení pro laické využití plně podporuje i jednoduchý webový portál, který byl pro tento systém zřízen. Každý uživatel si může nastavit, jaké veličiny chce na jednotlivých úlech monitorovat a jaké dostávat notifikace o aktuálním dění v úlech. Jedná se např. o kontrolu stavu akumulátorů, nebo podezření na rojení včelstva apod. Nechybí přehledné grafy všech měřených veličin pro včelnicí a pro každý včelí úl. Naměřená data lze dále zkoumat a tvořit nad nimi další teorie souvislostí.

Nevýhodou zařízení je použití akumulátoru v GSM bráně s malou Ah kapacitou, na který funguje GSM brána pouze čtyři dny bez dobíjení. Pokud bude celý týden zataženo, nebude solární dobíjení dostatečné. Řešením je použití akumulátoru s větší Ah kapacitou, který zajistí týdenní provoz bez dobíjení.

Navržený a zkonstruovaný akustický indikátor rojení včelstva pomůže včelařům zvyšovat výnosy včelích produktů, a tím snižovat ekonomické ztráty.

5 Seznam použitých zdrojů

- [1] URBAN, Miroslav. *Včelaření od jara do zimy*. Praha: Grada, 2018. ISBN 978-80-271-0365-2.
- [2] LAMPEITL, Franz. *Úspěšný chov včel*. Líbeznice: Vikend, 2016. ISBN 978-80-7433-143-5.
- [3] VODA, Zbyšek. *Průvodce světem Arduina*. 2. vydání. Bučovice: Martin Stříž, 2018. ISBN 978-80-87106-93-8.
- [4] TAUTZ, Jürgen; HEILMANN, Helga R.; MATYÁSKOVÁ, Olga. *Fenomenální včely: biologie včelstva jako superorganismu*. Praha: Brázda, s.r.o., 2021. ISBN 978-80-209-0433-1.
- [5] MATOUŠEK, D. *Programování mikrokontrolérů ATmega bez předchozích znalostí*. Computer Press, 2022. ISBN 978-80-251-5042-9.
- [6] PSNV. *Včelařství - svazek 1*. Praha: Grafotechna, 2016. ISBN 978-80-260-9090-8.
- [7] MALINA, Václav. *Digitální technika*. České Budějovice: KOOP, 1999. ISBN: 80-85828-70-7.
- [8] RNDr. ŠVAMBERK, Václav. *Včelařský výkladový slovník obrazový*. Kladno: Mája, 2016. GTIN C169954254720.
- [9] MALINA, Václav. *Poznáváme elektroniku I*. České Budějovice: KOOP, 2001. ISBN: 80-7232-039-4.
- [10] KREJČÍŘÍK, Alexandr. *Lineární napájecí zdroje*. Praha: BEN, 2001. ISBN: 80-7300-002-4.
- [11] NRF24101 datasheet [online]. Trondheim: Nordic Semiconductor, 2007. 74 s. [cit. 2023-01-25]. Dostupné z: <https://datasheetspdf.com/pdf-file/829184/Nordic/NRF24L01/1>
- [12] HX711 datasheet [online]. Sia-men: Nordic Semiconductor, 9 s. [cit. 2023-01-25]. Dostupné z: https://cdn.sparkfun.com/assets/learn_tutorials/5/4/6/hx711F_EN.pdf
- [13] CMA-4544PF-W datasheet [online]. Lake Oswego: CUI Devices, 2022. 4 s. [cit. 2023-01-15]. Dostupné z: <https://www.cuidevices.com/product/resource/cma-4544pf-w.pdf>
- [14] MAX9814 [online]. [cit. 2023-01-15]. Dostupné z: <https://learn.adafruit.com/adafruit-agc-electret-microphone-amplifier-max9814/>
- [15] Cenek. *Akumulátory od principu k praxi*. Praha: FCC, 2003. ISBN 80-86534-03-0

- [16] Monitoring of swarming sounds [online]. S. Ferrari a, M. Silva b, M. Guarino a, D. Berckmans b, 2008. [cit. 2023-01-03]. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0168169908001385>
- [17] Odporové tenzometry [online]. Antonín Vojáček, 2017. [cit. 2023-02-20]. Dostupné z: <https://automatizace.hw.cz/foliove-odporove-tenzometry-princip-provedeni-pouziti-historie.html>
- [18] FVE [online]. Praha: Silektro s.r.o., [cit. 2023-03-10]. Dostupné z: <https://www.silektro.cz/kolik-elektriny-vyrobi-vase-fve-rolu-hraje-nejen-lokalita-sklon-ci-orientace-panelu/>
- [19] FFT [online]. Schaan: NTi Audio, [cit. 2023-01-10]. Dostupné z: <https://www.nti-audio.com/en/support/know-how/fast-fourier-transform-fft>
- [20] Vážicí senzor YZC-161 [online]. [cit. 2023-02-12]. Dostupné z: <https://www.laskakit.cz/guang-ce-yzc-161-vazici-senzor-50kg/>
- [21] Senzor HTU21D datasheet [online]. Toulouse: TE Connectivity, 2015. 20 s. [cit. 2023-01-25]. Dostupné z: <https://www.farnell.com/datasheets/2207166.pdf>
- [22] Akumulátor MS9-12 datasheet [online]. MH Power, 2005. 1 s. [cit. 2023-02-20]. Dostupné z: <https://www.abctech.cz/img.asp?attid=92947>
- [23] Měnič s LM2596 datasheet [online]. ECLIPSE Modules, 2021. 1 s. [cit. 2023-02-20]. Dostupné z: <https://dratek.cz/docs/produkty/1/1243/1463386307.pdf>
- [24] Solární regulátor CN3065 datasheet [online]. 11 s. [cit. 2023-02-20]. Dostupné z: https://www.laskakit.cz/user/related_files/dse-cn3065.pdf
- [25] Proudový senzor INA219 datasheet [online]. Dallas: Texas Instruments, 2015. 38 s. [cit. 2023-02-20]. Dostupné z: <https://www.hadex.cz/spec/m439d.pdf>
- [26] Modul SIM900A [online]. Shanghai: SIMCom, 2009. 58 s. [cit. 2023-02-25]. Dostupné z: <https://dratek.cz/docs/produkty/0/911/sim900a.pdf>
- [27] Vývojová deska Arduino Nano 33 BLE [online]. 2024. 13 s. [cit. 2023-02-25]. Dostupné z: <https://docs.arduino.cc/resources/datasheets/ABX00030-datasheet.pdf>
- [28] Vývojová deska Arduino Nano EVERY [online]. 2024. 12 s. [cit. 2023-02-25]. Dostupné z: <https://docs.arduino.cc/resources/datasheets/ABX00028-datasheet.pdf>
- [29] Stabilizátor TC1262 datasheet [online]. Chandleru: Microchip Technology Inc, 2012. 14 s. [cit. 2023-01-30]. Dostupné z: <https://www.tme.eu/Document/5c863084350e1889bac1620bad670c94/TC1262.pdf>
- [30] Senzor BME280 datasheet [online]. Reutlingen: BOSCH, 2016. 54 s. [cit. 2023-03-01]. Dostupné z: <https://nettigo.eu/attachments/442>

6 Seznam obrázků

Obrázek 1 – Uspořádání protirojové analýzy	7
Obrázek 2 – Vzorkování spektra.....	8
Obrázek 3 – Kvantování spektra.....	9
Obrázek 4 – Dolní propust.....	9
Obrázek 5 – Blokované schéma měřicí karty.....	10
Obrázek 6 – Pohled na signál v časové a frekvenční oblasti	11
Obrázek 7 – Reprezentace FFT signálu s malou a velkou délkou bloku	13
Obrázek 8 – Plné můstkové zapojení tenzometrů.....	16
Obrázek 9 – Vyvážený a nevyvážený Wheatstoneův můstek	17
Obrázek 10 – Blokované schéma GSM brány	18
Obrázek 11 – DIP přepínač.....	20
Obrázek 12 – Arduino Nano 33 BLE.....	21
Obrázek 13 – Adafruit CMA	22
Obrázek 14 – Amplitudová frekvenční charakteristika přenosu.....	23
Obrázek 15 – Senzor HTU21D.....	24
Obrázek 16 – Solární regulátor CN3065	25
Obrázek 17 – Modul Gravity DFR0563	26
Obrázek 18 – Váhový senzor.....	28
Obrázek 19 – Propojení tenzometrů s HX711	28
Obrázek 20 – Uspořádání vážicí desky	29
Obrázek 21 – Moduly nRF24L01	30
Obrázek 22 – Zapojení měřicí karty.....	32
Obrázek 23 – Rozmístění uvnitř měřicí karty.....	33
Obrázek 24 – Použití měřicí karty	34
Obrázek 25 – Vývojová deska Arduino Nano Every	35
Obrázek 26 – Modul reálného času.....	36
Obrázek 27 – Modul BME280.....	36
Obrázek 28 – PWM solární regulátor.....	38
Obrázek 29 – Proudový senzor INA219	38
Obrázek 30 – DC/DC měnič s LM2596S.....	39
Obrázek 31 – SIM900A.....	40
Obrázek 32 – Zapojení GSM brány	41
Obrázek 33 – Uspořádání jednotlivých modulů GSM brány v boxu.....	42
Obrázek 34 – Blokované schéma firmwaru měřicí karty.....	45
Obrázek 35 – Blokované schéma firmwaru GSM brány	49
Obrázek 36 – Struktura webového portálu	51
Obrázek 37 – Webová prezentace – včelnice	53
Obrázek 38 – Webová prezentace – stav včelího úlu.....	54
Obrázek 39 – Volitelné pozice umístění magnetických držáků solárních panelů	57
Obrázek 40 – Vytažení voskové mezistěny v měřicí kartě.....	57
Obrázek 41 – Zatmelení otvorů nad mikrofonom	58
Obrázek 42 – Průběh nabití akumulátoru měřicí karty	59
Obrázek 43 – Zapojení ochrany proti přepětí a přepólování	60
Obrázek 44 – Graf teploty dvou včelnic.....	61
Obrázek 45 – Graf nabití baterie GSM brány na včelnici 1	61
Obrázek 46 – Graf nabití baterie GSM brány na včelnici 2	62

Obrázek 47 – Průběh úrovní frekvencí.....	63
Obrázek 48 – Nárůst úrovně frekvencí při rojení	64
Obrázek 49 – Průběh hmotnosti vzorového úlu.....	65

7 Seznam tabulek

Tabulka 1 – Porovnání sítí pro přenos dat z hlediska finančních nároků.....	15
Tabulka 2 – Propojení CMA s vývojovou deskou	22
Tabulka 3 – Výpočet proudové zátěže regulátoru měřicí karty	26
Tabulka 4 – Propojení nRF24L01 s Arduino BLE 33.....	30
Tabulka 5 – Propojení DS3231 a BME280 s vývojovou deskou	36
Tabulka 6 – Výpočet proudové zátěže GSM brány	39
Tabulka 7 – Přenosový protokol měřicí karty	48
Tabulka 8 – Struktura protokolu přenosu dat GSM brána -:> CLOUD.....	51
Tabulka 9 – Celkové náklady – měřicí karta	55
Tabulka 10 – Celkové náklady – GSM brána.....	56

Přílohy

Příloha A – Navržené desky plošných spojů

Příloha B – 3D tisk použitých dílů

Příloha C – Vážicí desky tenzometrů

Příloha D – Aplikace v LabVIEW

Příloha E – Fotografie realizace a nasazení

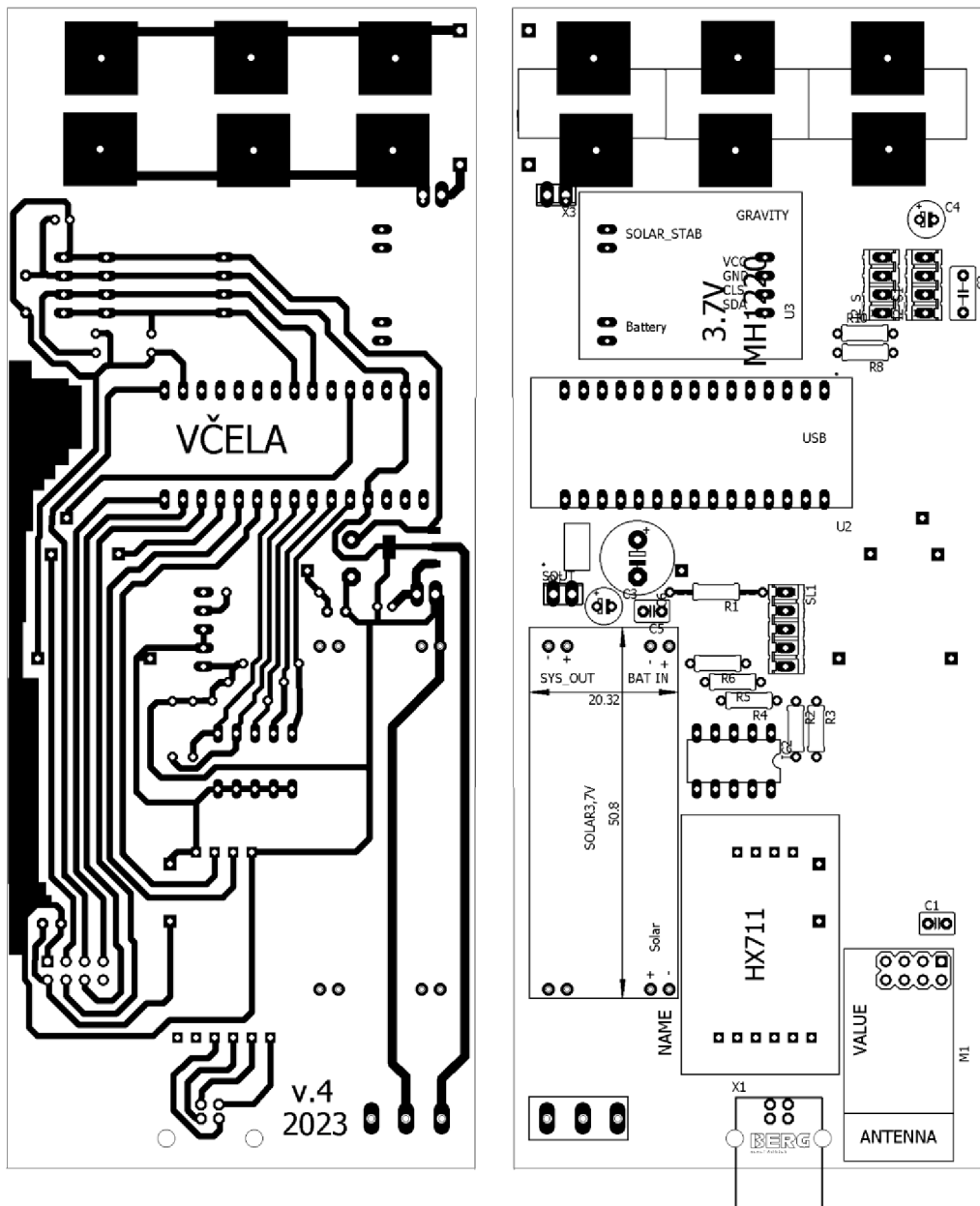
Příloha F – Obsah datového nosiče CD-ROM

Příloha A – Navržené desky plošných spojů

Desky plošných spojů byly navrženy v softwaru Eagle 7.5.0. Na přiloženém nosiči jsou umístěny použité návrhy desek plošných spojů, uložené v souborovém formátu programu Eagle s příponou *.brd. Desky plošných spojů obsahují vrstvu spojů (Bottom Layer).

Propojovací deska měřicí karty

Propojovací deska měřicí karty je realizována jako jednovrstvá deska plošných spojů o rozměrech 65 × 159 mm.

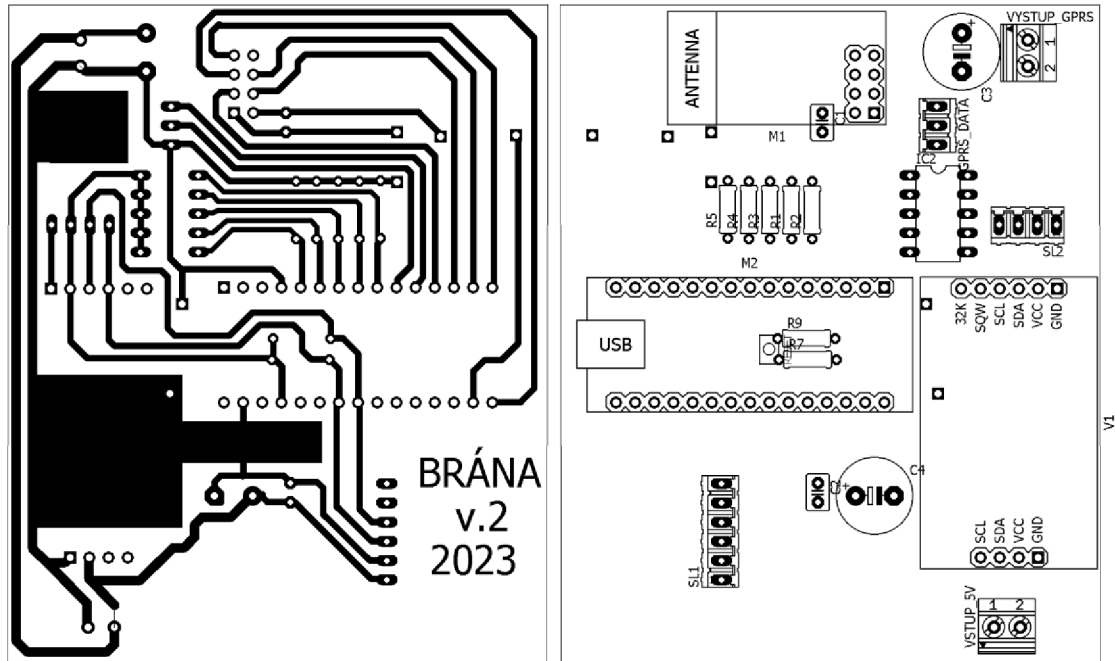


Použité součástky na měřicí kartu

označení	druh	hodnota
C1-C4	keramický kondenzátor	10 μ F, 50 V, pouzdro C2,5-3
C5	keramický kondenzátor	51,7 μ F, 50 V, pouzdro C2,5-3
C6	elektrolytický kondenzátor radiální	470 μ F, 50 V, pouzdro E5-10,5
R1	metalizovaný rezistor	5k1 1 %, pouzdro 0207/12
R2-R6	metalizovaný rezistor	10k 1 %, pouzdro 0207/7
R7, R8	metalizovaný rezistor	47k 1 %, pouzdro 0207/7
IC2	DIP přepínač	5 sekční, rozteč 2,54 mm
M1	modul NRF42	
U1	stabilizátor	TC1262-3.3VDB SOT23
U2	Arduino Nano BLE 33	
U3	modul Gravity	
U4	solární regulátor	CN3065
UO1	vypínač	
X1	USB 2.0 konektor typu B samice	
HX711	modul AD převodníku	HX711
I2S, I2S1	dupont lišta samice-samec	4 pin
SL1	dupont lišta samice-samec	6 pin
SOUT, X3	svorkovnice	2 pin, rozteč 3,5 mm, 10 A

Propojovací deska GSM brány

Propojovací deska GSM brány je realizována jako jednovrstvá deska plošných spojů o rozměrech 72 × 87 mm.



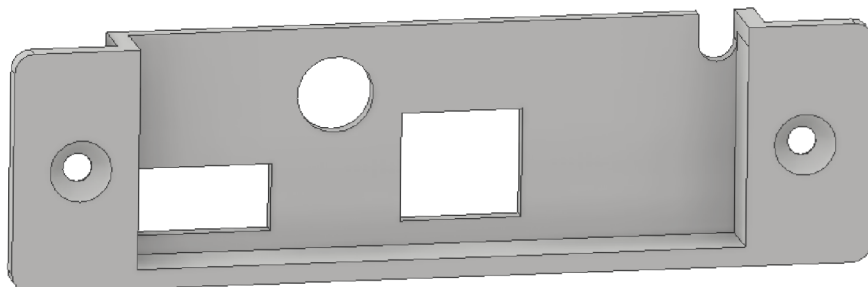
Použité součástky na GSM bránu

označení	druh	hodnota
R1-R5	metalizovaný rezistor	10k 1 %, pouzdro 0207/7
R6, R7	metalizovaný rezistor	4k7 1 %, pouzdro 0207/7
C1, C2	keramický kondenzátor	1 μ F, 50 V, pouzdro C2,5-3
C3, C4	elektrolytický kondenzátor radiální	470 μ F, 50 V, pouzdro E5-10,5
SL1	dupont lišta samice-samec	6 pin
SL2	dupont lišta samec-samec	4 pin
GPRS_DATA	dupont lišta samice-samec	3 pin
VSTUP_5V	svorkovnice	2 pin, rozteč 3,5 mm, 10 A
VYSTUP_GPRS	svorkovnice	2 pin, rozteč 3,5 mm, 10 A
IC2	DIP přepínač	5 sekční, rozteč 2,54 mm
M1	modul NRF42	
M2	Arduino Nano Every	
V1	modul RTC-DS3231-AT24C32	

Příloha B – 3D tisk použitých dílů

Pomocí technologie 3D tisku byl vytisknutý kontrolní panel měřicí karty, který zajišťuje připojení jednotlivých konektorů.

Obrázek – Kontrolní panel měřicí karty



Dále byly vytisknuty držáky tenzometrů a držák senzoru klimatu pro GSM bránu. Všechny díly byly nakresleny v programu Autodesk Inventor Professional 2019.

Obrázek – Montážní prvek tenzometru

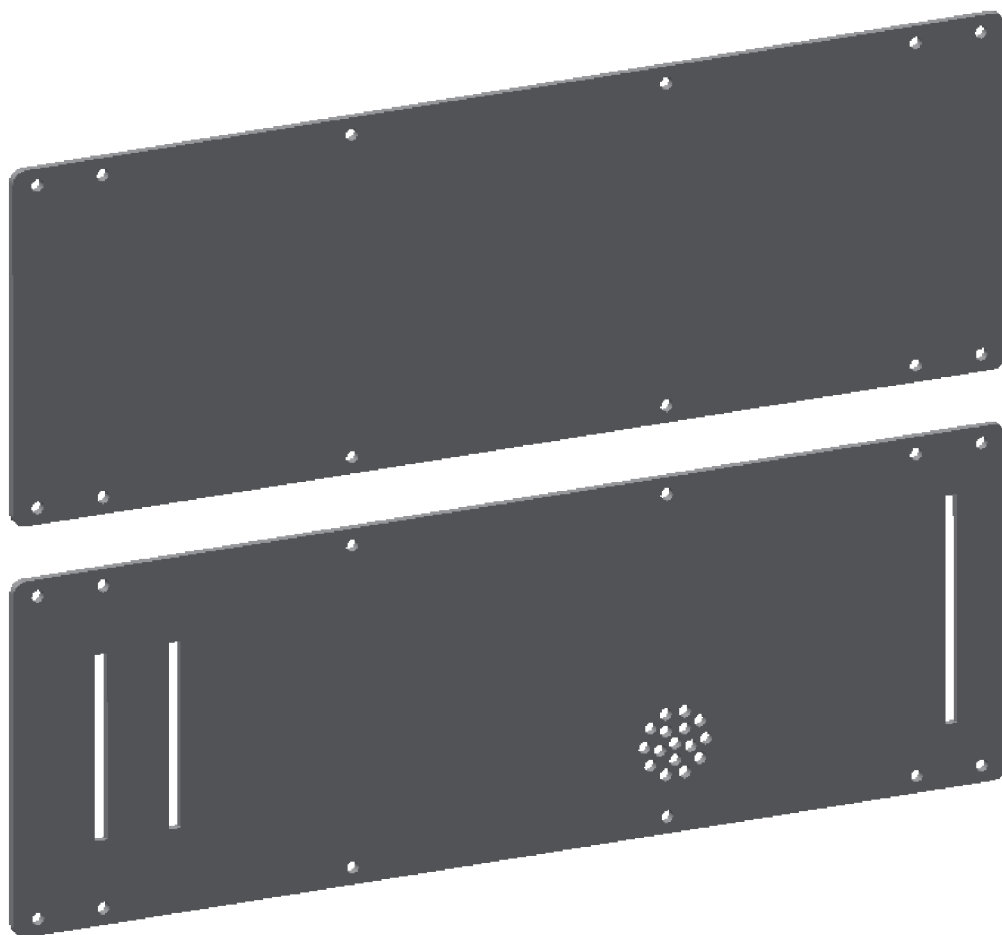


Obrázek – Držák senzoru klimatu



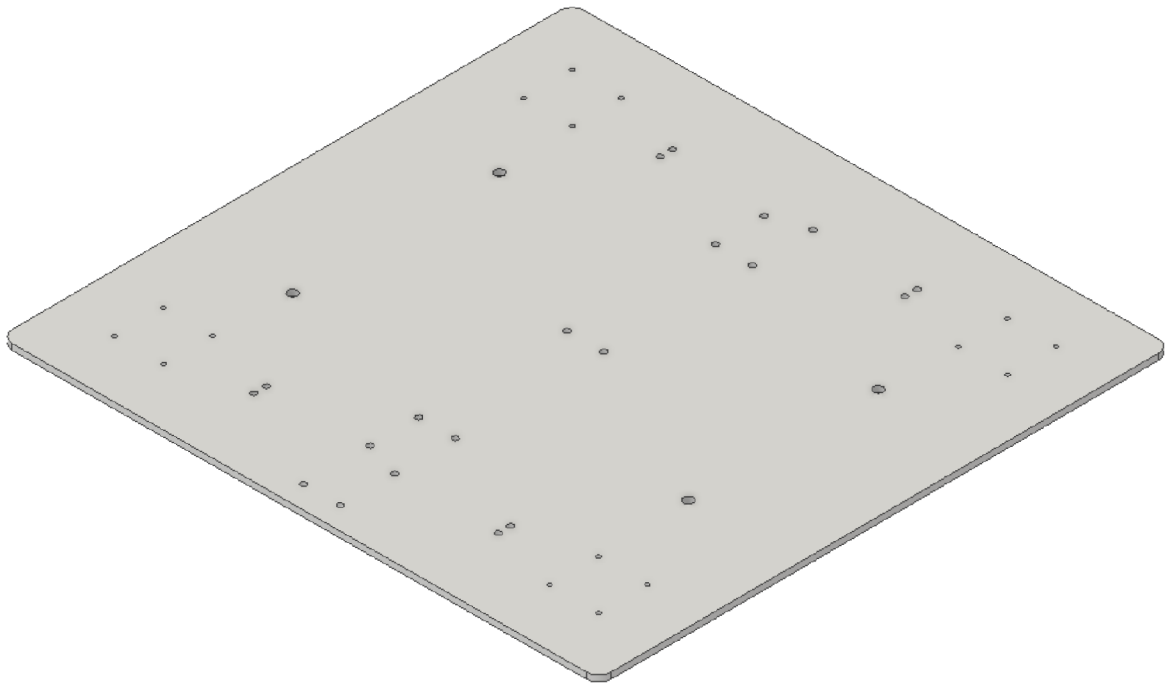
Boční desky měřicí karty byly vyříznuty CNC gravírovacím laserem dle dodaných dat z programu Autodesk Inventor Professional 2019.

Obrázek – Boční desky měřicí karty



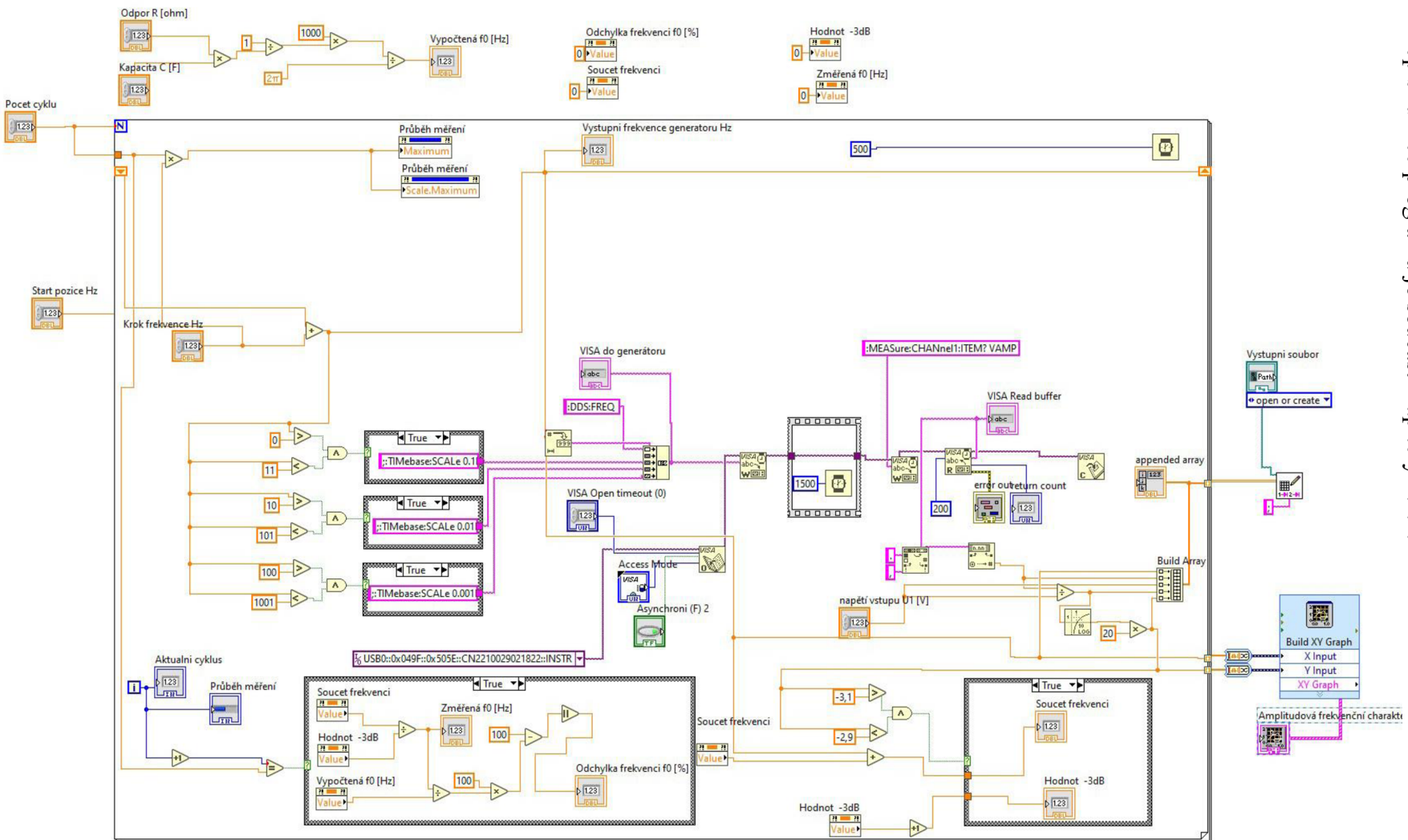
Příloha C – Vážicí desky tenzometrů

Pro vážení jednotlivých úlů byly vyvinuty hliníkové vážicí desky. Součástí elektronické přílohy je i 3D model a dxf soubor pro výrobu.



Příloha D – Aplikace v LabVIEW

Popis funkce programu je součástí kapitoly 4.1.2.



Příloha E – Fotografie realizace a nasazení

Měřicí karta připravena k usazení



Pohled na konektory u měřicích karet



GSM brána připravena k použití



Nainstalovaná GSM brána včetně solárního p.



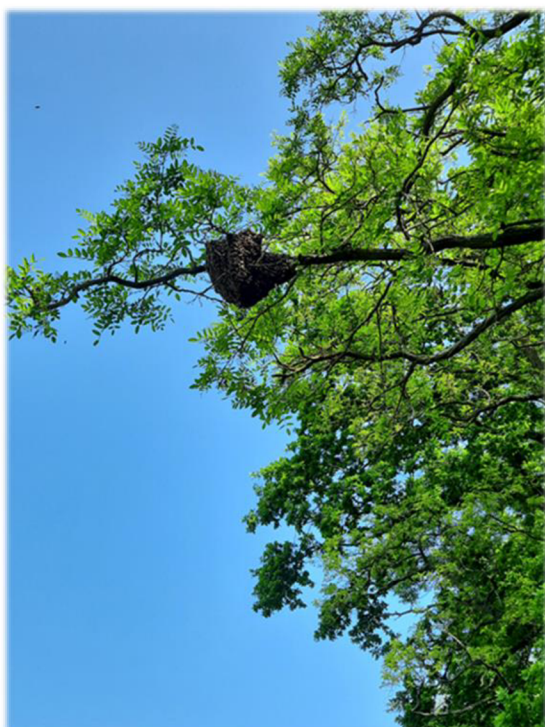
Update firmwaru měřicí karty



Příprava na rojení



Vyrojené včelstvo



Chycené včelstvo lezoucí do rojáčku



Příloha F – Obsah datového nosiče CD-ROM

Struktura uložených dat:

- 3Dmodely** - kontrolni_panel.ipt
 - uchytenozometru.ipt
 - kryt_senzoru_atmosfery.ipt
 - tenzometricka_deska.ipt
 - tenzometricka_deska.dxf
- CNC** - panel_bocniA.ipt
 - panel_bocniB.ipt
- Eagle** - schema_merici_kart.sch
 - schema_GSM_brama.sch
 - dps_merici_kart.brd
 - dps_GSM_brama.brd
 - libraries.rar
- Arduino** - merici_karta_v6.ino
 - GSM_brama_v7.ino
- WEB** - celá struktura webu www.uivcela.cz
 - databaze.mysql

Hejhal_diplomova_prace.pdf