



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH TECHNOLOGIÍ

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION

ÚSTAV TELEKOMUNIKACÍ

DEPARTMENT OF TELECOMMUNICATIONS

SYSTÉM PRO SLEDOVÁNÍ ZVĚŘE

WILDLIFE TRACKING SYSTEM

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. Jakub Zdražil

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Pavel Paluřík

BRNO 2025

Diplomová práce

magisterský navazující studijní program **Telekomunikační a informační technika**

Ústav telekomunikací

Student: Bc. Jakub Zdražil

ID: 230917

Ročník: 2

Akademický rok: 2024/25

NÁZEV TÉMATU:

System pro sledování zvěře

POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

Navrhněte a realizujte systém pro sledování zvěře. Teoretická část práce bude obsahovat rešerši aktuálně dostupných systémů s podobnou funkcionalitou. Praktická část práce bude obsahovat návrh a realizaci sledovacího systému, který se bude skládat ze sensorické jednotky s patřičnými rozšířeními a vhodného systému monitoringu (např. ThingsBoard, Grafana). Jednotka bude vybavena vhodným napájecím médiem a bezdrátovou komunikací (např. GSM, LPWAN). V systému budou obsaženy také vstupy z externích senzorů (např. obrazových), které budou dále vhodně zpracovány. Součástí bude implementace adekvátní formy zabezpečení celého systému s přihlédnutím na účel použití.

Výstupem diplomové práce bude návrh a realizace funkčního vzorku sensorické jednotky, zprovoznění monitorovací platformy a spojení se sensorickou jednotkou, případová studie reálného nasazení a analýza spolehlivosti systému v praktických podmínkách.

DOPORUČENÁ LITERATURA:

Podle pokynů vedoucího práce.

Termín zadání: 10.2.2025

Termín odevzdání: 27.5.2025

Vedoucí práce: Ing. Pavel Paluřík

prof. Ing. Jiří Mišurec, CSc.
předseda rady studijního programu

UPOZORNĚNÍ:

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

ABSTRAKT

Tato práce se zabývá vývojem zařízení pro vzdálené sledování stavu sklapovacích pastí určených k odchytu škodné zvěře. Cílem je eliminovat nedostatky spojené s tradičním způsobem kontroly pastí, především z hlediska času, bezpečnosti a stresu zvířat. V první části práce je provedena analýza dostupných technologií pro sledování zvěře i přenos dat, přičemž jako nejvhodnější komunikační technologie byla vybrána kombinace technologií CatM a NB-IoT díky svému pokrytí, energetické efektivitě a dostupným tarifům. Následuje popis návrhu prototypu zařízení založeného na mikrokontroléru ESP32 a modulu BG77 pro komunikaci, doplněného o senzory teploty a hmotnosti. Popsán je vývoj čtyřvrstvé desky plošných spojů, softwarová implementace v jazyce C++ i použití platformy ThingsBoard pro vizualizaci dat. Zařízení bylo testováno v laboratorních podmínkách a byly identifikovány klíčové problémy, zejména vliv teploty a mechanické konstrukce na přesnost vážení. Výsledkem je funkční prototyp, který představuje krok k efektivnějšímu a humánnějšímu způsobu kontroly odchyťových zařízení v myslivecké praxi.

KLÍČOVÁ SLOVA

IoT, ESP32, BG77, HX711, myslivost, sklapovací pasti

ABSTRACT

This thesis deals with the development of a device for remote monitoring of the status of traps designed to catch harmful game. The aim is to eliminate the shortcomings associated with the traditional method of trap monitoring, particularly in terms of time, safety and animal stress. In the first part of the thesis, an analysis of the available technologies for both game monitoring and data transmission is performed, with the combination of CatM and NB-IoT technologies selected as the most suitable communication technology due to their coverage, energy efficiency and affordable tariffs. This is followed by a description of the design of a prototype device based on the ESP32 microcontroller and the BG77 module for communication, complemented by temperature and weight sensors. The development of the four-layer PCB, the software implementation in C++ and the use of the ThingsBoard platform for data visualization are described. The device was tested under laboratory conditions and key issues were identified, in particular the effect of temperature and mechanical design on weighing accuracy. The result is a working prototype that represents a step towards a more efficient and humane way of controlling trapping devices in hunting practice.

KEYWORDS

IoT, ESP32, BG77, HX711, hunting, game traps

ZDRAŽIL, Jakub. *Systém pro sledování zvěře*. Diplomová práce. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, Ústav telekomunikací, 2025. Vedoucí práce: Ing. Pavel Paluřík

Prohlášení autora o původnosti díla

Jméno a příjmení autora: Bc. Jakub Zdražil
VUT ID autora: 230917
Typ práce: Diplomová práce
Akademický rok: 2024/25
Téma závěrečné práce: Systém pro sledování zvěře

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

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

Brno

.....

podpis autora*

*Autor podepisuje pouze v tištěné verzi.

PODĚKOVÁNÍ

Rád bych poděkoval vedoucímu diplomové práce panu Ing. Pavlovi Paluříkovi za odborné vedení, konzultace, trpělivost a podnětné návrhy k práci. Chci také poděkovat své přítelkyni Monice a celé rodině za podporu během studia.

Obsah

Úvod	13
1 Problematika funkce sklapovací pasti	15
1.1 Princip funkce sklapovací pasti	15
1.2 Nedostatky sklapovacích pastí	15
2 Dostupná zařízení na trhu vhodná pro sledování sklapovacích pastí	17
2.1 Fotopasti	17
2.1.1 Princip funkce fotopasti	17
2.1.2 Offline fotopasti	19
2.1.3 GSM fotopasti	20
2.2 Komerční GSM moduly	21
2.2.1 Zhodnocení GSM modulů pro požadované použití	23
2.3 GSM alarmy	24
2.3.1 Princip fungování GSM alarmu	24
2.3.2 Zhodnocení GSM alarmů pro požadované použití	24
2.4 Dostupné ekvivalenty na trhu	25
2.4.1 OcuTrap	25
2.4.2 Remoti Systems	26
2.4.3 Skyhawk Kiwi	27
2.5 Celkové zhodnocení	28
3 Dostupné bezdrátové komunikační technologie	29
3.1 Dělení přenosových pásem	29
3.2 Komunikační technologie využívající licenční pásmo	31
3.2.1 Připojení pomocí mobilní sítě	31
3.2.2 CatM (Category M)/ LTE/M (Long Term Evolution M)	32
3.2.3 NB-IoT (Narrow Band - Internet Of Things)	35
3.3 Komunikační technologie využívající bezlicenční pásmo	36
3.3.1 LPWAN	36
3.3.2 Sigfox	38
3.3.3 ZigBee - IEEE 802.15.4	38
3.3.4 Wi-Fi IEEE 802.11	39
3.3.5 Bluetooth - IEEE 802.15.1	40
3.3.6 Thread	42
3.3.7 Matter	43
3.3.8 Wi-Fi HaLow - IEEE 802.11ah	45

3.3.9	MiWi	45
3.4	Satelitní připojení	46
3.4.1	Zhodnocení a výběr vhodné komunikační technologie	48
4	Návrh zařízení	49
4.1	Použité komponenty pro prototyp zařízení	49
4.1.1	Mikrokontrolér ESP32	49
4.1.2	NB-IoT/CatM modul Quectel BG77	50
4.1.3	Senzor teploty DS18B20	52
4.1.4	Tenzometry GUANG CE YZC-161	52
4.1.5	HX711	53
4.1.6	Servo motor SG90	53
4.2	Design PCB (Printed Curcuit Board)	55
4.2.1	Altium Designer	55
4.2.2	Rozložení PCB	55
4.2.3	Komponenty a jejich funkce	56
4.3	Software	58
4.3.1	Iniciace zařízení	59
4.3.2	Režim spánku modulu BG77	59
4.3.3	Nastavení APN a PDP (Packet Data Protocol) kontextu	60
4.3.4	Formátování odesílaných dat	60
4.3.5	Odeslání dat na server	60
4.3.6	Výpočet času spánku pro mikrokontrolér ESP32	61
4.3.7	Hlavní logika zařízení	61
4.4	GNSS	62
4.5	Serverová část	66
4.6	Kryt pro zařízení	68
4.7	Zabezpečení zařízení	68
4.8	Testování	70
4.8.1	Proudový odběr a životnost baterie	70
4.8.2	Váhové senzory	71
	Závěr	73
	Literatura	75
	Seznam symbolů a zkratk	82
	Seznam příloh	86
	A Příloha - PCB	87

B Příloha - Software	91
C Příloha - Kryt pro zařízení	93
D Obsah elektronické přílohy	94

Seznam obrázků

1.1	Typická podoba sklapovací pasti	16
2.1	Popis základních částí offline fotopasti	19
2.2	Popis základních částí GSM fotopasti	22
2.3	Příklad komerčně dostupného GSM modulu	22
3.1	Schéma upraveného TCP/IP modelu pro potřeby Matter	44
3.2	Podoba uživatelského terminálu pro příjem satelitního internetu konstelace Starlink	47
4.1	Schéma základní struktury konceptu projektu.	49
4.2	Schéma jednotlivých GPIO pinů na mikrokontroléru ESP32 WROOM-32E	51
4.3	Schéma zapojení váhových senzorů	54
4.4	Podoba PCB prototypu zařízení	57
4.5	Schéma logiky GNSS.	63
4.6	Jedna z mnoha možných podob uživatelského rozhraní	67
4.7	Logika zpracování alarmu.	67
4.8	Prototyp zařízení umístěný ve spodní polovině krytu.	69
A.1	Schéma PCB desky pro zařízení	88
A.2	Schéma PCB desky pro zařízení	89
A.3	Schéma PCB desky pro zařízení.	90
B.1	Schéma funkce programu.	92
C.1	Vizualizace krytu pro zařízení.	93

Seznam tabulek

3.1	Tabulka dělení používaných frekvencí.	29
3.2	Tabulka známých frekvencí.	30
3.3	Tabulka jednotlivých vývojových verzí standardu 802.11.	40
4.1	Komponenty osazené na PCB.	56
4.2	Tabulka analyzující proudový odběr během jednotlivých fází funkce zařízení.	72

Seznam výpisů

1	Umístění proměnných do formátu JSON	60
2	Příklad věty GNGGA	63
3	Funkce sleepTime()	64
4	Funkce closingLogic()	65
5	Ukázka nastavení funkce geofencing na modulu BG77. V tomto pří- padě je vytvořen okruh 500m okolo FEKT VUT.	70

Úvod

Myslivost - obor, který se dnes mnoha lidem může zdát jako obor nezajímavý a nepotřebný. Opak je však pravdou. Myslivci se již několik generací snaží jednak o udržení rovnováhy zvěřecích druhů v okolí našich domovů, ale také dbají na jejich bezpečí a ochranu. Ve spojení s udržení rovnováhy a zajištěním bezpečí zvěřecích druhů je také nutná regulace populace takzvaných škodných druhů. Škodnými druhy se myslí jak zvířata pro daný ekosystém typická, tak i zvířata, jejichž zavlečení do daného ekosystému způsobil člověk svou činností. Právě zejména zvířata zavlečená do daných ekosystémů jsou pro místní druhy zvířat obzvláště nebezpečná, jelikož představují druh, který velmi často nemá v daném ekosystému přirozeného predátora, a proto se mohou bez větších obtíží rychleji rozmnožovat a rozšiřovat.

Jedním ze způsobů, jak regulovat počet škodné zvěře v přírodě je formou jejího odstřelu. Tato forma ale nemusí být vždy vhodná. Odstřel nemůže probíhat v blízkosti lidských obydlí, kde by kulka mohla někoho vážně zranit, či dokonce zabít. V dnešní době se také tato forma regulace škodné zvěře může pro některé občany zdát jako nehumánní a zbytečně drastická. Zároveň je také tato forma regulace časově náročná, jelikož musí být myslivec u odstřelu přítomný, a tak tento proces často zabere několik hodin času.

Tyto problémy lze řešit pomocí odchyty škodné zvěře. K tomu se nejčastěji využívá tzv. sklapovacích pastí. V podstatě se jedná o klece vybavené jednoduchým mechanismem, který po vniknutí zvířete do klece spustí z obou stran padající dvířka a zvíře tak zachytí uvnitř. To pak může být přemístěno do jiné lokality či humánním způsobem utraceno. Nedochozí tak k ohrožení občanů a myslivci šetří svůj čas. Stále však může docházet ke stresování zvířete. Proto je nutné, aby bylo zvíře z pasti vyjmuto co nejdříve. Myslivci však nemůžou být při pasti přítomni stále a v jejím okolí musí být dostatečný klid, aby zvíře do pasti vstoupilo. Často proto kontrolují pasti v horizontu několika dní, během kterých je zvíře v pasti drženo a zbytečně stresováno.

Cílem této práce je proto vyvinout zařízení, které bude umístěno na pasti, a které dokáže pomocí vhodného komunikačního kanálu myslivce o přítomnosti zvířete v pasti informovat.

První část práce obsahuje rešerši dostupných technologií pro sledování zvěře. Jsou zde zhodnoceny klady a zápory dostupných řešení na trhu a jejich vhodnost pro toto konkrétní použití.

Druhá část práce obsahuje rešerši dostupných komunikačních technologií. Je zde shrnuta jejich historie, vlastnosti, klady a zápory. Ze zmíněných technologií je pak vybrána ideální technologie pro požadovaný projekt - kombinace technologií Cat-M a NB-IoT.

Třetí část práce popisuje samotný vývoj a testování prototypu zařízení. Začátek kapitoly popisuje důvod výběru jednotlivých komponent. Dále je zde popsána funkce DPS (Desky Plošných Spojů) a softwaru. Vyvinut byl také prototyp krytu, ve kterém bude zařízení umístěno. Kapitola popisuje také důvody pro výběr dané použité technologie serveru. Konec kapitoly pak popisuje testování prototypu zařízení, nalezené nedostatky a připomínky, které je třeba brát v potaz při vývoji dalších verzí zařízení.

1 Problematika funkce sklapovací pasti

Velmi často skloňovaným slovním spojením v této práci bude pojem tzv. sklapovací past. Následující kapitoly proto obsahují popis funkce sklapovací pasti a její případné nedostatky.

1.1 Princip funkce sklapovací pasti

Jak již bylo zmíněno v úvodu, jedná se o klec ve tvaru kvádru, která je v připraveném stavu přístupná z obou stran. Ve středu pasti se pak nachází vahadlová plocha. Osa této plochy je pak vyvedena mimo sklapovací past a je zakončena krátkým háčkem.

Obě menší strany kvádru tvoří padací dvířka jakožto vstupy do pasti. Dvířka jsou v připraveném stavu umístěna v horní poloze a past je tak průchozí. V horní poloze dvířka drží díky pákovému mechanismu, který je pro každá dvířka vlastní. Tyto mechanismy mají k sobě upevněné tenká lanka, jejichž druhé konce jsou zakončeny kroužkem. Tyto kroužky jsou zachyceny na krátkém háčku zmíněném v předchozím odstavci.

Na středové vahadlo, případně do jeho blízkosti, je pak umístěna návnada, typická pro dané odchyťované zvíře. Pokud zvíře vstoupí na vahadlo, dojde k vysmýknutí kroužků z háčku, čímž dojde k uvolnění pákových mechanismů a rychlému spuštění dvířek. Zvíře je pak zachyceno uvnitř pasti a není schopné se dostat ven [1, 2].

Příklad sklapovací pasti je vidět na Obr. 1.1.

1.2 Nedostatky sklapovacích pastí

Jelikož se jedná o mechanické zařízení, je jeho funkčnost spojena s řadou nedostatků:

- **Obtížnost nastavení** - z návaznosti na kapitolu 1.1 víme, že správná funkčnost sklapovací pasti je závislá na vysmýknutí kroužků z háčku osy vahadla. To vyžaduje pečlivé nastavení, které nemusí být pro jednoho člověka jednoduché. Pokud jsou kroužky navlečeny na háček hluboko, může dojít k selhání mechanismu a dvířka se nespustí.
- **Vysoká citlivost** - tato vlastnost je opět závislá na principu funkce sklapovací pasti. Jak je uvedeno v prvním bodě, správná funkce je závislá na hloubce navlečení kroužků na háček. To s sebou ovšem nese také nízkou resistenci proti okolním vlivům, zejména větru. Často se proto stává, že vítr opírající

se do vahadla nebo přímo to napnutých lanek způsobí spuštění pasti a nutnost jejího opětovného nastavení.

- **Neschopnost rozlišit odchyťávané zvíře** - použitý mechanismus pasti neumožňuje rozlišit odchyťávané zvíře, například na základě jeho hmotnosti. Každé zvíře, které má dostatečnou hmotnost pro otočení vahadla, je v pasti zachyceno. Často se tak stává, že je past zbytečně spuštěna například pohybem potkanů [3, 4].



Obr. 1.1: Typická podoba sklapovací pasti [5].

2 Dostupná zařízení na trhu vhodná pro sledování sklapovacích pastí

Na trhu se v dnešní době vyskytuje již řada alternativních zařízení, která jsou svou funkcí podobná vyvíjenému zařízení, případně jsou již v myslivecké praxi využívána. V následujících kapitolách jsou tato zařízení popsána, včetně jejich výhod nebo případných nedostatků.

2.1 Fotopasti

Prvním a pravděpodobně zdaleka nejrozšířenějším řešením mezi myslivci je právě využití fotopastí. Tato zařízení se s postupným příchodem levnější elektroniky stala dostupnou a oblíbenou součástí výbavy prakticky každého myslivce.

Jak už název napovídá, fotopast je přenosné zařízení pracující na principu pořizování fotografií nebo krátkých videí. Nejčastěji se sestává ze zdroje energie (často sady tužkových baterií, může být ale rozšířena i o solární panel nebo externí baterii s vyšší kapacitou), pohybového senzoru PIR (Passive Infra Red), nočního IR (Infra Red) přísvitu, úložiště - nejčastěji v podobě SD (Secure Digital) karty a samotného senzoru kamery. Podoba některých komponent je zřejmá z Obr. 2.1 [6].

2.1.1 Princip funkce fotopasti

Fotopast funguje na principu detekce pohybujícího se předmětu pomocí PIR senzoru.

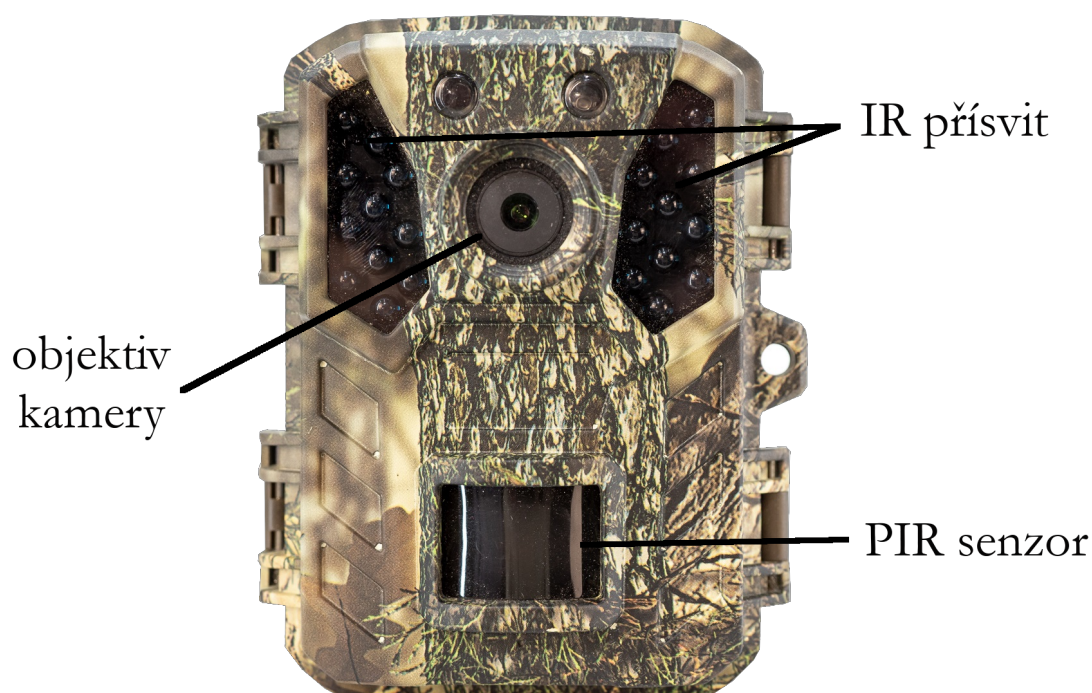
Tento senzor funguje na principu dopadu tepelného záření na pyroelektrický snímač. K soustředění světla na senzor je použito Fresnelových čoček. Uvnitř senzoru se pak nachází dvě pyroelektrické destičky, které jsou zapojeny v rozdílovém zapojení. Díky tomu jsou eliminovány rušivé vlivy. Fresnelovy čočky rozdělí světlo na dva laloky. Pokud je intenzita mezi dvěma destičkami rozdílná - v zorném poli senzoru se nachází zdroj infračerveného záření/tepla - živý tvor, dojde ke spuštění sekvence a pořízení fotky nebo videa [7, 8]. Pokud senzor intenzity osvětlení, který bývá často ukryt v modulu IR přísvitu, rozpozná nižší intenzitu osvětlení, je při pořízení obrazu zapnut IR přísvit a z objektivu pomocí posuvného mechanismu odejmutý filtr IR světla. Pokud je úroveň osvětlení okolí dostatečná, zůstává filtr na svém místě a IR přísvit se nespustí. Po pořízení fotografie je fotografie uložena na paměťové medium, kde se s ní podle typu fotopasti dále pracuje [6, 9, 10].

Můžeme rozlišovat dva základní typy fotopasti:

- Offline fotopasti s ukládáním fotek na paměťové medium,
- GSM (Groupe Spécial Mobile) fotopasti.

2.1.2 Offline fotopasti

Fotopasti, jako je ta na Obr. 2.1, patří do skupiny offline fotopastí. Jak již jejich název napovídá, nejsou schopny s uživatelem komunikovat bezdrátově. Jejich nastavení je uloženo na paměťovém mediu - SD kartě, kde také na základě předchozího nastavení ukládají pořízené fotky a videa. Uživatel zde provádí nastavení času a parametrů spojených s pořizováním fotografií a videa, jako je například požadovaná kvalita fotografií či délka videa. Pro získání obrazového záznamu musí být navštíveno místo instalace a manuálně vyjmuta paměťové medium ze zařízení [11].



Obr. 2.1: Popis základních částí offline fotopasti (upraveno z [12]).

Jako výhody offline fotopastí můžeme považovat:

- **Dlouhá životnost akumulátoru** - fotopast nemusí mít vysílač a nemusí komunikovat se sítí GSM, proto zpravidla tyto fotopasti vydrží v provozu řádově i několik měsíců.
- **Nízká cena** - offline fotopasti neobsahují hardware pro komunikaci přes síť GSM, proto jsou jejich náklady na výrobu nižší a jejich celková cena je tím pádem také nižší. Zároveň odpadá nutnost pořizování SIM (Subscriber Identity Module) karty a s tím spojené pravidelné placení datového balíčku.
- **Vyšší kvalita fotografií** - GSM fotopasti často nezasílají fotografie v plné kvalitě z důvodu šetření datového objemu. Pro aplikace v myslivosti jsou

mnohdy kvalitní fotky klíčové. Lze na nich rozpoznat například pohlaví a věk zvířete [13].

Mezi nevýhody offline fotopastí nejen z pohledu možnosti použití v kombinaci s odchytom škodné zvěře pak patří:

- **Nízká kvalita zpracování** - kvalita zpracování fotopastí je často velmi špatná. Souvisí s tím také chyby v designu, kdy se do útrob zařízení dostává voda a dochází tak k jeho poškození. Obecně se však tyto defekty objevují u zařízení všech cenových kategorií.
- **Neschopnost komunikace na dálku** - pro naši požadovanou aplikaci se jedná o zásadní funkci [13].

Z výše zmíněných důvodů tak můžeme offline fotopasti považovat jako nevyhovující pro aplikaci při odchytu škodné zvěře. Offline režim totiž při tomto nasazení neposkytuje uživateli žádnou další výhodu.

2.1.3 GSM fotopasti

Obrázek č. 2.2 ukazuje typický příklad GSM fotopasti. Jsou to takové fotopasti, které jsou vybaveny modulem pro připojení k síti GSM. Proto bychom je mohli označit jako online fotopasti. Princip jejich fungování je z velké části shodný jako v případě offline fotopastí. Konfigurační soubor je také uložený na paměťovém mediu, kterým nejčastěji bývá opět SD karta. Na rozdíl od offline fotopastí je zde však umožněno odeslání pořízených fotografií na email uživatele, případně je také možné provést změnu nastavení fotopasti pomocí SMS (Short Message Service) zpráv. Dnes jsou nejrozšířenější fotopasti podporující síť 4G (4th generation), Většina z nich ale podporuje také starší síť 2G (2nd generation) [6].

Jako výhody GSM fotopastí můžeme označit:

- **Online režim** - jsou schopny zasílat fotografie a videa na email klienta. Zároveň je možné v případě potřeby měnit jejich nastavení vzdáleně bez nutnosti navštívit dané místo instalace.
- **Rozpoznání zachyceného zvířete** - ze zaslané fotografie je uživatel schopen rozeznat zvíře, které se v pasti nachází [15].

Mezi nevýhody pak můžeme zařadit:

- **Vysoká spotřeba energie** - na rozdíl od offline fotopastí je výdrž akumulátoru GSM fotopastí výrazně nižší. Výdrž takové fotopasti se udává v řádu

dní, pokud není kapacita akumulátoru rozšířena o externí zdroj. V takovém případě je výdrž těchto fotopastí v řádu týdnů.

- **Nutnost pořízení SIM karty s datovým balíčkem** - pro správnou funkci GSM fotopasti je nutné vybavit ji SIM kartou s určitým datovým balíčkem. Jak již bylo zmíněno, pro účely myslivosti je často kvalita zaslané fotografie klíčová. S rostoucí kvalitou fotografií roste datová spotřeba. Kompenzovat to lze snížením četnosti zasílání fotografií nebo pořízením objemnějšího datového balíčku.
- **Falešné poplachy** - vzhledem k tomu, že fotopast pouze detekuje pohyb a není schopna rozpoznat skutečnost, zda je zvíře skutečně chyceno, může docházet k zasílání fotografií, kde se zvíře k pasti pouze přiblíží či kolem ní projde. Další příčinou zasílání falešných poplachů mohou být ostatní pohybující se předměty v okolí, nejčastěji stébla trávy nebo listí na stromech.
- **Nutnost údržby** - čočka kamery se může vlivy venkovního prostředí zašpinit, fotopast tak ztrácí svou funkčnost a je třeba návštěvy uživatele v místě instalace.
- **Odolnost proti zlodějům a vandalům** - pro správnou funkci fotopasti je nutné ji umístit do blízkosti pasti tak, aby na ni kamera měla správný výhled. To s sebou nese riziko odcizení fotopasti, jelikož je umístěna přibližně v úrovni očí [15].

Díky výše zmíněným důvodům můžeme GSM/online fotopasti považovat jako částečně vhodné pro zamýšlené nasazení. Zejména výdrž baterie a nákladnost v podobě nutnosti pořízení datové SIM karty však použití v terénu mohou limitovat.

2.2 Komerční GSM moduly

Na trhu je kromě fotopastí dostupná také řada GSM modulů. Na základě jejich nastavení pak může uživatel dostávat SMS zprávy či telefonní hovor. Tyto moduly jsou vybavené GSM přijímačem, často doplněné o piny pro připojení jednoduchých dvoustavových externích senzorů. Dvoustavový senzor je takový senzor, jehož výstupní hodnota může nabývat pouze dvou úrovní, často nazývaných jako „zapnuto“ a „vypnuto“. V kontextu GSM modulů můžeme zmínit magnetické spínače, které jsou často používané pro detekci otevření dveří nebo oken [7, 8].

Příklad GSM modulu je na Obr 2.3.



Obr. 2.2: Popis základních částí GSM fotopasti (upraveno z [14]).



Obr. 2.3: Příklad komerčně dostupného GSM modulu (dostupné z [16]).

2.2.1 Zhodnocení GSM modulů pro požadované použití

Jako výhody GSM modulů můžeme zmínit:

- **Dostupnost** - na trhu je dostupná celá řada GSM modulů, často s obdobnými funkcemi.
- **Relativně nízká cena** - cena těchto modulů se pohybuje okolo 3000 Kč, to z nich dělá relativně levnou alternativu k fotopastem.

Mezi nevýhody těchto modulů patří:

- **Snadná odcizitelnost** - tato zařízení jako celek často nejsou uzpůsobena k resistenci proti krádeži a vandalům.
- **Napájení** - zařízení často nejsou vybavena vlastním bateriovým zdrojem, případně možností rozšíření o solární panel. To jejich nasazení v terénu komplikuje.
- **Připojení externích senzorů** - jak již bylo zmíněno, tato zařízení ve valné většině podporují připojení pouze jednoduchých externích senzorů. To však při aplikaci tohoto zařízení na zvířecí past nepřináší myslivci či zaměstnanci lesní správy žádnou přidanou hodnotu, která by mu pomohla na dálku zhodnotit situaci v místě instalace pasti [17, 18].

Z výše zmíněných důvodů můžeme GSM moduly považovat jako možnou alternativu k zařízení, které je výstupem této práce. Kromě skutečnosti, že dojde k detekci zachycení zvířete v pasti, však uživateli nepřináší žádnou další přidanou hodnotu, která by mu práci v terénu usnadnila.

2.3 GSM alarmy

Jednou z dalších cenově dostupných možností je využití na trhu dostupných GSM alarmů. Tyto alarmy jsou nejčastěji dostupné ve formě setu, který obsahuje hlavní jednotku, která slouží pro propojení jednotlivých senzorů dohromady, a přídavných senzorů, které hlavní jednotku doplňují. Tyto senzory mohou být jak drátové, tak bezdrátové. Zmínit můžeme například pohybové senzory, detektory kouře, detektory teploty nebo detektory otevření oken a dveří [7, 8]. Právě detektory otevření ve spojení s detektory pohybu a hlavní jednotkou jeví jako možná alternativa pro použití v tomto projektu.

2.3.1 Princip fungování GSM alarmu

Jak je zřejmé z textu výše, důležitým prvkem ve funkci GSM alarmu je ústředna. Ta v sobě často obsahuje například modul pro komunikaci s obsluhou, záložní zdroj a konektory pro připojení drátových senzorů. Ostatní senzory a rozšíření (např. klávesnice pro zastřežení/odstřežení) jsou samy o sobě nepoužitelné, a potřebují pro svou funkci právě spojení s ústřednou. Ústředna se řídí podle nastavení, které provedl správce zabezpečovacího systému. Pokud dojde k narušení bezpečnosti oblasti, kterou systém střeží, postupuje systém podle těchto nastavených instrukcí [7, 8].

2.3.2 Zhodnocení GSM alarmů pro požadované použití

Jako výhody GSM alarmů můžeme považovat:

- **Cena** - amatérské sety GSM alarmů vhodné pro zabezpečení menších objektů, jako jsou například chaty, jsou dostupné již za nižší tisíce korun.
- **Dostupnost** - na trhu je celá řada GSM alarmových setů od různých výrobců.

Za nevýhody můžeme považovat:

- **Jednostranné použití** - architektura a stavba některých komponent nejsou primárně koncipovány pro použití v otevřeném prostoru. Počítá se spíše s instalací uvnitř či vně budov a jiných podobných objektů.
- **Přídavné senzory jsou napájeny z baterií** - napájení jednotlivých senzorů bateriemi může komplikovat údržbu zařízení [7, 8, 19].

2.4 Dostupné ekvivalenty na trhu

Na trhu lze nalézt také zařízení, která se svými funkcemi i praktickým nasazením podobají zařízení, které je výstupem této práce. Níže bude zmíněna řada konkrétních zařízení, která jsou nyní na trhu dostupná. Porovnány budou také jejich funkcionality.

2.4.1 OcuTrap [20]

Prvním z příkladů dostupných ekvivalentů na trhu je zařízení OcuTrap vyráběné v USA. V době psaní této práce však bylo ve fázi možnosti předobjednání, k zákazníkům zatím žádné kusy nebyly dodávány. Jedná se o kompletní řešení, které v sobě zahrnuje i past jako takovou. Výdrž zařízení na vestavěný akumulátor výrobce neuvádí. Pro detekci zvířete uvnitř pasti používá TOF (Time Of Flight) senzor, který zvíře detekuje na základě proměnlivé vzdálenosti objektu od senzoru, který k detekci vzdálenosti využívá světelných (laserových) paprsků, jejichž odrazy poté zachytí.

Výhody

- **Kompletní řešení** - pro některé uživatele může být výhodou, že kupují finální produkt, který je ihned po vyjmutí z krabice připravený do ostrého provozu.
- **Podpora** - výrobce zákazníkům slibuje podporu v případě potíží s nastavením nebo funkčností zařízení. Vzdálenost výrobce však může být pro evropského zákazníka překážkou.

Nevýhody

- **Kompletní řešení** - tato skutečnost by však mohla být vnímána také jako nevýhoda. Zákazník je totiž nucen kupovat zařízení kompletně i s pastí, což se zákazníkům, kteří již pasti vlastní, nevyplatí.
- **Vysoká pořizovací cena** - cena zařízení se v době psaní této práce pohybuje okolo 300 amerických dolarů.
- **Neobsahuje GPS (Global Positioning System) senzor** - zařízení nedisponuje GPS senzorem, uživatel tak při větším počtu pastí může ztratit přehled o jejich konkrétním umístění.

- **Nepodporuje alternativní metody napájení** - zařízení je napájeno vnitřním akumulátorem a nepodporuje připojení např. solárního panelu, který by životnost akumulátoru prodloužil.
- **Nutnost pořízení předplatného** - pro správnou funkci zařízení je nutné platit si u výrobce měsíční předplatné. To však provoz zařízení prodražuje.
- **Nedodává se ve více velikostech** - zařízení resp. past je dodávána pouze v jedné velikosti, což zákazníka limituje při odchytu zvířat, pro které je velikost dodávané pasti nedostatečná.
- **Nízké zabezpečení proti krádeži** - zařízení je umístěno přímo na těle pasti, dává tak příležitost případným vandalům k odcizení či poškození zařízení.

2.4.2 Remoti Systems [21]

Zařízení anglické firmy Remoti Systems je dalším z dostupných ekvivalentů na trhu. Oproti zařízení OcuTrap, které je dodáváno jako kompletní řešení včetně pasti samotné, zařízení od firmy Remoti Systems má podobu bílého vodotěsného boxu, který se umísťuje přímo na tělo libovolné pasti. O napájení se stará čtveřice tužkových baterií typu AA. Detekce zachycení zvířete je provedena pomocí magnetického senzoru, který detekuje stav zavření pasti.

Výhody

- **Nejedná se o kompletní past, pouze o detektor** - zařízení je tak možné umístit na libovolnou past.
- **Integrovaný GPS modul** - uživatel má přehled o pozici instalovaných pastí a dokáže se tak na základě mapových podkladů v rozmístění zařízení lépe orientovat.
- **Podpora výrobce** - výrobce nabízí zákazníkům podporu v případě potíží s nastavením a funkčností zařízení.
- **Není potřeba mít nainstalovanou aplikaci** - pro obsluhu zařízení není třeba vlastnit chytrý telefon s aplikací, nastavení totiž probíhá v internetovém prohlížeči.

Nevýhody

- **Malá senzorová výbava** - pro spuštění poplachu je použit pouze magnetický senzor, který tak limituje přísun informací uživateli.
- **Nízké zabezpečení proti krádeži** - zařízení je umístěno přímo na těle pasti, dává tak příležitost případným vandalům k odcizení či poškození zařízení.
- **Měsíční předplatné** - pro správnou funkci zařízení je nutné platit si u výrobce měsíční předplatné, které v sobě obsahuje úhradu paušálu za SIM kartu. Po první aktivaci zařízení je nutné toto předplatné platit minimálně dalších dvanáct měsíců, což uživatele omezuje ve svobodném výběru, kdy chce zařízení používat a zbytečně tak provoz zařízení prodražuje.
- **Zařízení používá 2G (second generation) síť** - komunikace zařízení s uživatelem probíhá pomocí 2G sítě. Tato síť je však na ústupu a v dohledném časovém horizontu nebude většinou evropských operátorů podporována [22].

2.4.3 Skyhawk Kiwi [23]

Posledním z dostupných ekvivalentů na trhu, který bude v této práci zmíněn, je zařízení Skyhawk Mini od firmy americké Skyhawk Trapmate. Ze všech zmíněných zařízení se jedná o nejkomplexnější produkt s řadou příslušenství a variant. Pro detekci zvířete v pasti využívá magnetického senzoru a akcelerometru.

Výhody

- **Dlouhá výdrž** - zařízení je napájeno třemi tužkovými bateriemi typu AA, u kterých výrobce udává výdrž až pět let.
- **Ovládání přes aplikaci** - zařízení lze sledovat a konfigurovat pomocí mobilní aplikace.
- **Výběr z řady možností** - výrobce dodává několik druhů zařízení, včetně ústředny, která dokáže spojit několik blízkých zařízení a ušetřit tak uživateli peníze za předplatné, které je ke správné funkci zařízení nutné zakoupit.

Nevýhody

- **Vzdálenost výrobce** - zařízení jsou vyráběna v USA, což může proces rychlé reklamace komplikovat.
- **Nízké zabezpečení proti krádeži** - zařízení je umístěno přímo na těle pasti, dává tak příležitost případným vandalům k odcizení či poškození zařízení.
- **Nutnost pořízení předplatného** - pro správnou funkci zařízení je nutné platit si u výrobce měsíční předplatné. To však provoz zařízení prodražuje.

2.5 Celkové zhodnocení

Předchozí kapitoly 2.4.1, 2.4.2, 2.4.3 zhodnotily klady a zápory dostupných ekvivalentních řešení na trhu. Z předchozího textu je zřejmé, že společným problémem všech tří zařízení, který by mohl být pro zákazníka odrazující, je povinnost zákazníka zakoupit si tzv. předplatné, které mu umožní zařízení naplno využívat. Toto předplatné je však dalším výdajem v provozu zařízení.

V konečném zhodnocení tak můžeme zařízení považovat za vhodná k použití, dávají však konkurenci prostor k jejich vylepšení.

3 Dostupné bezdrátové komunikační technologie

Pro zařízení, které bude výstupem této práce, je klíčové, aby bylo schopno s uživatelem komunikovat na dálku. K tomu musí být schopno využít minimálně jednu z dostupných bezdrátových komunikačních technologií.

Na zařízení je během vývoje kladeno několik nároků. Při výběru vhodné komunikační technologie musíme brát v potaz zejména dva faktory. Těmito faktory jsou cena (jak hardwaru, tak služeb), energetická náročnost a kvalita pokrytí. Energetická náročnost použité komunikační technologie má vliv na životnost akumulátoru zařízení.

3.1 Dělení přenosových pásem

V současné době existuje celá řada komunikačních technologií. Frekvenční pásmo, které mohou využívat, je však omezené. Proto bylo třeba stanovit pravidla, která určují, které technologie, a kteří uživatelé mají nárok na konkrétní úsek frekvenčního pásma. Zamezí se tak vzájemnému rušení jednotlivých technologií a neoprávněným (často amatérským) zásahům. Nejčastěji má toto rozdělení a dodržování stanovených pravidel na starosti některý z národních orgánů. V případě České republiky se jedná o ČTÚ (Český Telekomunikační Úřad).

Frekvenční spektrum, které je vhodné pro bezdrátovou komunikaci, tak bylo rozděleno do jednotlivých úseků. Tyto úseky jsou zřejmé z Tab. 3.1.

Tab. 3.1: Tabulka dělení používaných frekvencí [24, 25].

Číslo pásma N	Kmitočet f	Vlnová délka λ	Název pásma	Metrické zkratky	Zkratky	Český název
4	3–30 kHz	100–10 km	myriametrové	Mam	VLF (<i>Very Low Frequencies</i>)	velmi dlouhé
5	30–300 kHz	10–1 km	kilometrické	km	LF (<i>Low Frequencies</i>)	dlouhé
6	300 kHz–3 MHz	1 km–100 m	hektometrické	hm	MF (<i>Medium Frequency</i>)	střední
7	3–30 MHz	100–10 m	dekametrové	dam	HF (<i>High Frequency</i>)	krátké
8	30–300 MHz	10–1 m	metrické	m	VHF (<i>Very High Frequency</i>)	velmi krátké
9	300 MHz–3 GHz	1–0,1 m	decimetrové	dm	UHF (<i>Ultra High Frequency</i>)	ultra krátké
10	3–30 GHz	10–1 cm	centimetrové	cm	SHF (<i>Super High Frequency</i>)	centimetrové
11	30–300 GHz	10–1 mm	milimetrové	mm	EHF (<i>Extremely High Frequency</i>)	milimetrové
12	300 GHz–3 THz	1–0,1 mm	decimilimetrové	dmm	-	-

Následující tabulka Tab. 3.2 pak zobrazuje běžně používaná pásma.

Tab. 3.2: Tabulka známých frekvencí [26].

frekvence [Mhz]	využití	licenční / bezlicenční
26,35–26,957	CB (Civil Band) - kamionová doprava	bezlicenční
87,5–108	FM (Frequency Modulated) rádio	licenční
174–230	T-DAB+ (Digital Audio Broadcasting)	licenční
440–448	PMR (Personal Mobile Radio)	bezlicenční
470–694	DVB-T2 (Digital Video Broadcasting - Terrestrial 2)	licenční
410–430	Mobilní síť	licenční
450–466	Mobilní síť	licenční
460–470	Mobilní síť	licenční
694–960	Mobilní síť	licenční
1710–1980	Mobilní síť	licenční
2210–2170	Mobilní síť	licenční
2500–2690	Mobilní síť	licenční
2500–2690	Mobilní síť	licenční
1164–1300	Družicové navigační systémy	licenční
1559–1610	Družicové navigační systémy	licenční
2300–2483,5	Wi-Fi (Wireless Fidelity)	bezlicenční
5150–5350	Wi-Fi	bezlicenční
5470–5875	Wi-Fi	bezlicenční
11700–12750	Družicová TV	licenční
21400–22000	Družicová TV	licenční

Pro využití některých kmitočtů je třeba vlastnit oprávnění od příslušné autority. Tím se vlastník zavazuje dodržováním pravidel vyžadovaných danou autoritou.

Jiné kmitočty jsou volně přístupné a jejich použití tak není ze strany uživatele podmíněno vlastněním licence. Stále se zde však mohou objevit kmitočty, které může uživatel používat pouze po získání daného oprávnění (například některé radioamatérské frekvence).

Proto můžeme komunikační technologie rozdělit na dvě skupiny:

- Komunikační technologie využívající licenční pásmo,
- Komunikační technologie využívající bezlicenční pásmo.

3.2 Komunikační technologie využívající licenční pásmo

První skupinou, která zde bude zmíněna, jsou zařízení, která ke své komunikaci využívají licenční pásma.

Zařadíme mezi ně technologie využívající připojení pomocí mobilní sítě, kterými jsou například:

- CatM (Category M)/ LTE/M (Long Term Evolution M),
- NB-IoT (Narrow Band - Internet Of Things).

3.2.1 Připojení pomocí mobilní sítě

Tato technologie je v dnešní době neodmyslitelnou součástí každodenního života prakticky každého člověka vlastního chytrý telefon, spadají do ní i obě dvě výše zmíněné technologie. Využívána je GSM síť, která je rozšířena o technologii GPRS (General Packet Radio Service). Technologie GPRS umožňuje uživateli chytrého telefonu připojení do sítě internet pomocí stávající infrastruktury GSM.

Stejně tak jako u ostatních technologií, i technologie GSM si prošla postupným vývojem:

- **1G (First Generation)** - jedná se o první generaci této technologie, jednalo o technologii používající analogový přenos dat.
- **2G** - tato verze již provedla oproti první generaci jisté změny. Došlo k přechodu na digitální komunikaci, která umožňovala zavedení technologie GSM. Díky tomu bylo možné provádět jednoduché datové přenosy do rychlosti max 9,6 kbps. To se ale v příštích úpravách technologie 2G změnilo.
 - **GRPS** - byla zvýšena datová propustnost až na 150 kbps.
 - **EDGE (Enhanced Data rates for GSM Evolution)** - rychlost datového přenosu se zvýšila až na 384 kbps.
- **3G (Third Generation)** - poprvé byla nasazena do provozu v roce 1998. Rychlost datového přenosu technologie 3G již byla oproti technologii 2G výrazně vyšší. To umožnilo využití této technologie pro datově náročnější aplikace, jako byly videohovory apod.. I zde docházelo k postupnému vylepšení.
 - **HSPA (High Speed Packet Access)** - došlo k dalšímu navýšení rychlosti na 10 Mbps.

- **4G (Fourth Generation)** - jednalo se o průlomovou verzi této technologie, neboť naplno otevřela možnosti využití mobilního internetu. Rychlost oproti předchozím verzím je znatelně vyšší, dosahovala hodnot okolo 100 Mbps.
- **5G (Fifth Generation)** - jedná se zatím o poslední verzi této technologie, která byla poprvé nasazena do provozu v roce 2020. V maximech může rychlost datového připojení dosahovat rychlosti až 1 Gbps. To s sebou však přináší řadu nevýhod, v případě technologie 5G je to zejména náchylnost na překážky v terénu, což je způsobeno zvoleným kmitočtem, který je vyšší, než v předchozích verzích. Problému se předchází vytvořením hustší sítě základových stanic [27, 28].

Pokrytí v rámci ČR

Pokrytí území ČR je u technologie datového připojení velmi dobré. Například z mapy pokrytí, kterou poskytuje jeden z českých operátorů o2, je pokrytí technologií 2G na území České republiky takřka sto procent. Velmi dobře je na tom také technologie 4G, která pokrývá všechna hlavní lidská sídla, výjimkou jsou pouze vojenské újezdy a některé horské oblasti, zejména po obvodu státní hranice. Technologii 5G jsou pak pokryta všechna hlavní velká lidská sídla. Pokrytí ve venkovských a horských oblastech však v současné době stále zaostává [29].

3.2.2 CatM (Category M)/ LTE/M (Long Term Evolution M)

Technologie CatM byla vyvinuta v roce 2016, první nasazení do provozu se odehrávalo v průběhu roku 2017. Společně s technologií NB-IoT (viz 3.2.3) se jedná o dvě nejčastěji využívané technologie v oblasti úzkopásmové komunikace v IoT (Internet of Things). Oproti NB-IoT vyniká technologie CatM ve vyšší přenosové rychlosti a nižší latenci. Proto se této technologii využívá například v oblasti VoLTE (Voice over LTE). Toho se využívá v zařízeních fungujících na akumulátor, které zároveň vyžadují vyjimečné uskutečnění hovoru, jako jsou SOS systémy pro seniory. Původně byla šířka pásma této technologie omezena na 1,4 MHz, později byla šířka pásma zvýšena na 5 MHz [30]. Technologie CatM od roku 2016 prošla vývojem a její vylepšení byla zveřejňována v pravidelných vydáních, o jejichž vydávání se stará instituce 3GPP (3rd Generation Partnership Project). Jedná se o název dohody o spolupráci několika subjektů v oblasti mobilní komunikace, která byla založena v roce 1998 [31].

- **vydání 12**
 - Implementuje režim úspory energie.
 - Implementuje také tzv. Cat0, která je vhodná pro komunikaci pro zařízení s nižšími nároky na přenos dat - poloviční duplex, maximálně 1000 bitů TBS (Transport Block Size).
 - Zlepšení pokrytí.

- **vydání 13**
 - Zavedení rozšířeného režimu eDRX (Extended DRX), který umožňuje prodloužit dobu neaktivity až na 44 minut.
 - Optimalizace architektury pro strojovou komunikaci.
 - Zavedení kategorie M1 (Cat M1) s šířkou pásma 1,4 MHz a maximálně 1000 bitů TBS.

- **vydání 14**
 - Zavedení RAI (Release Assistance Indicator) v režimu AS (Access Stratum).
 - Zavedení kategorie M2 (Cat M2), která umožňuje šířku pásma 5 MHz (volitelné) a přenos až 4008/6968 bitů TBS.
 - Rozšíření o nové energetické třídy (class 5: 23 dBm, class 3: 20 dBm).
 - V současné době se jedná o nejnovější vydání zavedené do ostrého provozu v praxi. Novější vydání jsou v současnosti ve stádiu testování a vývoje.

- **vydání 15**
 - Zavedení WUS (Wake-Up Signal) pro režim idle, který umožňuje úsporu energie.
 - Zlepšení při přenosu dat EDT (Early Data Transmission) pro uplink.
 - Podpora vyšší rychlosti přenosu při pohybu až 240 km/h.
 - Rozšíření o vyšší energetickou třídu (class 6: 14 dBm).

- **vydání 16**
 - WUS pro skupiny uživatelských zařízení, což umožňuje efektivnější správu energie.
 - Zavedení EDT pro downlink [30].

- **vydání 17**
 - Díky tomuto vydání byla komunikace rozšířena i o pásmo 71 GHz.
 - Integruje také satelitní infrastrukturu.
 - Přidává podporu pro bezpilotní letecké systémy.

 - **5G RedCap NR (5G Reduced Capacity New Radio)** - jedná se o 5G technologii představenou právě ve vydání 17. Tato technologie je tak schopná komunikace s jádrem sítě 5G. Jedná se o technologii, která cílí na zařízení, která nevyžadují plné využití schopností technologie 5G, například snížením počtu antén na uživatelském zařízení, nižší spotřebou energie, uvolněnými požadavky na datové přenosy a sníženou výpočetní náročností. S nasazením této technologie se počítá zejména v oblasti IoT, nositelné elektroniky, průmyslových senzorů a video dozoru. Tato technologie je dostupná na celé řadě pásem (410 MHz–7,125 GHz nebo 24,25–52,6 GHz) [32].

- **vydání 18**
 - Zlepšuje podporu pro multicastové a broadcastové služby v 5G sítích.
 - Podporuje aplikace pro rozšířenou, virtuální a smíšenou realitu.
 - Zavádí nové mechanismy pro zlepšení energetické účinnosti 5G sítí [31].

Pokrytí v rámci ČR

Dle mapy pokrytí od jiného českého operátora Vodafone je pokrytí technologií CatM dostatečné pro použití v hustěji osídlených oblastech, v horských a venkovských oblastech je pokrytí žádné nebo nedostatečné [33].

3.2.3 NB-IoT (Narrow Band - Internet Of Things)

Tato technologie byla vyvinuta jako alternativa k již dříve dostupným technologiím Sigfox a LoRa (viz 3.3.1 a 3.3.2). Poprvé byla do ostrého provozu uvedena v roce 2016 pod původním názvem LTE Cat NB1 (Long Term Evolution Category Narrow-Band 1). Výhodou této technologie je využití již stávající infrastruktury technologie LTE oproti nutnosti budovat celou infrastrukturu, jako v případě technologií LoRa a Sigfox [34, 35]. Šířka pásma této komunikační technologie je 180 kHz. Díky tomu také technologie dostala patřičný název Narrow-Band. Tato šířka pásma nebyla volena náhodou, jedná se totiž o šířku jednoho RB (Resource Block) LTE. Zdrojový blok LTE můžeme chápat jako část frekvenčně-časového prostoru, která se používá pro přenos dat mezi základnovou stanicí (eNodeB) a uživatelským zařízením UE (User Equipment).

Zařízení komunikující pomocí technologie NB-IoT mohou pracovat ve třech různých scénářích:

- **Nezávislý (standalone) režim** - v tomto režimu zařízení nepracuje přímo s technologií LTE, nýbrž s technologií GSM. Ta má na rozdíl od LTE větší šířku pásma a to 200 kHz. Použití GSM místo LTE má za následek vznik ochranných pásem po obou okrajích bloku NB-IoT.
- **Režim ochranného pásma (guard-band mod)** - NB-IoT funguje v tomto ochranném pásmu mezi LTE kanály, aniž by docházelo k rušení hlavního provozu LTE.
- **Vnitro-pásmový (In-Band) režim** - technologie NB-IoT je vkládána do existujícího pásma LTE, což umožňuje efektivní využití spektra bez potřeby nových frekvenčních pásem [36].

Pokrytí v rámci ČR

Dle mapy pokrytí, kterou poskytuje již zmíněný mobilní operátor Vodafone je technologie NB-IoT dostupná na celém území ČR [33].

3.3 Komunikační technologie využívající bezlicenční pásmo

Druhou skupinou jsou zařízení komunikující v takových frekvenčních pásmech, která nejsou zatížena licencí. V České republice existuje řada bezlicenčních pásem. Ty nejznámější, se kterými se běžný člověk setkává denně, jsou shrnuta v Tab. 3.2. Mimo to však také existuje řada technologií, které využívají další bezlicenční pásma, z nichž některá nejsou v Tab. 3.2 zmíněna.

Mezi technologie, které využívají bezlicenční pásma, a které mohou být zvažovány pro použití v zařízení, které je výstupem této práce, mohou patřit:

- **LPWAN (Low-Power Wide-Area Networks)**,
 - LoRa (Long Range),
 - mioty,
 - Sigfox,
 - NB-IoT (viz kapitola 3.2).
- **ZigBee**,
- **Wi-Fi**.

3.3.1 LPWAN

Jak bylo zmíněno v úvodu kapitoly 3, jedním z důležitých aspektů, které je důležité v designu zařízení zohlednit, je energetická náročnost použité komunikační technologie. Z toho důvodu byly na trh uvedeny technologie LPWAN. Technologie LPWAN se vyznačují malým vysílacím výkonem, který zapříčiní také nízkou spotřebu energie. Navzdory tomu však mají dlouhý dosah. S příchodem levnějších elektronických součástek se také technologie LPWAN stávají cenově dostupné.

LoRa

Název technologie LoRa je zkratkou slov Long Range, které také velmi dobře definují tuto technologii. Jedná se o proprietární fyzickou vrstvu. Původcem této technologie je společnost Cycleo, dnes známá jako Semtech. Technologie LoRa byla vyvíjena s ohledem na nízkou spotřebu energie a vyznačuje se poměrně velkou přenosovou vzdáleností. Nízká spotřeba energie je zapříčiněna protokolem ALOHA (Advocates of Linux Open-source Hawaii Association). V Evropě využívá frekvence 868 MHz. Úspěch této technologie spočívá v tom, jakým způsobem LoRa pracuje s frekvenčním spektrem. Pracuje s tzv. rozprostřeným spektrem, díky čemuž může pracovat s velmi slabými signály, které se nachází velmi blízko prahu šumu. Tímto způsobem lze volit poměr mezi přenosovou rychlostí a mezi přenosovou vzdáleností. Síť LoRa

se nejčastěji vyskytují v podobě hvězdy, kdy uprostřed se nachází brána (gateway), která spojením bod-bod komunikuje s koncovými zařízeními. Brána má také za úkol převádět data zapouzdřená protokolem LoRaWAN, která jsou přenášena pomocí rádiových vln, na IP datový tok. Pro přenos dat pomocí technologie LoRa se využívá právě komunikačního protokolu LoRaWAN. Nabízí celkem deset komunikačních kanálů:

- Osm kanálů s rychlostí 250 b/s, dohromady tak mohou komunikovat rychlostí 5,5 kb/s.
- Jeden kanál s rychlostí 11 kb/s.
- Jeden kanál s modulací FSK (Frequency Shift Keying) schopný přenášet data rychlostí 50 kb/s [37].

mioty

Podobně jako Matter (viz kapitola 3.3.7), i mioty je poměrně novým standardem, jelikož byl poprvé představen v roce 2020. Svými vlastnostmi, co se dosahu týče, se podobá technologiím LoRa nebo Sigfox. Udávaný dosah technologie mioty je až 15 km. S LoRa a Sigfox sdílí také frekvenci 868 MHz, na které pracuje. Zajímavostí je, že tato technologie umožňuje komunikaci až do rychlostí 120 km/h. Data dokážou být přenášena rychlostí až 512 b/s. Tento protokol funguje na principu TSMA (Telegram Splitting Multiple Access). Tato metoda datové pakety na menší subpakety. Tyto subpakety jsou pak odesílány na rozdílných kmitočtech a v rozdílném čase. Zařízení komunikující pomocí mioty mohou na akumulátor vydržet i dvacet let. Nevýhodou je v současné době poměrně nízká podpora se strany softwaru.

Zařízení podporující Mioty můžou komunikovat ve třech různých módech. Tyto módy jsou reprezentovány pomocí třech tříd:

- **Třída Z** - podporuje pouze simplexní provoz, slouží tak zejména pro sběr dat ze senzorů. Ze všech třech tříd mají zařízení pracující v tomto režimu nejdelší životnost na akumulátor.
- **Třída A** - podporuje duplexní provoz a unicast zprávy, slouží zejména pro sběr dat ze senzorů, tyto senzory ale mohou být pomocí daných zpráv nastavovány.
- **Třída B** - podporuje duplexní provoz, kromě posílání dat a nastavení senzorů umožňuje i zaslání. Umožňuje také zaslání unicast či multicast zpráv [37, 38].

3.3.2 Sigfox

Sigfox je proprietární technologií a druhou technologií typu LPWAN. Podobně jako technologie LoRa také technologie Sigfox pracuje v bezlicenčním pásmu na frekvenci 868 Mhz, stejně tak využívá topologii hvězda s bránou v jejím středu. Oproti síti LoRa se však liší ve formě, jakou je s daty nakládáno. V případě sítě LoRa jsou data posílána na koncový server specifikovaný uživatelem, v případě technologie Sigfox jsou data zasílána do cloudu. Byť je využíváno bezlicenční pásmo, je přenos pomocí technologie Sigfox zpoplatněn. V České republice se o provoz sítě Sigfox starala společnost Sigfox ČR ve spolupráci s operátorem T-mobile. Maximální délka zprávy je 12 B a rychlost přenosu je u technologie Sigfox 100 b/s. V současné době však technologie Sigfox značně upadá, v České republice operátor T-mobile dokonce rozhodl o jejím kompletním vypnutí [39, 40].

3.3.3 ZigBee - IEEE 802.15.4

Technologie ZigBee, která podobně jako technologie Sigfox a LoRa pracují v bezlicenčním pásmu 868 MHz (v Americe se jedná o pásmo 902-928 MHz a ve zbytku světa pracuje na frekvenci 2,4 GHz), je další z technologií, které byly vytvořeny za cílem umožnění komunikace pro energeticky šetrná zařízení. Technologie Zigbee prošla postupným vývojem:

- **2004** - první verze Zigbee. Podle standardu IEEE 802.15.4.
- **2006** - tato verze nebyla zpětně kompatibilní s verzí z roku 2004. Adresy jsou v této verzi přidělovány náhodně a probíhá jejich kontrola.
- **2007** - verze z roku 2007 přidává možnost komunikace mezi více PAN (Personal Area Network) sítěmi, podporuje asymetrické šifrování, fragmentaci nadroz-
měrných paketů a řídí kvalitu přenosu dat.

Postupně si našla cestu zejména do zařízení v chytrých domácnostech, jako jsou vypínače, senzory apod. Rychlost, jakou mohou zařízení komunikovat, se pohybuje okolo 30 kb/s. Některá zařízení (zejména ta napájená bateriovým článkem) jsou během vysílání v režimu úspory energie a probudí se jen v případě potřeby vysílat zprávu.

V síti Zigbee rozlišujeme tři druhy zařízení:

- **Zigbee Coordinator** - toto zařízení má za úkol sestavit síť a přidělit jí unikátní adresu.
- **Zigbee Router** - stará se o směrování dat v síti, je stále v aktivním režimu.
- **Zigbee End Device** - jediný typ zařízení v síti, které může přejít do sleep módu [37].

Síť Zigbee může mít tři podoby:

- **Hvězda** - síť hvězda je tvořena dvěma druhy zařízení. V jejím středu je centrální prvek nazývaný FFD (Full Function Device). Toto zařízení je schopno chovat se jako centrální prvek, ale i jako zařízení koncové, jinak nazývané RDF (Reduced Function Device).
- **Mesh síť** - jak název sám vypovídá, jedná se o síť, ve které jsou všechna zařízení propojena mezi sebou. Jelikož se v podstatě každé zařízení v síti chová jako zařízení centrální, mohou zde být použita pouze zařízení typu FFD.
- **Cluster** - tento typ sítě kombinuje obě výše zmíněné. Obsahuje tak oba typy zařízení, tzn. jak zařízení FFD tak RDF [41].

3.3.4 Wi-Fi IEEE 802.11

Technologie Wi-Fi je dnes široce rozšířenou a používanou technologií. První ze standardů Wi-Fi byl představen v roce 1997. V průběhu let, jak je patrné z Tab. 3.3, docházelo k postupnému vývoji a rozšiřování technologie na další frekvenční pásma a docházelo k postupnému zvyšování přenosových rychlostí.

Ze standardů uvedených v Tab. 3.3 můžeme jako ty nejdůležitější zmínit:

- **802.11** - jedná se o první výskyt a o první vývojový stupeň technologie Wi-Fi na světě. Pracoval pouze v pásmu 2.4 GHz.
- **802.11b** - díky tomuto standardu se technologie Wi-Fi rozšířila také na pásmo 5 GHz.
- **802.11n** - v tomto standardu se poprvé objevila funkce MIMO (Multiple-Input Multiple-Output). Implementace této technologie způsobila zvýšení přenosové

Tab. 3.3: Tabulka jednotlivých vývojových verzí standardu 802.11 [24, 42].

Standard IEEE	Rok vydání	Kmitočtové pásmo [GHz]	Přenosová rychlost [Mbit/s]
802.11	1997	2,4	1; 2
802.11a	1999	5	≤ 54
802.11b	1999	2,4	1; 2; 5,5; 11
802.11e	2005	-	-
802.11g	2003	2,4	≤ 54
802.11n	2009	2,4; 5	≤ 540
802.11ac	2013	5	≤ 540
802.11ad	2012	60	≤ 540
802.11ah	2017	0,9	≤ 540
802.11r	2008	-	-
802.11X	2001	-	-
802.11ax	2021	2,4; 5; 6	600 - 9608
802.11be	2024	2,4; 5; 6	1376 – 46120

rychlosti (až pětkrát ve srovnání se standardem 802.11g), a to díky přítomnosti vyššího fyzického počtu antén v přístupových bodech.

- **802.11ad a 802.11ah** - tyto standardy můžeme uvést jako zajímavost, jelikož se jedná o standardy využívající frekvence pohybující se okolo 60 GHz resp. 900 MHz. V případě standardu 802.11ad to umožňuje zařízením využívající tento standard dosahovat rychlostí až 7 Gbps.
- **802.11ax** - jedná se o standard známý jako Wi-Fi 6. V dnešní době se jedná o nejčastěji nasazovaný standard Wi-Fi [42, 43].

3.3.5 Bluetooth - IEE 802.15.1

Bluetooth je další z technologií využívajících bezlicenční pásmo. Svými vlastnostmi patří do skupiny technologií vytvářejících PAN. PAN je často definována jako síť umožňující komunikaci zařízení v bezprostřední blízkosti uživatele, jako jsou například bezdrátová sluchátka, tělesné senzory apod.[44].

Bluetooth se vyznačuje dobrým poměrem přenosové rychlosti ke spotřebované energii [45]. První verze technologie Bluetooth se objevila v roce 1999.

V průběhu let pak prošla vývojem několika verzemi:

- **Bluetooth 1.0** - první varianta z roku 1999. Nebyla to však plnohodnotná verze, probíhalo na ní pouze ověření funkčnosti technologie.
- **Bluetooth 1.2** - verze z roku 2003. Tato verze byla první verzí nasazenou do reálného provozu. Poznatky z první verze z roku 1999 byly využity pro přepracování konceptu technologie Bluetooth. Došlo tak ke zlepšení vlastností zvuku.
- **Bluetooth 2.0** - verze z roku 2004, přenosová rychlost této verze dosahovala až 2,2 Mbps.
- **Bluetooth 2.1** - verze 2.1 zlepšila a zrychlila proces párování.
- **Bluetooth 3.0** - verze 3.0 kombinuje využití dvou technologií, a to technologie Bluetooth a technologie Wi-Fi. Proces komunikace probíhá tak, že navázání spojení mezi oběma zařízeními je uskutečněno pomocí technologie Bluetooth, samotný přenos dat je pak proveden pomocí technologie Wi-Fi.
- **Bluetooth 4.0** - tato verze vylepšuje hospodaření zařízení s energií implementováním funkce úsporného režimu.
- **Bluetooth 4.1** - tato verze vyřešila konflikt Bluetooth frekvencí s LTE frekvencemi.
- **Bluetooth 4.2** - ve verzi 4.2 jsou implementována vylepšení umožňující aplikování technologie Bluetooth v zařízeních chytré domácnosti.
- **Bluetooth 5.0** - tato verze vylepšila celkový dosah signálu, který je v této verzi udáván na 200 m.
- **Bluetooth 5.1** - zrychlení párování mezi zařízeními.
- **Bluetooth 5.2** - ve verzi 5.2 je představeno vylepšení technologie Bluetooth v podobě technologie LEPC (LE Power Control). Díky tomu si mohou obě zařízení vyměňovat informace o požadovaném vysílacím výkonu, což zefektivní práci jednotlivých zařízení s energií.

- **Bluetooth 5.3** - tato verze umožňuje samotným zařízením vybírat konkrétní kanály, které hodlají pro komunikaci využít [46, 24].

3.3.6 Thread

Historie této komunikační technologie resp. protokolu Thread sahá do roku 2014 a v současné době je spravován organizací CSA (Connectivity Standard Alliance). Na rozdíl od jiných technologií je implementace protokolu technologie Thread otevřená, zároveň také využívá již existujících protokolů. Její použití se objevuje zejména v systémech, kde klademe důraz na spotřebu energie jednotlivých zařízení. Zařízení v síti jsou propojena do mesh sítě, to zaručuje dostatečné pokrytí i na okrajích sítě. Výhodou sítí využívajících protokol Thread je jednoduchá instalace a provoz. Jednotlivá zařízení v síti se konfigurují samy a během provozu se parametry sítě upravují tak, aby byl provoz sítě optimální. Tyto sítě mohou mít jak nízký, tak vysoký počet zařízení [47, 37].

V síti Thread rozlišujeme několik zařízení:

- **Routing Full Thread Device** - tato zařízení můžeme dále dělit na:
 - **Router** - provádí potřebné směrování, přepojování a zabezpečení v síti.
 - **Leader** - v síti může být pouze jeden, provádí specifické změny v síti.
- **Non-Routing Full Thread Device**
 - **Router-Eligible End Device (REED)** - jsou to zařízení, která v případě potřeby mohou sloužit jako router. O to, zda se routerem stanou rozhoduje Leader.
 - **Full End Device (FED)** - tato zařízení se za žádných okolností nemohou stát routerem.
- **Non-Routing Minimal Thread Devices**
 - **Minimal End Device (MED)** - tato zařízení nedokážou přeposílat zprávy ostatních zařízení v síti, komunikují pouze s routerem.
 - **Sleepy End Device (SED)** - tato zařízení jsou navržena jako energeticky úsporná. Router nebo Leader jim předávají zprávy, které byly odeslány během jejich spánku. Nepřeposílají zprávy ostatních zařízení.

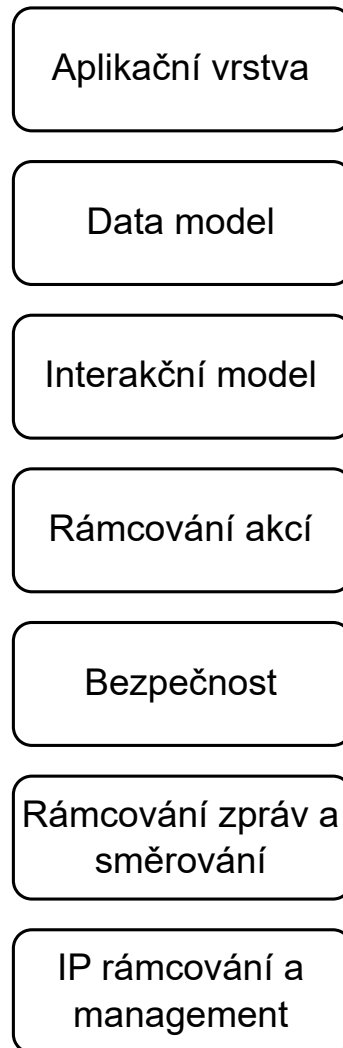
- **Synchronized Sleepy End Device (SSED)** - jejich probuzení je do-
předu naplánováno a probíhá opakovaně ve stejný čas.
- **Bluetooth End Device (BED)** - jsou to taková zařízení, která jsou
vybavena Bluetooth modulem. Umožňují tak přidat do sítě další zařízení
a komunikovat s nimi právě pomocí sítě Bluetooth.
- **Border Router** - jak již název vypovídá, jedná se o zařízení - router, které
se nachází na pomezí dvou sítí s odlišnou fyzickou vrstvou, jako například
Wi-Fi. V síti jich může být několik [47, 37].

3.3.7 Matter

Protokol Matter lze považovat za poměrně nový protokol, jelikož byl představen v roce 2019, na trh se však dostal až v roce 2021. Tento protokol je možné identifikovat také na základě jeho původního názvu CHIP (Connected Home over IP) a také spadá pod CSA. Podobně jako protokol Thread byl koncipován pro využití v chytrých domácnostech a internetu věcí. Zároveň však bylo při vývoji tohoto protokolu kladen důraz na možnost co možná nejširšího použití, aby tak umožnil možnost komunikace co nejširší škále různých zařízení v chytré domácnosti. Proto se v poslední době tento protokol objevuje a prosazuje u stále většího počtu výrobců. Protokol Matter čerpal inspiraci z modelu TCP/IP, v jeho rámci je definována zejména aplikační vrstva. Podoba jednotlivých vrstev protokolu Matter je zřejmá z Obr. 3.1 [48, 37, 49].

- **Aplikační vrstva** - definuje formát a typy zpráv, které si zařízení vyměňují.
- **Data model** - zajišťuje, aby všechna zařízení interpretovala data stejně, bez ohledu na výrobce.
- **Interakční model** - definuje, jak probíhají interakce mezi zařízeními, jako jsou příkazy, dotazy a odpovědi. Zahrnuje také mechanismy pro čtení a zápis.
- **Rámcování akcí** - zajišťuje, aby akce, které jsou požadovány od zařízení, byly správně strukturovány a provedeny. Zajišťuje správné časování a sekvenční provedení těchto akcí mezi různými zařízeními.
- **Bezpečnost** - zajišťuje ochranu dat a komunikace mezi zařízeními, včetně šifrování a autentizace.

- **Rámcování zpráv a směrování** - tato vrstva se stará o doručení zpráv mezi zařízeními v síti, ať už jsou zařízení propojena přímo, nebo přes několik uzlů. Zajišťuje správné směrování zpráv přes různá zařízení v síti.
- **IP rámcování a transparentní management** - definuje, jak jsou data zabalena a poslána přes síťovou vrstvu a zajišťuje propojení s různými síťovými technologiemi [37, 50].



Obr. 3.1: Schéma upraveného TCP/IP modelu pro potřeby Matter (upraveno z [37]).

3.3.8 Wi-Fi HaLow - IEEE 802.11ah

Wi-Fi HaLow je název pro protokol poprvé zveřejněný v roce 2017, který implementoval řadu funkcí ze standardu IEEE 802.11 (Wi-Fi). Rozdílné je však pásmo, které tento protokol používá. Na rozdíl od pásma 2,4 GHz resp. 5 GHz využívá pásmo 868 MHz. To z něj dělá zajímavou alternativu ke „klasické“ Wi-Fi, jelikož je její šíření otevřeným prostorem jednodušší jak v případě 2,4 GHz a 5 GHz pásem. Využívá různou šířku pásma, v Evropě se jedná o šířku pásma 1 Mhz. Jako modulaci využívá OFDM (Orthogonal Frequency-Division Multiplexing). Přenosová rychlost tohoto standardu dosahuje až 30 Mb/s při vzdálenosti do 1000 m. Wi-Fi HaLow může mít různé druhy využití například pro:

- **Připojení senzorů a měřicích přístrojů** - například průmyslové nebo zdravotnické senzory.
- **Přenos dat z jiných senzorových sítí** - pro dálková spojení jiných typů sítí.
- **Wi-Fi s delším dosahem** - může sloužit jako hotspot nebo např. přenos dat z IP (Internet Protocol) kamer [37, 51].

3.3.9 MiWi

Jedná se o protokol od firmy Microchip, který vznikl v roce 2010. Důvodem ke vzniku tohoto protokolu byla potřeba o vytvoření „odlehčené“ verze Zigbee. Protokol MiWi totiž na jednotlivých zařízeních zabírá okolo 20 kB úložného prostoru. Podobně jako technologie Zigbee, i technologie MiWi rozlišuje koncová zařízení a koordinátory (viz kap. 3.3.3).

Technologie MiWi používá několik protokolů:

- **MiMAC (Microchip Media Access Controller)** - je součástí síťové vrstvy.
- **MiWi P2P** - jedná se o nejjednodušší MiWi protokol. Ten podporuje dva režimy komunikace, a to komunikace v topologii hvězda nebo bod-bod spojení, nepodporuje směrování.
- **MiWi** - jedná se o rozšíření předchozího protokolu MiWi P2P, zavádí podporu směrování a síť může tvořit až 8 koordinátorů.
- **MiWi PRO** - tento protokol ještě více prohlubuje funkci směrování. Oproti protokolu MiWi podporuje až 64 koordinátorů v jedné síti [52].

3.4 Satelitní připojení

Satelitní připojení je v dnešní době ruku v ruce s rozvojem technologií stále častěji skloňovaným tématem. Tento způsob komunikace spočívá ve využití družic obíhající na oběžné dráze Země jako prostředníků mezi komunikujícím zařízením a koncovým zařízením uživatele. Komunikace tak na rozdíl od jiných pozemních technologií není ovlivněna tvarem reliéfu. Pro tento druh komunikace je však klíčové mít mezi komunikujícím zařízením a satelitem přímý výhled. Komunikace může probíhat jak jednosměrně, tak obousměrně, a na různých kmitočtech.

Pojem satelitní komunikace však můžeme chápat jako zastřešující pojem pro širokou škálu technologií, které se nasazují i v jiných případech než v případě satelitní komunikace. Proto nemůžeme satelitní komunikaci jednoznačně zařadit do skupiny technologií využívajících bezlicenční resp. licenční pásma. Příkladem využití licenčních pásem mohou být experimenty s přímou komunikací chytrého telefonu a satelitu na LEO (Low Earth Orbit). K této komunikaci je používána stejná technologie, kterou by mobilní zařízení použilo při klasické komunikace v GSM síti, místo BTS (Base Transceiver Station) se však spojí přímo se satelitem. To v budoucnu umožní uživateli provádět nouzová volání i z míst bez dosahu klasického mobilního signálu [53].

Dalším často skloňovaným tématem je satelitní internet. Pravděpodobně nejznámější sítí je satelitní konstelace Starlink, kterou vyvíjí a provozuje společnost SpaceX. Jedná se o síť družic pracujících na LEO ve výšce přibližně 550 km. Nižší oběžná dráha družic má za následek snížení latence připojení, vyžaduje však po uživatelském terminálu schopnost provádět plynulý přechod z komunikace s jednou družicí na druhou [54].

Konstelací podobných jako je Starlink existuje v současné době více, zmínit můžeme například projekty OneWeb společnosti Eutelsat projekt Kuiper od firmy Amazon nebo již delší dobu známý poskytovatel satelitního připojení Iridium. OneWeb a Kuiper nabízí podobné služby jako konstelace Starlink, Iridium naopak vsází na pomalejší připojení se spolehlivějším pokrytím polárních oblastí [55, 56, 57].

Tyto konstelace však pro užití v tomto projektu nejsou příliš vhodné. Jejich hlavní slabinou je příliš vysoká spotřeba energie (v případě uživatelského terminálu Starlink se může spotřeba vyšplhat až na hodnoty 100 W) [54].

Z výše zmíněného důvodu se může pro použití v tomto konkrétním důvodu zdát jako zajímavější snaha o využití technologie LoRa (viz 3.3.1) v satelitní komunikaci. Ta spojuje jak energetickou nenáročnost pro zařízení, tak nezávislost polohy zařízení na existující pozemní komunikační infrastruktuře. Problémem může být správná synchronizace přeletu satelitu nad místem, kde je zařízení umístěno, a vysláním zařízení.



Obr. 3.2: Podoba uživatelského terminálu pro příjem satelitního internetu konstelace Starlink [58].

Pokrytí v rámci ČR

Česká republika je vzhledem ke své geografické poloze vhodná pro pokrytí satelitním signálem různých poskytovatelů. Například k již výše zmíněné konstelaci Starlink jsou uživatelé schopni se připojit i z našeho území [54].

3.4.1 Zhodnocení a výběr vhodné komunikační technologie

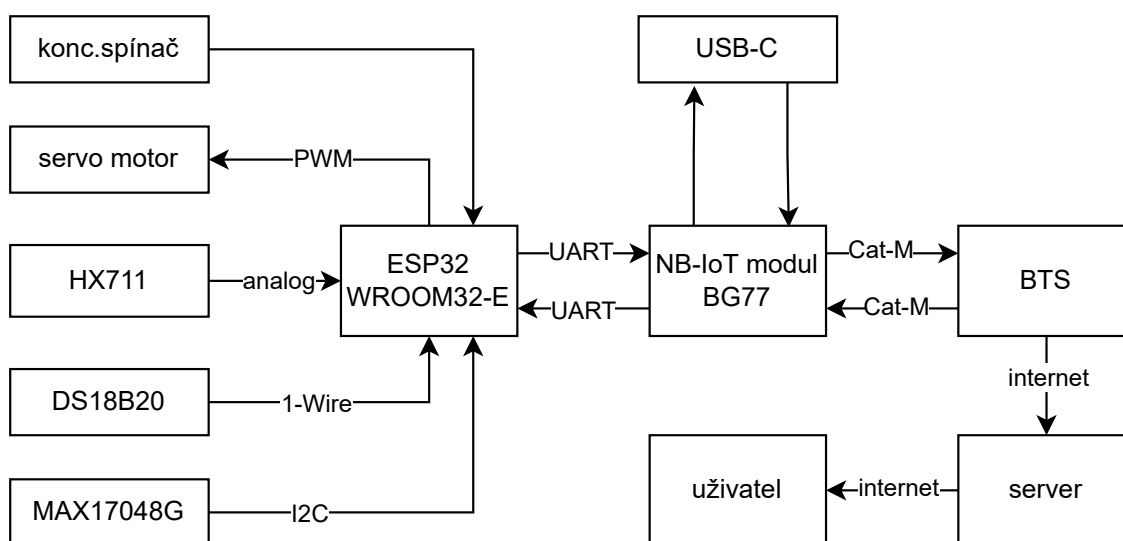
Výběr vhodné komunikační technologie je pro správnou funkci navrhovaného zařízení klíčový. Jak již bylo zmíněno v úvodu této části práce, při výběru vhodné komunikační technologie byl kladen důraz na cenu (jak hardwaru, tak služeb), energetickou náročnost a pokrytí v rámci území, na kterém bude zařízení používáno.

Z výše zmíněných důvodů se jako ideální jeví kombinace technologií NB-IoT a CatM. Komunikační modul BG77 podporuje obě tyto technologie a je schopný mezi těmito komunikačními technologiemi přepínat (viz 4.1.2). Na základě aktuálních podmínek pak volí technologii s lepší kvalitou spojení. Tyto technologie se vyznačují nízkou energetickou náročností a dobrou penetrací překážek. Technologie NB-IoT je pak oproti technologii CatM dostupná ve všech oblastech České republiky. Kombinací těchto dvou technologií tak může být zařízení používáno také v odlehlejších oblastech, mimo lidská obydlí.

Pro přímou komunikaci zařízení s uživatelem se pak jako nejvhodnější jeví technologie Wi-Fi. Připojení k Wi-Fi podporuje valná většina současných mobilních telefonů, umožní tak uživateli provádět aktualizace firmwaru a změny v nastavení přímo v místě instalace zařízení. Zároveň je technologie Wi-Fi podporována mikrokontrolérem ESP32 WROOM-32E (viz. 4.1.1).

4 Návrh zařízení

Jedním z cílů této práce je vytvoření podkladů pro výrobu nezávisle operujícího, bateriemi napájeného zařízení, které je k síti připojeno pomocí technologie NB-IoT nebo technologie CatM. Pomocí jedné z těchto technologií odesílá data na server, ke kterému se pak uživatel připojuje pomocí vlastního uživatelského terminálu. Tímto uživatelským terminálem se myslí chytrý telefon či počítač. Tento koncept je zobrazen na Obr. 4.1.



Obr. 4.1: Schéma základní struktury konceptu projektu.

4.1 Použité komponenty pro prototyp zařízení

4.1.1 Mikrokontrolér ESP32

Mikrokontrolér ESP32 je velmi rozšířeným mikrokontrolérem v mnoha IoT projektech. Jednou z jeho hlavních předností je dostatečný výkon, díky kterému bude zařízení schopné komunikovat se všemi zamýšlenými periferiemi, zejména pak s NB-IoT/CatM modulem. Další z významných vlastností tohoto mikrokontroléru je jeho nízká spotřeba energie v deep sleep (hlubokého spánku), kdy se pohybuje v řádu desítek μA .

Konkrétně je v konceptu zařízení zamýšlený mikroprocesor ESP32 WROOM-32E. Jedná se o dostupný mikroprocesor, který má následující vlastnosti:

- Napájení mikroprocesoru je možné v rozmezí 3 až 3,6 V DC.

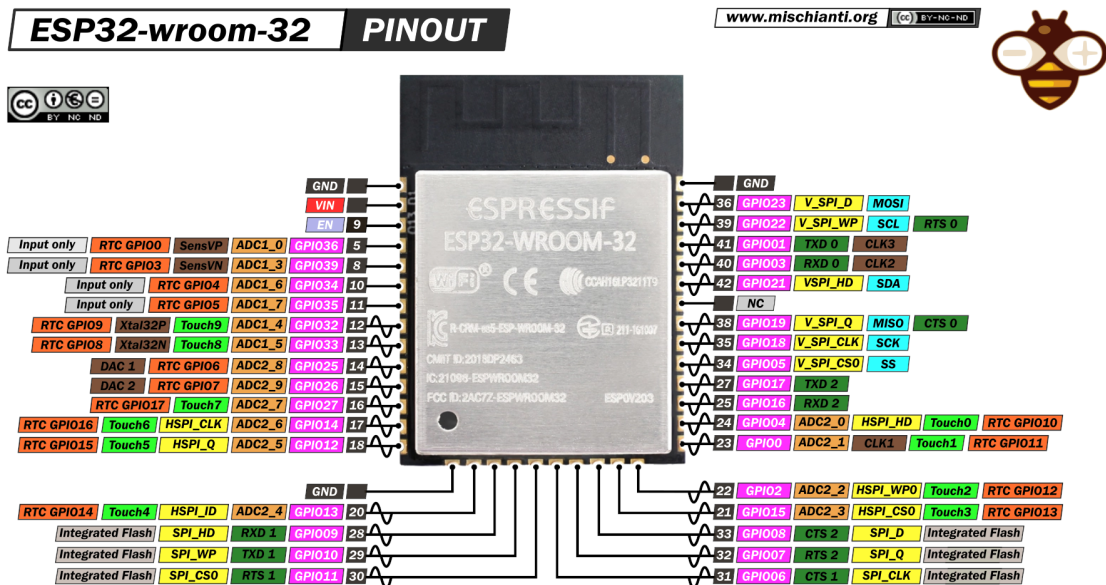
- Paměť mikroprocesoru je složena z:
 - 520 kB SRAM (Static Random Access Memory),
 - 448 kB ROM (Read-Only Memory),
 - 16 kB SRAM paměti, která je integrována v části subsystému RTC (Real Time Clock) RTC je energeticky úsporný modul, který je schopen pracovat i v nízkoenergetických režimech mikrokontroléru,
 - k dispozici jsou verze ze třemi různými velikostmi SPI (Serial Peripheral Interface) flash paměti, konkrétně ve velikostech 4,8 a 16 MB.
- Mikrokontrolér jako samotný implementuje dvě bezdrátové komunikační technologie:
 - Wifi, konkrétně IEEE 802.11 b/g/n technologii,
 - Bluetooth 4.2,
 - antény jsou v této verzi mikroprocesoru ESP32 integrovány do desky plošných spojů.
- Samotný mikroprocesor je typ ESP32-D0WD-V3 Xtensa dual-core 32bit LX6.
- Ve specifikaci ESP32 je uvedeno až 34 GPIO pinů (viz. 4.2), které lze konfigurovat různými způsoby v závislosti na aplikaci. Nicméně u modulu ESP32-WROOM-32E je vyvedeno 26 GPIO pinů na fyzické vývody modulu, což odpovídá tomu, že některé GPIO piny jsou interně použity (např. pro SPI flash) a nejsou dostupné na konektorech. Tyto piny podporují následující funkce:
 - čítač pulzů,
 - I2C (Inter-Integrated Circuit),
 - UART (Universal Asynchronous Receiver-Transmitter),
 - DAC (Digital-to-Analog Converter),
 - ADC (Analog-to-Digital Converter) [59].

4.1.2 NB-IoT/CatM modul Quectel BG77

Pro účely komunikace zařízení se sítí NB-IoT/CatM resp. serverem byl zvolen modul Quectel BG77.

- Napájení modulu je možné v rozsahu 2,6 až 4,8 V.
- Integrovány jsou následující komunikační technologie:
 - CatM1 - podporuje 588 kbps pro downlink a 1119 kbps pro uplink,
 - CatM2 - podporuje 127 kbps pro downlink a 158,5 kbps pro uplink.
- Zároveň také modul obsahuje integrovanou technologii GNSS (Global Navigation Satellite System), která umožňuje modulu přijímat signál z družic navigačního systému GPS (Global Positioning System), GLONASS (Globalna navigacionnaja sputnikovaja sistěma), BeiDou, Galileo a QZSS (Quasi-Zenith Satellite System).

- O pohon celého modulu se stará procesor ARM A7.
- obsahuje řadu rozhraní:
 - USB 2.0 - pro provádění aktualizace firmwaru,
 - UART - modul obsahuje 3 linky UART,
 - ADC,
 - SIM,
 - 7 portů GPIO,
 - GRFC (General Radio Frequency Control) - rozhraní, které se používá pro řízení obvodů v rámci radiofrekvenčních modulů nebo systémů,
 - dvě integrované antény - GNSS a LTE,
 - dvě LED (Light-Emitting Diode) pro indikaci zapnutí/vypnutí modulu a stavu připojení k síti.
- Maximální výkon LTE antény je 21 dBm.
- V režimu šetření energie je typická spotřeba tohoto modulu 3,2 μ A.
- V režimu spánku je spotřeba mezi 0,76 až 1,63 mA.
- V režimu připojení k LTE je typická spotřeba modulu 228 mA [61].



Obr. 4.2: Schéma jednotlivých GPIO pinů na mikrokontroléru ESP32 WROOM-32E [60].

4.1.3 Senzor teploty DS18B20

Monitorování teploty v bezprostředním okolí pasti je důležité. Uživateli to tak dává dobrou představu o tom, v jakých podmínkách se odchycené zvíře nachází. Pokud by v okolí pasti panovala příliš vysoká teplota, zvíře by mohlo na následky přehřátí a dehydratace uhynout. Pro účely měření teploty byl tak pro svou relativně nízkou cenu a dobrou dostupnost zvolen senzor DS18B20.

Jedná se o programovatelný digitální teplotní senzor s technologií 1-Wire. Tato technologie umožňuje přenášet data pouze po jednom vodiči, dohromady jsou tedy potřeba vodiče tři (VCC, GND, DATA).

- Napájení senzoru je možné v rozmezí od 3 do 5,5 V DC.
- Měření teploty v rozsahu od $-55\text{ }^{\circ}\text{C}$ do $+125\text{ }^{\circ}\text{C}$ s přesností $\pm 0,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ v rozmezí $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ až $+85\text{ }^{\circ}\text{C}$.
- Možnost nastavení rozlišení měření od 9 do 12 bitů, což odpovídá krokům $0,5\text{ }^{\circ}\text{C}$, $0,25\text{ }^{\circ}\text{C}$, $0,125\text{ }^{\circ}\text{C}$ a $0,0625\text{ }^{\circ}\text{C}$.
- Každý senzor má unikátní 64-bitový sériový kód uložený v interní paměti, umožňující použití více senzorů na jedné sběrnici bez vzájemných konfliktů.
- Doba konverze závisí na nastaveném rozlišení, od 93,75 ms (9 bitů) až po 750 ms (12 bitů).
- Proudový odběr:
 - aktivní měření: 1 mA,
 - režim stand-by: $< 1\text{ }\mu\text{A}$ [62].

4.1.4 Tenzometry GUANG CE YZC-161

Tenzometry jsou mechanicko-elektrické součástky, které slouží k převodu mechanického namáhání v důsledku působení vnějších sil na elektrický odpor, pro tento projekt byly použity celkem čtyři tyto senzory, přičemž každý z tenzometrů podpojuje váživost do 50 kg [63].

Zapojení bylo provedeno v podobě Wheatstoneova můstku, tak, jak je zobrazeno na Obr. 4.3.

4.1.5 HX711

HX711 je externí, 24-bitový ADC, primárně určený právě pro práci s tenzometrickými můstky - podporuje dva diferenciální vstupy. Dosahuje vyšší přesnosti než dedikovaný ADC mikrokontroléru ESP32 a oproti dedikovanému ADC má také vyšší odolnost vůči šumu. Jeho parametry jsou pak následující:

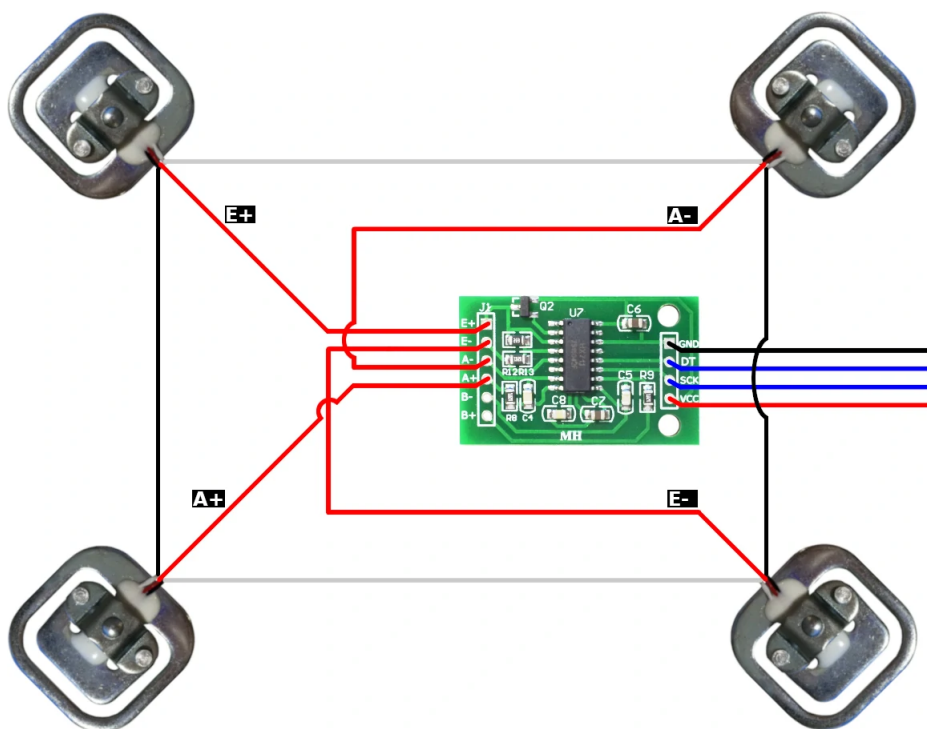
- Pracuje na 2,6 až 5,5 V DC.
- Spotřeba energie: $<1,5$ mA v provozu a <1 μ A v režimu spánku.
- Rychlost vzorkování: 10 nebo 80 Hz [64].

4.1.6 Servo motor SG90

Servo motor v konceptu tohoto zařízení slouží pro spouštění procesu sklapnutí pasti, nahrazuje funkci mechanické podložky (viz 2.1.1). Pokusem na samotné pasti bylo zjištěno, že jedny dvířka váží v závislosti na modelu pasti přibližně 2 kg. Z rovnice 1 je zřejmé, že pokud by krokový motor sloužil přímo pro držení dvířek v horní poloze, byla by na něj vyvíjena síla přibližně 20 N. Pokud bude použit jeden krokový motor pro obě dvířka, bude tato síla přibližně dvojnásobná. S tím si většina cenově dostupných servo motorů umí poradit, podmínkou je ale konstantní přítomnost napájení, což by drasticky snížilo výdrž celého zařízení. Proto se jako vhodnější varianta jeví použití mechanismu závlačky, která ponese veškerou váhu dvířek, a o její odejmutí a následné sklapnutí pasti se postará právě servo motor. Z těchto důvodů se jako vhodný kandidát jeví například model SG90 s následujícími vlastnostmi:

- napájecí napětí 3 - 7,2 V,
- točivý moment při 4,8 V: 1,2 kg/cm,
- točivý moment při 6 V: 1,6 kg/cm [65].

$$F = m \times g = 2 \times 9,81 = 19,62 \text{ N} \quad (1)$$



Obr. 4.3: Schéma zapojení váhových senzorů (Upraveno z [68]).

4.2 Design PCB (Printed Curcuit Board)

Tvorba a design PCB je jedním z dalších výstupů této práce. Následující kapitoly popisují proces návrhu PCB a funkce jednotlivých částí.

4.2.1 Altium Designer

Jako nástroj pro tvorbu PCB byl zvolen program Altium Designer [69]. Tento program umožňuje neplacenou studentskou, plnohodnotnou verzi, což byl jeden z důvodů jeho výběru. Dalším z důvodů jeho výběru je jeho všeobecná známost a dostatek podpůrných a studijních materiálů.

4.2.2 Rozložení PCB

Požadavky na rozměry PCB nejsou přesně určeny. Jedním z vodítek však při hledání optimálních rozměrů byly rozměry Li-Ion baterií 18650, které se starají o napájení všech komponent zařízení. Zároveň je tuto desku třeba jednoduše umístit na tělo sklapovací pasti.

Po umístění všech komponent na desku byly zvoleny následující rozměry, a to sice 105×96 mm. Šířka desky bez osazených součástek je pak přibližně 1,7 mm. Šířka PCB je dána počtem vrstev, v tomto konkrétním případě má deska celkem čtyři vrstvy. Pokud budeme jako nejvyšší vrstvu brát tu, na které jsou osazeny jednotlivé komponenty, jsou funkce jednotlivých vrstev následující:

- **Nejvyšší vrstva (Top_SIG)**
 - Nejvyšší vrstva PCB obsahující pájecí plochy pro umístění všech komponent zařízení.
 - Vrstvu tvoří naprostá většina tras spojujících jednotlivé komponenty.
 - Šířky jednotlivých tras se pohybují v rozmezí od 0,8 po 0,2 mm.
 - Větší celky jsou propojeny polygony, umožňující vyšší proudový odběr než klasické trasy.
 - Okolí tras je vyplněno zemí (GND).
 - S ostatními vrstvami je spojena pomocí vhodných prokovů.
- **Druhá vrstva (Top_GND)**
 - Tvořena výhradně zemí (GND).
 - Slouží jako jednolitě uzemnění pro nejvyšší vrstvu.
 - Spojena prokovy s nejvyšší a nejnižší vrstvou.

- **Třetí vrstva (PWR)**
 - Vrstva sloužící výhradně pro rozvod napájení do všech komponent desky.
 - Tvořena čtyřmi polygony (5V, 3V3, 1V8 a CHARGER_OUT).
 - Jednotlivé polygony jsou prokovy spojeny s požadovanými komponentami na nejvyšší vrstvě.
- **Nejnižší vrstva (Bott_SIG)**
 - Obsahuje zbylé trasy spojující komponenty na nejvyšší vrstvě.
 - Podobně jako na nejvyšší vrstvě, i zde je okolí tras vyplněno zemí (GND).

Jednotlivé periferie (teplotní senzor, váhové senzory, GNSS a LTE anténa, koncové spínače, servomotor) jsou připojeny pomocí konektorů zajišťující možnost odpojení jednotlivých komponent. Použity jsou konektory typu JST-HX s daným počtem pinů pro konkrétní aplikaci. Ovládání komponent PCB, které byly převážně využívány během vývoje a testování, jsou ke zbytku obvodu připojeny pomocí jednoduchých jumperů/propojů.

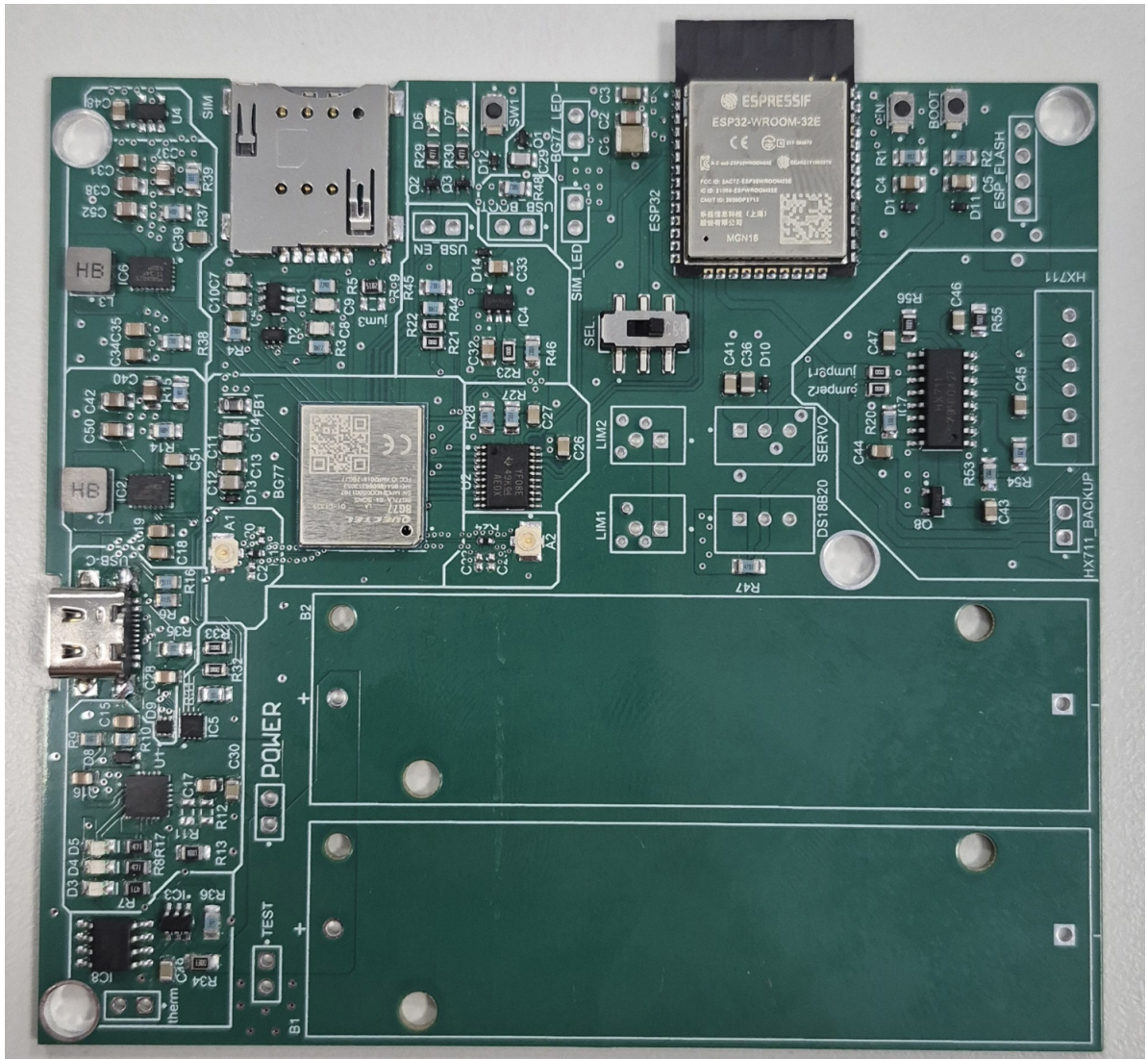
Podoba PCB prototypu je viditelná na Obr. 4.4.

4.2.3 Komponenty a jejich funkce

Následující tabulka 4.1 shrnuje všechny klíčové komponenty PCB, které byly v návrhu použity.

Typ	Druh	Popis	Označení na PCB
MCP73871-2CCI/ML	mikrokontrolér	správa nabíjení/vybíjení baterie	U1
MAX17048G+	integrováný obvod	sledování úrovně baterie	IC5
TPS63021DSJR	buck-boost converter	zdroj 5 V DC	IC2
TPS63021DSJR	buck-boost converter	zdroj 3,3 V DC	IC6
MCP1802T-1802I/OT	buck converter	zdroj 1,8 V DC	U4
BG77	mikročip	připojení zařízení k NB-IoT/CatM síti	BG77
SIM7100	pasivní komponenta	modul pro připojení SIM karty	SIM
TXS0108EPWR	převodník úrovní	obousměrný převod logických úrovní z 1,8 na 3,3 V	U2
NCP115ASN330T2G	integrováný obvod	regulátor napětí 3,3 V 300 mA	IC4
HX711	integrováný obvod	AD převodník pro připojení tenzometrických senzorů.	IC7
ESP32	mikrokontrolér	hlavní ovládací mikrokontrolér	ESP32

Tab. 4.1: Komponenty osazené na PCB.



Obr. 4.4: Podoba PCB prototypu zařízení

4.3 Software

Tvorba softwaru pro toto zařízení probíhala v prostředí Arduino IDE, tedy v programovacím jazyce C++. Využití právě jazyka C++ s sebou přináší výhody v podobě značné podpory komunity ostatních programátorů.

Software byl po zkompilování připojeným PC nahrán do mikrokontroléru ESP32 pomocí USB-UART převodníku, přes který také do PC ve fázi vývoje proudily data ze sériového rozhraní již zmíněného mikrokontroléru. Zamýšlenou součástí zařízení měla být také přítomnost WiFi hotspotu, který by uživateli umožnil přímé spojení se zařízením pomocí mobilního telefonu. To by umožnilo provádět potřebná nastavení (zejména minimální požadovanou hmotnost zvířete) přímo na místě. V prototypu zařízení, které testovalo zejména celkovou funkčnost a správnost konceptu tato funkce nebyla implementována.

Pro modul BG77 byla vytvořena vlastní knihovna, která je svou základní strukturou odvozena od knihovny thingplot. Ta v sobě implementuje logiku inicializace dvou sériových komunikačních rozhraní s ESP32 a vlastní nastavení v podobě zasílaných AT (Attention) příkazů. AT příkazy jsou strukturované příkazy skládající se z písmen, čísel a speciálních znaků. Pomocí zasílání těchto příkazů, případně jejich vyčítání z modulu BG77 dosáhneme obousměrné komunikace umožňující nastavování konkrétních parametrů modulu a možnosti sledování jeho odezvy. Podrobná grafika zobrazující funkci softwaru je dostupná v příloze na konci tohoto dokumentu v části B a funguje následovně:

Uživatel zařízení s nabitými akumulátory umístí na tělo pasti. Poté nastaví přepínač do polohy SETTINGS. Po připojení zařízení k napájení dojde ke spuštění procesu nastavení, jehož průběh je viditelný (v případě prototypu) v sériovém okně připojeného PC. Následně je uživatel vyzván k provedení kalibrace váhy. Ta spočívá ve dvou krocích:

- Proveď operaci *tare* - tato operace má za následek nastavení aktuální hodnoty jako hodnoty nulové. Získáme tak rozdíl mezi skutečnou a *tare* hodnotou, která je uložena do paměti EEPROM a je použita při dalším probuzení zařízení.
- Polož na váhu objekt známé hodnoty a tuto hodnotu zadej do sériového monitoru - tím dojde ke kalibraci váhy a kalibrační konstanta, která je v dalších měřeních zahrnuta do určení výsledné váhy. Následně je také uložena do paměti EEPROM.

Poté je uživatel vyzván, aby odpojil zařízení od napájení a umístil přepínač do polohy HUNT. V této poloze již není vyzván ke kalibraci váhy a dojde přímo k iniciaci všech senzorů a modulu BG77. Tuto volbu uživatel také zvolí v případě,

kdy v zařízení mění pouze baterie a není tak potřeba kalibrovat váhu. BG77 pak následně na server odesílá první zprávu obsahující data o teplotě a napětí na baterii. Po provedení těchto úkonů zařízení přechází do režimu spánku na dobu, která je stanovena v dané proměnné (viz kapitola 4.3.6).

Další úkony, které zařízení vykonává, závisí na způsobu, jakým bylo zařízení probuzeno. Díky nativní funkci `esp_sleep_get_wakeup_cause()` může program dle její návratové hodnoty zjistit, jakým způsobem bylo zařízení probuzeno (viz kapitola 4.3.7, kde je také popsán sled úkonů, které jsou prováděny podle daného typu probuzení).

V případě, že chce uživatel zařízení resp. past demontovat a případně přenést na jinou lokaci, provádí celý proces znovu na novém místě určení, jelikož umístěním váhy na jiný typ podkladu dojde k nutnosti provést její kalibraci znovu.

Níže je zmíněno a vysvětleno několik funkcí, které jsou pro správný běh zařízení podstatné, a které vystihují výše zmíněný proces použití zařízení.

4.3.1 Iniclace zařízení

Funkce `begin()` umožňuje již zmíněnou iniciaci dvou komunikačních UART rozhraní. Jedno z nich slouží pro výměnu AT příkazů mezi BG77 a ESP32, druhé pak pro příjem NMEA (National Marine Electronics Association) vět z GNSS rozhraní. Komunikace na obou rozhraních probíhá na rychlosti 115200 baudů. Obsahuje také funkci `powerOn()`, kde již název napovídá o jejím účelu. Pomocí sekvence na daném přiřazeném pinu ESP32 dojde k zapnutí modulu BG77, případně jeho probuzení z režimu spánku.

4.3.2 Režim spánku modulu BG77

Funkce `psm_config()` je podstatná pro umožnění zařízení připojení k síti. Obsahuje totiž nastavení parametrů TAU (Tracking Area Update) a Active Time. Tyto parametry jsou během připojování zařízení k síti předávány do dané sítě. TAU je hodnota udávající, po jaké době se musí zařízení ohlásit síti, aby bylo považováno za aktivní. V každé síti, resp. u každého z operátorů se maximální délka TAU liší, v případě operátora Vodafone jde o maximálně 24 hodin. Pro účely testování však byla zvolena kratší hodnota, a to sice 70 minut. Active Time pak stanovuje minimální čas, během kterého musí být zařízení aktivní, než opět po úspěšném ohlášení do sítě přejde do režimu spánku.

4.3.3 Nastavení APN a PDP (Packet Data Protocol) kontextu

Funkcí `csq(const char* APN)` ovládáme nastavení PDP kontextu. PDP kontext je logické propojení mezi stanicí a sítí. Při opětovném zasílání dat již není nutné PDP kontext vytvářet znovu, mezi jednotlivými přenosy však nesmí být časový úsek, který přesahuje maximální hodnotu danou konkrétním operátorem. V případě operátora Vodafone se pak jedná o maximální hodnotu rovnou 24 hodinám.

4.3.4 Formátování odesílaných dat

Formátování dat k odeslání má na starosti funkce `sendData()`. Tato funkce je již (stejně tak jako všechny následující funkce) součástí hlavního skriptu, který funkce z jednotlivých knihoven propojuje a vytváří hlavní logiku programu. Samotná funkce `sendData()` má na starosti otevření MQTT spojení a jeho uzavření na konci, na starosti má také umístění jednotlivých naměřených hodnot do již zmiňovaného formátu JSON, ve kterém jsou data odesílána. V závislosti na scénáři, při kterém k odesílání dat dochází, se také formát zpráv mění. V případě zachycení zvířete v pasti je odeslána plná zpráva obsahující údaje o teplotě, napětí baterie a aktuální váze. Zároveň je zasílána proměnná `ALERT`, která mění svůj stav na `true` nebo `false`. To umožní serveru spuštění logiky upozornění uživatele, bez nutnosti nastavovat hodnotu dané úrovně přímo na serveru, jelikož se tato úroveň může dle nastavení uživatele měnit. Příklad této zprávy ve formátu JSON je viditelný na výpisu 1.

Výpis 1: Umístění proměnných do formátu JSON

```
1  
2 {"battery_voltage\":"%.2f","ds18b20_temp\":"%.2f",  
3  "current_weight\":"%.2f","alert\":"%s"},  
4  battery_voltage, ds18b20_temp, current_weight,  
5  ALERT ? "true" : "false");
```

4.3.5 Odeslání dat na server

Tuto funkci obstarává funkce `publish_mqtt(const char* mqtt_ip, const char* topic, const char* data)`. Protokol MQTT je lehký síťový protokol určený pro zasílání zpráv mezi zařízeními v prostředích s omezenou přenosovou kapacitou a nestabilním připojením.

MQTT funguje na principu architektury `publish/subscribe`. Komunikace neprobíhá přímo mezi jednotlivými zařízeními (klienty), ale prostřednictvím centrálního serveru zvaného broker. Každý klient může buď publikovat zprávy (jako vydavatel),

nebo se přihlašovat k odběru zpráv (jako odběratel), případně obojí. Klíčovým prvkem tohoto mechanismu je tzv. *topic* – textový identifikátor zprávy, který slouží k jejímu směrování. Nejedná se o nejvýhodnější variantu z pohledu datové úspory, pro účely testování však byl zvolen z důvodu nativní podpory modulem BG77.

Po navázání PDP kontextu je pak navázáno spojení se serverem ThingsBoard pomocí dané IP adresy na portu 1883. Jedná se o standardní port právě pro použití s protokolem MQTT. Zásílaná zpráva obsahuje tři údaje: údaj o napětí na baterii, údaj o okolní teplotě a údaj o aktuální hmotnosti, kterou naměřily váhové senzory zařízení. Data jsou serveru předávána ve formátu JSON (JavaScript Object Notation). Tento formát umožňuje serveru správně rozeznat jednotlivé proměnné a jejich hodnoty a následně s nimi pracovat.

4.3.6 Výpočet času spánku pro mikrokontrolér ESP32

Výpočet času, po který bude mikrokontrolér ESP32 v režimu hlubokého spánku, obstarává funkce *sleepTime()*. Jelikož provedení jednotlivých úkonů zabírá určitý čas, který není vždy stejný, implementuje tato funkce vlastní mechanismus. Tento mechanismus beze v potaz čas, po který je modul probuzený, a započítává ho do výpočtu doby spánku. Požadovaný rozestup mezi probuzeními (tedy doba spánku mikrokontroléru) je definován uživatelem v dané proměnné. Pro výpočet využívá formátu epoch, což je čas reprezentovaný počtem sekund, které uplynuly od 1. ledna 1970. V tomto konkrétním případě ovšem dochází k výpočtu času v sekundách, který proběhl od poslední aktivace mikrokontroléru. Funkci *sleepTime()* lze vidět na výpisu 3.

4.3.7 Hlavní logika zařízení

Hlavní logika funkce zařízení je tvořena funkcemi *closingLogic()*, *setup()* a *loop()*. Obsahují prakticky všechny výše zmíněné funkce a spojují je do jednoho funkčního celku. O jejich spuštění je rozhodnuto na základě způsobu, kterým byl mikrokontrolér ESP32 spuštěn. V tomto programu jsou rozlišeny tři způsoby spuštění:

- **Koncový spínač** - zařízení bylo probuzeno koncovým spínačem, značí přítomnost zvířete v pasti, funkce *closingLogic()* je zavolána.
- **Časovač** - zařízení bylo probuzeno po vypršení časovače, který je v testovacích podmínkách nastaven na 5 minut, v případě ostrého nasazení by se jednalo o 24 hodin. V tomto případě funkce *closingLogic()* volána není.
- **Připojení k napájení** - zařízení je prvotně spuštěno, tudíž provede úkony spojené s připojením k síti a získání dat o poloze. Zařízení odešle data na server. V tomto případě proto funkce *closingLogic()* není taktéž volána.

Funkce *closingLogic()* v sobě implementuje logiku určení váhy objektu, na základě které provádí další kroky. Rozhodující je v tomto případě zvolená minimální váha objektu. Po probuzení zařízení dojde k iniciaci váhových senzorů, ze kterých je získána aktuální hodnota. Pokud je vyšší, než stanovená hranice, dojde k pohybu servo motoru, který zajistí zavření pasti a odešle tuto skutečnost na server. Pokud je aktuální hodnota nižší, než stanovená hranice, zařízení přejde opět do režimu spánku.

4.4 GNSS

Modul BG77 disponuje dedikovaným rozhraním pro příjem informací ze satelitů GNSS. Jak již bylo zmíněno v kapitole 4.1.2, podpora je zajištěna u všech globálně známých a používaných satelitních konstelací. Prototyp zařízení proto počítal z možností využití GNSS pro přesnou lokaci zařízení v terénu. Problém však nastal při snaze zachytit signál z již zmíněných satelitů GNSS, konkrétně satelitů konstelace GPS, GLONASS a Galileo. Software modulu BG77 správně přijal požadované AT příkazy, které umožnily správné nastavení rozhraní pro příjem GNSS. I při nastolení ideálních podmínek pro příjem signálu, kdy bylo zařízení umístěno na otevřeném prostranství bez vysokých budov v okolí za jasného počasí, nebylo možné signál zachytit. Při dalším zkoumání problému bylo zjištěno, že aktuální firmware, který je na modulu nahrán, nepodporuje korektní příjem dat ze systémů GNSS. Při snaze o získání nového, aktuálního firmwaru pro modul BG77 bylo zjištěno, že firmware je ve vlastnictví výrobce modulu BG77, tedy firmy Quectel. Ta však práva pro použití nového firmwaru poskytuje pouze významným odběratelům a partnerům. Možnost získat firmware se proto pro „obyčejného“ koncového zákazníka ukázala jako složitý úkol, který se nepovedlo v čase stanoveném pro práci vyřešit.

Schéma na Obr. 4.5 níže zobrazuje zamýšlenou logiku funkce GNSS v rámci softwaru prototypu. Následující text popisuje zamýšlenou, rozpracovanou logiku práce s rozhraním GNSS za ideálních funkčních podmínek.

- **Nastavení**
 - V modulu BG77 nastavena priorita na rozhraní GNSS, proto akce rozhraní LTE zůstávají upozaděny.
 - Modulu jsou zaslány údaje o požadovaných konstelacích, kterým má modul naslouchat, nastaven je také požadovaný formát NMEA zpráv.
 - Dojde k zapnutí rozhraní GNSS.

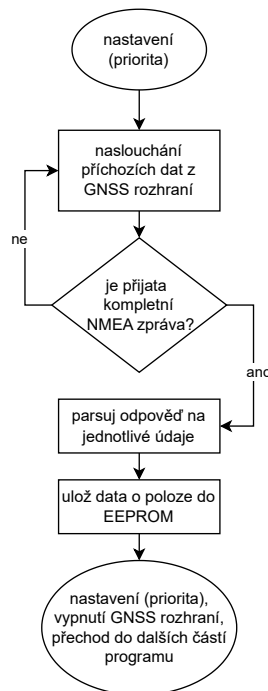
- **Naslouchání**
 - Použit je příkaz "AT+QGPSGNMEA=GGA"nebo "AT+QGPSGNMEA=RMC". GGA a RMC odkazuje na dané požadované formáty NMEA zpráv.
- **Zpracování odpovědi**
 - Po přijetí kompletní zprávy (příklad NMEA zprávy je vidět na výpisu 2) dojde k rozdělení jednotlivých údajů na samostatné údaje.
 - Údaje o zeměpisné šířce a délce jsou uloženy do EEPROM paměti mikrokontroléru ESP32, aby k nim bylo možno přistupovat i bez opětovného zapínání GNSS, což by zvýšilo spotřebu energie.
- **Ukončení**
 - Zařízení vypne rozhraní GNSS.
 - Změní prioritu na rozhraní LTE a pokračuje dále v běhu programu.

Výpis 2: Příklad věty GNGGA

```

1 $GNGGA ,185833.80 ,4808.7402397 ,N ,
2 01133.9325039 ,E ,5 ,15 ,1.1 ,470.50 ,M ,45.65 ,M , ,*75

```



Obr. 4.5: Schéma logiky GNSS.

Výpis 3: Funkce sleepTime()

```
1 void sleepTime()
2 {
3     currentEpoch = rtc.getEpoch();
4
5     if (currentEpoch < wakeUpEpoch)
6     {
7         timeToSleep = (uint64_t)(wakeUpEpoch - currentEpoch) *
8         uS_TO_S_FACTOR;
9         #ifdef DEBUG
10        Serial.println("ESP will sleep for: " +
11        String(timeToSleep / 1000000) + " seconds");
12        #endif
13    }
14    else
15    {
16        timeToSleep = (uint64_t)TIME_TO_SLEEP * uS_TO_S_FACTOR;
17
18        wakeUpEpoch = currentEpoch + TIME_TO_SLEEP;
19
20        #ifdef DEBUG
21        Serial.println("ESP will sleep for: " +
22        String(timeToSleep / 1000000) + " seconds");
23        #endif
24    }
25
26    // Set up wakeup sources
27    esp_sleep_enable_ext0_wakeup(GPIO_NUM_25, 0);
28    esp_sleep_enable_timer_wakeup(timeToSleep);
29
30    #ifdef DEBUG
31    Serial.println("Going to sleep now");
32    delay(100);
33    Serial.flush();
34    #endif
35
36    esp_deep_sleep_start();
37 }
```


Výpis 4: Funkce closingLogic()

```
1 void closingLogic()
2 {
3   if (current_weight >= CLOSING_THRESHOLD)
4   {
5     #ifdef DEBUG
6     Serial.println("Object is heavier than set threshold");
7     Serial.println("Initiating closing procedure");
8     #endif
9
10    setupBatteryShort();
11    setupServo();
12    setupDH18B20();
13
14    moveServo();
15
16    #ifdef DEBUG
17    Serial.println("Closed trap door");
18    Serial.println("Reading temp and batt data");
19    #endif
20
21    readTemp();
22    readBatteryVoltage();
23
24    ALERT = true;
25
26    bg77.begin(115200, 115200);
27
28    sendData(1);
29  }
30
31  else
32  {
33    #ifdef DEBUG
34    Serial.println("Object is not heavy enough");
35    Serial.println("Closing procedure aborted");
36    #endif
37  }
38
39 }
```

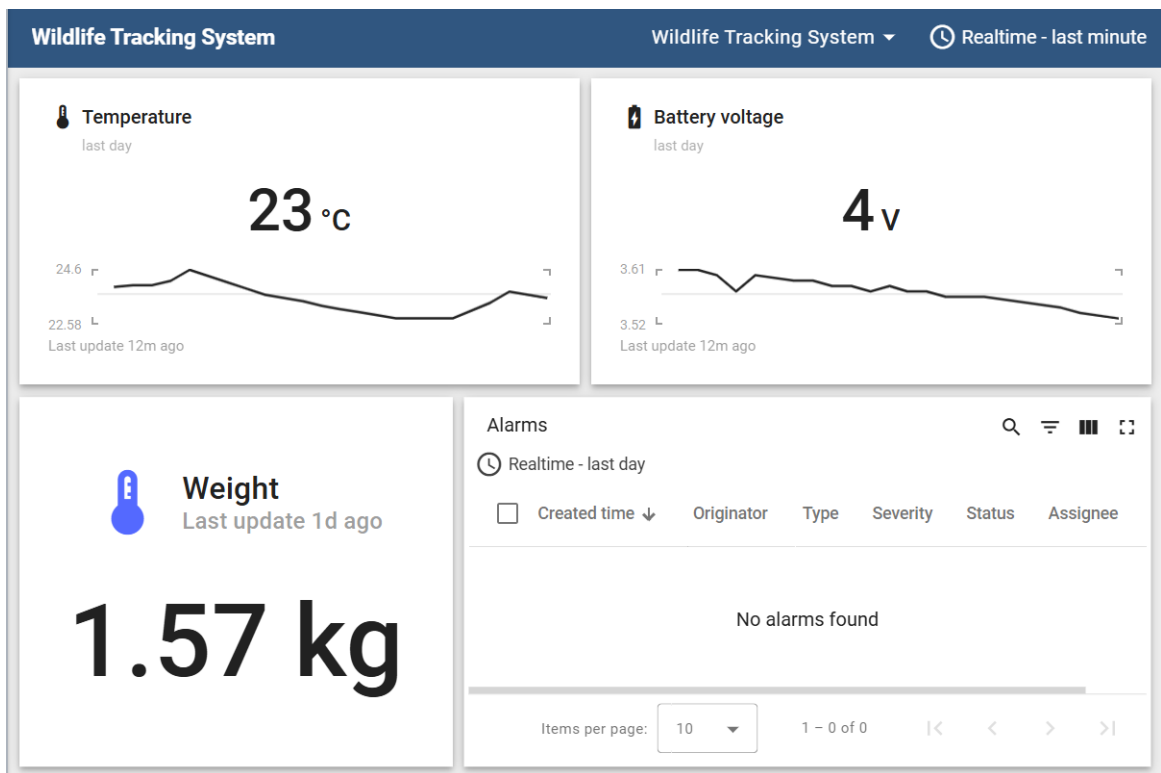
4.5 Serverová část

Jako platforma pro zobrazování naměřených dat byla zvolena platforma ThingsBoard [66]. Jedná se o open-source platformu, která je vytvořena speciálně pro zobrazování dat z IoT zařízení. Samotná platforma v sobě implementuje protokol MQTT a MQTT broker, na který jsou data ze zařízení vysílána na již zmíněný port 1883. Server je spuštěn v prostorách FEKT VUT. Uživatelský přístup je možný z veřejné IP adresy a portu. Platforma ThingsBoard je hostována na serverech FEKT VUT, což celý proces testování usnadnilo, jelikož primárním cílem bylo úspěšně přijmout potřebná data a ověřit tak funkčnost bezproblémového připojení.

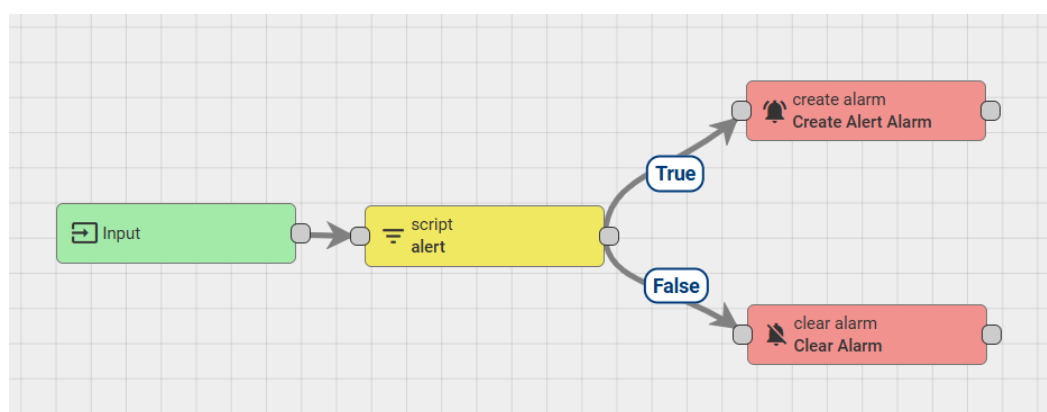
Poměrně podstatným problémem, který při vývoji serverové části vyvstal, byl problém keepalive zpráv. Tyto zprávy umožňují serveru sledovat aktivitu zařízení, a informovat tak uživatele o (ne)aktivitě zařízení. To s sebou však přináší zbytečné zprávy navíc, které by zvýšily celkovou datovou spotřebu zařízení. Zevrubným studiem funkcí platformy ThingsBoard však bylo zjištěno, že lze tuto funkci vypnout. Ekvivalentem k těmto zprávám se tak stanou samotné zprávy zasílané každých 24 hodin, které v sobě již obsahují užitečná data.

Po připojení zařízení k síti je možné na server zasílat potřebná data. Jak již bylo zmíněno v kapitole 4.3.4, v rámci testování byly zasílány čtyři veličiny - teplota, napětí na baterii, naměřená váha a proměnná *alert*. Díky použití formátu JSON jsou data okamžitě po přijetí zpracována systémem ThingsBoard, který poté uživateli nabídne zobrazovat data v předpřipravených kartách, možné je nahrání i vlastních motivů. Jedna z mnoha možných podob uživatelského rozhraní na platformě ThingsBoard je viditelná na Obr. 4.6.

Proměnná *alert* je pak serverem zpracována pomocí logiky Rule Chain. Ta umožňuje v grafické formě tvorbu pravidel. Jedním z nich je právě tvorba alarmů, které je pak možné v systému dále využívat, například pro informování uživatele v mobilní aplikaci. Rule Chain vytvoření pro účely zpracování proměnné *alert* je viditelný na Obr. 4.7.



Obr. 4.6: Jedna z mnoha možných podob uživatelského rozhraní



Obr. 4.7: Logika zpracování alarmu.

4.6 Kryt pro zařízení

Koncept krytu pro zařízení byl vytvořen za pomoci programu Onshape [67] ve studentské licenci. Kryt tvoří dvě do sebe zapadající poloviny obdélníkového půdorysu o rozměrech $125 \times 120 \times 28$ mm. Zařízení samotné je pak proti pohybu zabezpečeno čtveřicí válcovitých výstupků s průměrem 3 mm a délkou 25 mm, které svou polohou korespondují s otvory na samotné PCB. Druhá polovina krytu pak obsahuje duté válce s průměrem vnitřní mezery 3 mm, které zapadají do válcovitých výstupků spodní poloviny. Tím je PCB upevněna na svém místě a nehrozí její nežádoucí pohyb.

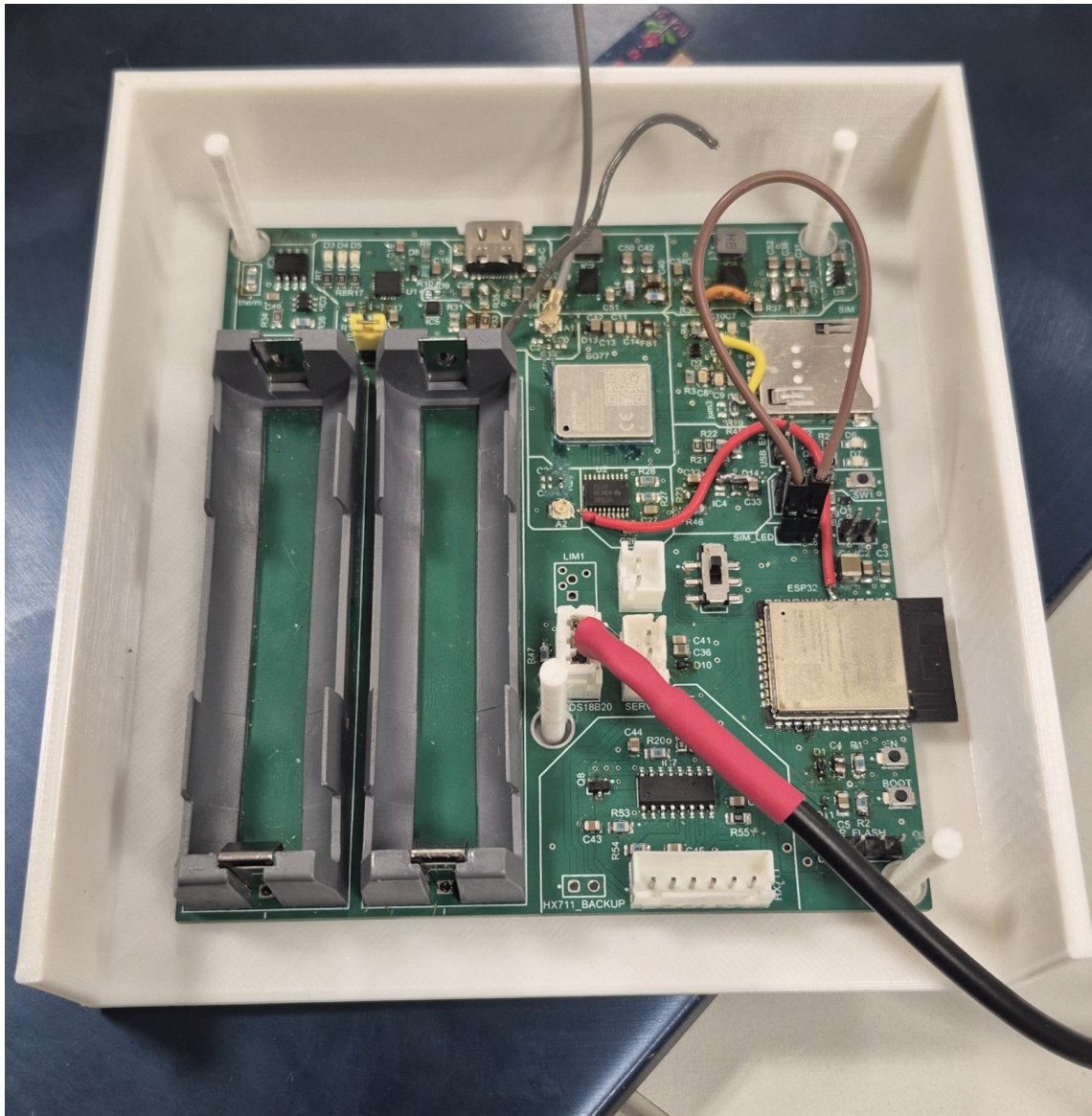
Zhotovení proběhlo pomocí 3D tisku za pomoci tiskárny Prusa MK2. Jako materiál pro výrobu byl zvolen materiál PLA, který nedisponuje parametry vhodnými pro použití ve venkovním prostředí. Prototyp krytu pro zařízení byl však vyvíjen pro účely testování jako rozměrová maketa, která zároveň učinila manipulaci s PCB bezpečnější. Pro použití krytu v laboratorním prostředí tak materiál PLA plně stačoval.

Prototyp zařízení umístěný ve spodní polovině krytu je viditelný na Obr. 4.8 a v příloze v části C.

4.7 Zabezpečení zařízení

V uvažovaném scénáři je zařízení umístěno ve venkovním prostředí s volným přístupem a pohybem nepovolaných osob. Vyvstává tedy otázka, jak zařízení dostatečně zabezpečit, aby nedošlo k jeho odcizení nebo případnému zneužití. Zařízení musí být umístěno v blízkosti samotné pasti, a samotný scénář odchyty zvěře neumožňuje umístit zařízení za fyzickou překážku, která by odcizení znesnadnila. Znesnadnit krádež zařízení, případně ho zabezpečit proti dalšímu neoprávněnému zneužití můžeme třemi způsoby:

- Využití objektů v okolí pasti - zařízení je možné umístit například na vyvýšené místo na stromě, které nepřipravenému lupiči může krádež znesnadnit. Dodrženy však musí být poznatky ohledně délky kabelového vedení k váhovým senzorům (viz kapitola 4.8.2).
- Využití vlastností pasti - při odchyty větších zvířat je logicky nutné použít také pasti větších rozměrů. S tím také roste celková váha pasti. Zařízení by tak bylo možné umístit např. do kovové schránky, která by byla pevně spojena s pastí. To by nepovolané osobě mohlo krádež překazit.



Obr. 4.8: Prototyp zařízení umístěný ve spodní polovině krytu.

- Využití softwaru - Jako velice elegantní řešení se jeví využití tzv. geofencingu. Geofencing je funkce, která umožňuje provádět určité akce na základě polohy zařízení. Tuto funkci má modul BG77 implementovanou ve svém firmwaru. Pokud by tak došlo k neoprávněné manipulaci se zařízením mimo stanovenou oblast, ve které bylo zařízení používáno, modul BG77 může zablokovat ostatní funkce zařízení a tím ho pro další použití neoprávněnou osobou znehodnotit. Nastavení dané oblasti je možné pomocí příslušného AT příkazu, který je viditelný na výpisu 5. Vzhledem k problémům, které vyvstaly u požití funkce GNSS (viz kapitola 4.4), nebyla tato funkce u prototypu implementována.

Výpis 5: Ukázka nastavení funkce geofencing na modulu BG77. V tomto případě je vytvořen okruh 500 m okolo FEKT VUT.

```
1 "AT+QCFGEXT="addgeo",1,3,0,49.226553,16.574938,500"
```

4.8 Testování

Testování zařízení probíhalo v laboratorních podmínkách FEKT VUT. Testována byla celková funkčnost logiky zařízení a jednotlivých periferií a senzorů, schopnost připojení k serveru a odesílání dat, stejně tak jako přesnost měření váhy zachyceného zvířete. Z důvodu testování v laboratoři nebyl testován vliv vnějších vlivů prostředí na zařízení a výdrž akumulátorů.

4.8.1 Proudový odběr a životnost baterie

Proudový odběr zařízení byl měřen v podmínkách laboratoře. Na výdrž zařízení na jedno nabití pak budou mít vliv zejména vlivy prostředí jako okolní teplota, která může životnost zařízení výrazně snížit. Následující tabulka 4.2 zobrazuje proudový odběr zařízení v jednotlivých etapách funkce.

Životnost baterie byla testována ze dvěma akumulátory Westinghouse 18650 s výrobcem udávanou kapacitou 2600 mAh. Při testování životnosti baterií byl rozestup mezi intervaly probuzení modulu ESP32 prodloužen na hodnotu jedné hodiny. Proudový odběr modulu BG77 v režimu GNSS se dle výrobce rovná cca 35 mA. Vzhledem k tomu, že snaha o získání polohy probíhá pouze při prvotním spuštění zařízení, není třeba brát v potaz počet opakování tohoto procesu. Pokud budeme počítat s informací udávaných výrobcem, k získání dat o poloze by mělo dojít přibližně po třiceti sekundách naslouchání. Tato doba tak na celkovou životnost akumulátorů nemá výrazný vliv. Během doby stanovené na tvorbu této práce nebylo dosaženo plného

otestování výdrže baterie. Tato vlastnost byla testována pouze částečně, a to s akumulátory o počátečním napětí 3,7 V. Zařízení zasílalo na server telemetrická data každou hodinu. Při postupném snižujícím se napětí baterie byly pozorovány nepřesnosti v čase probuzení modulu, zřejmě způsobené nestálým napětím na obvodech ESP32 zajišťující správný odpočet času do probuzení. Poslední zpráva byla na serveru přijata po necelých pěti dnech, napětí na člancích se v ten moment pohybovalo na hodnotě 2,5 V a časová odchylka od plánovaného času probuzení se lišila o deset minut.

4.8.2 Váhové senzory

Testování probíhalo včetně zapojených váhových senzorů, které byly umístěny v pouzdře zhotoveném pomocí 3D tisku, stejným postupem jako ochranný kryt. Tato pouzdra pak byla upevněna na dřevěné prkno, které sloužilo jako základna. Položením břemena na základnu pak došlo k určení jeho váhy. Výsledky získané pomocí takto sestrojené váhy byly za pomoci předchozí kalibrace poměrně přesné, software umožňoval určit váhu s přesností na dvě desetinná místa. Bylo však zjištěno, že pokud je na základnu umístěno břemeno vyšší hmotnosti, dochází vlivem flexibility dřevěné základny ke zkreslování výsledků. Proto se pro další verze zařízení doporučuje použití pevnějších a méně flexibilních materiálů pro výrobu této základny.

Dalším zjištěním při testování váhových senzorů byla nutnost zajistit, aby se vážený objekt příliš nepohyboval. Pokud uvažujeme každému známý model vážení např. osoby, všimneme si, že pro správnost výsledku je důležité, aby vážený objekt zůstal pokud možno nehnutě do chvíle, než je měření dokončeno. To se však při určování váhy zvířete v pasti nejeví jako reálné. Zvíře se totiž po zachycení v pasti snaží z pasti dostat ven. Jeho pohyb tak může výrazně zkreslovat výsledná měření. Stále je však obsluha pasti schopná určit alespoň přibližné proporce zvířete na základě intervalu, ve kterém se naměřené hodnoty nachází. Řešením pro budoucí verze zařízení by tak mohla být implementace dalšího časovače v mikrokontroléru ESP32, který by se po zachycení zvířete budil častěji, a dokázal tak data z váhových senzorů průměrovat ve větším časovém rozptylu a tím postupně upřesňovat měření.

Dalším vlivem, který viditelně ovlivňoval přesnost měření, byla okolní teplota, jelikož váhové senzory pracují na principu měření odporu. Při měnící se teplotě okolí tak dochází ke změně odporu, s tím se také odchyluje naměřená hodnota od hodnoty kalibrované. V aktuálním scénáři, kdy zařízení do okamžiku přítomnosti zvířete v pasti spí, není pravděpodobně možné tento problém vyřešit. Pokud bychom totiž provedli *tare* (tedy nastavení aktuální hodnoty jako nulovou) v momentě přítomnosti zvířete, nedošlo by k jeho správnému zvážení. Řešením by tak mohlo být buzení mikrokontroléru ESP32 v kratších intervalech, kdy by byla operace *tare* prováděna.

Druhým řešením by mohlo být vytvoření křivky reprezentující závislost změny odporu tenzometrů na teplotě. Ve spojení s daty z teplotního senzoru DS18B20 by tak bylo možné chybu v měření kompenzovat.

Zjištěna byla také závislost délky kabelového vedení z váhových senzorů k zařízením na schopnosti poskytovat smysluplné výsledky. Test byl prováděn s klasickým kabelem typu UTP, kdy byl každý ze čtyřech párů použit pro připojení jednoho z váhových senzorů. Prvotní verze vedení byla dlouhá přibližně tři metry, kdy ovšem z váhových senzorů neproudila žádná data. Postupným zkracováním délky vedení na jeden metr bylo dosaženo uspokojivých výsledků. Způsobeno je to především již zmiňovanou odporovou povahou váhových senzorů a také skutečností, že se při vážení pracuje s velmi malými odchylkami napětí. V dalších verzích se proto doporučuje umístění převodníku HX711 mimo PCB do blízkosti samotných váhových senzorů.

Tab. 4.2: Tabulka analyzující proudový odběr během jednotlivých fází funkce zařízení.

Fáze	Proudový odběr (mA)	Poznámka
Připojení napájení	20	BG77 a ESP32 vypnuty
Kalibrace váhy	40–60	BG77 off
BG77 připojování	120–220	Navázání spojení se sítí, PDP context
BG77 GNSS	—	Se stávajícím firmwarem nebylo testováno
Pohyb servo	80–110	Pohyb o 180°
BG77 odesílání dat	110–160	Navázání a rozvázání MQTT spojení
ESP32 DSM, BG77 ON	20	DSM = Deep Sleep Mode; ON = zapnutý
ESP32 DSM, BG77 PSM	< 10	PSM = Power Sleep Mode

Závěr

Tato práce se zabývala vývojem zařízení, které umožní uživateli dálkově monitorovat stav sklapovacích pastí na divokou zvěř.

První část práce přiblížila čtenáři princip funkce sklapovací pasti a její nedostatky. Jako hlavní nedostatek běžné mechanické pasti byla shledána náchylnost k vnějším vlivům, jako jsou poryvy větru či sněh. Dalším nedostatkem těchto pastí je jejich neschopnost rozlišit zachycené zvíře uvnitř pasti.

Druhá část práce shrnula komerčně dostupná zařízení, která svými funkcemi připomínají funkce vyvíjeného zařízení. Zmíněny zde jsou jejich výhody a nevýhody a míra vhodnosti pro využití v tomto konkrétním projektu. Dále jsou zde také zmíněna tři zařízení, která byla vyvinuta za stejným účelem, jako vyvíjené zařízení. Společným problémem, který tato zařízení mají, jsou vysoké náklady na jejich provoz spojený s nutností pořízení daných předplatitelských plánů, které umožní využít všechny funkce těchto zařízení.

Další část práce shrnula dostupné komunikační technologie. Nejprve je čtenáři přiblíženo základní dělení přenosových pásem, poté jsou pásma rozdělena do dvou hlavních skupin, a to na technologie využívající licenční pásmo a technologie využívající bezlicenční pásmo. V každé kapitole je zmíněna řada představitelů, jejich historie, klady a zápory a míra využitelnosti při vývoji zamýšleného zařízení. Pro komunikaci byla vybrána kombinace technologií CatM a NB-IoT, které se vyznačují dobrým pokrytím na území ČR, svým zaměřením jsou vhodné právě pro bateriemi napájené IoT zařízení a přináší výhody v podobě výhodných tarifů u operátora Vodafone. Tyto technologie zajistí spojení zařízení se serverem a přenos informací na uživatelské zařízení.

Třetí část popisuje výběr komponentů pro prototyp zařízení. Jako hlavní mikrokontrolér, který ovládá logiku celého zařízení, byl zvolen mikrokontrolér ESP32 WROOM-32E, který poskytuje dostatek výkonu a paměti pro tuto aplikaci, stále si však zachovává příznivou cenu. Pro komunikaci se sítí CatM/NB-IoT je použit modul BG77, který mezi těmito sítěmi dokáže na základě své interní logiky automaticky přepínat v závislosti na okolních podmínkách. Také v sobě integruje funkci GNSS. Údaje o teplotě okolí zajišťuje senzor DS18B20, údaje o váze jsou pak zpracovávány ADC převodníkem HX711.

Poslední část práce popisuje vývoj a testování prototypu zařízení. Zařízení tvoří čtyřvrstvá PCB osazená převážně SMD součástkami a napájení je zajištěno párem 18650 baterií. Během testování byl nejvyšší proudový odběr zařízení zaznamenán v případě odesílání dat přes modul BG77, kdy byl až 220 mA. Ve stavu, kdy byl modul BG77 uveden do režimu spánku a mikrokontrolér ESP32 byl v režimu hlubokého spánku, byl celkový naměřený proudový odběr zařízení nižší, než 10 mA. Na základě

částečného testu výdrže zařízení na jedno nabití byla dosažena výdrž necelých pět dní při odesílání zpráv každou hodinu.

Jako programovací jazyk byl zvolen jazyk C++ a prostředí Arduino IDE. V práci jsou pak zmíněny části kódu, které dobře vystihují logiku funkce zařízení, případně dobře ilustrují potřebné kroky. Použití jazyka C++ se jeví jako vhodná alternativa, jelikož je podpora ostatních programátorů na internetu velmi rozsáhlá. Tato kapitola také popisuje reálný scénář aplikace zařízení v provozu, vysvětleny jsou zde jednotlivé kroky, které je při spouštění zařízení třeba provést, následně jsou zde popsány a vysvětleny kroky, které zařízení po spuštění provádí samo.

Jako serverová platforma byla zvolena platforma ThingsBoard, která je vyvinuta právě pro použití s IoT zařízeními, a která poskytuje velké množství možností, jak výsledné uživatelské prostředí konfigurovat. Pro testování byl použit protokol MQTT a zprávy ve formátu JSON, které byly na server zasílány každou hodinu.

Prototyp krytu pro zařízení byl vyroben technologií 3D tisku z materiálu PLA, který plně postačoval pro potřeby testování. Pro použití ve venkovním prostředí je však doporučován odolnější materiál. O možnostech zabezpečení zařízení proti odcizení, případně možnostech, jak odcizenému zařízení znemožnit neoprávněné fungování, pojednává další kapitola této práce. Zmíněna je zde možnost využití technologie geofencing, která na základě dat o změně polohy (způsobené odcizením zařízení) může rozhodnout o zablokování funkcí zařízení.

Testování zařízení probíhalo v laboratorních podmínkách FEKT VUT. Váhové senzory byly upevněny na dřevěnou základnu. Testováním bylo zjištěno, že pro reálné nasazení je třeba vyrobit základnu z pevnějšího a méně pružného materiálu, jelikož tím dochází ke zkreslování výsledků, zejména při vyšších hmotnostech. Zároveň bylo testováním zjištěno, že změna teploty okolí má poměrně výrazný vliv na výstupní hodnotu tenzometrů, která v některých případech může výsledky značně zkreslovat. Ke zkreslení také může docházet v případě pohybu zvířete uvnitř pasti během měření. Vliv na výsledky měření má také délka vedení, kterým je zařízení s váhovými senzory spojeno. Pro další verze zařízení se tak doporučuje umístění ADC převodníku mimo PCB zařízení do blízkosti váhových senzorů. U dalších verzí zařízení je doporučena implementace zjištěných nedostatků, případně implementace uživatelského rozhraní, které nevyžaduje fyzické propojení se zařízením.

Literatura

- [1] ARGON.CZ. *Sklopec na kuny aneb k čemu slouží*. Online. Dostupné z: <https://www.agron.cz/blog/sklopec-na-kuny-aneb-k-cemu-slouzi/?srsltid=AfmBOoryMf1B6Gbbd1wycgebaqVN1ynECwj2uwmPatyrj0DyENgSgm4C>. [cit. 2024-10-05].
- [2] HAVRÁNEK, František a CISLEROVÁ, Eva. *Lov zvěře odchytem - predátoři*. Online. In: Myslivost. 2008. Dostupné z: <https://www.myslivost.cz/Casopis-Myslivost/Myslivost/2008/Leden---2008/Lov-zvere-odchytem---predatori>. [cit. 2024-11-10].
- [3] *Paul Dobbins trapper talk*. Online. In: . 2015. Dostupné z: <https://trapperman.com/forum/ubbthreads.php/topics/6542590/havahart-live-trap-fix-question>. [cit. 2024-11-10].
- [4] *Wildlife damage management: Tools and Techniques*. Online. In: . 2019. Dostupné z: <https://wildlife-damage-management.extension.org/tools-and-techniques/>. [cit. 2024-11-10].
- [5] *Sklapovací past na potkany a myši S4 obooustranná*. Online. In: Samura professional. Dostupné z: <https://profesional.samura.cz/p/sklapovaci-past-na-mysi-a-potkany-s4-50x12x14cm>. [cit. 2024-11-26].
- [6] *SG880-4G: uživatelská příručka*. FOXcam.
- [7] BURDA, Karel. *Základy elektronických zabezpečovacích systémů*. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2017. ISBN 978-80-7204-967-7.
- [8] BURDA, Karel. *BPC-ZSY* [přednášky]. Brno: VUT, 2022.
- [9] YOUNG, Susan. *CCTV for Wildlife Monitoring*. Online. Pelagic Publishing, 2016. ISBN 9781784270988, 1784270989. Dostupné z: https://www.google.cz/books/edition/CCTV_for_Wildlife_Monitoring/dqJyDAAAQBAJ?hl=cs&gbpv=0. [cit. 2024-10-07].
- [10] PESATURO, Janet. *Camera Trapping Guide*. Online. Stackpole Books, 2018. ISBN 9780811768047. Dostupné z: https://www.google.cz/books/edition/Camera_Trapping_Guide/fd9jDwAAQBAJ?hl=cs&gbpv=0. [cit. 2024-10-07].

- [11] *DÖRR MONITOROVACÍ KAMERA: NÁVOD K POUŽITÍ*. Online. Dostupné také z: <https://asset.conrad.com/media10/add/160267/c1/-/cs/003015806ML00/manual-3015806-doerr-snapshot-mini-50-pro-fotopast-5-megapixel-cerne-led-diody-nahravani-zvuku-funkce-zrychleneho-snimani-maskacova.pdf> [cit. 2024-11-18].
- [12] *Fotopast OXE Gepard II*. Online. In: Fotopasti-Levne. Dostupné z: <https://www.fotopasti-levne.cz/fotopast-oxe-gepard-ii>. [cit. 2024-11-18].
- [13] *TEST 11+ nejlepších fotopastí 2024 - recenze, zkušenosti a jak vybrat*. Online. In: Entuzio. 2024. Dostupné z: <https://entuzio.cz/fotopasti/>. [cit. 2024-11-10].
- [14] *Fotopast FOXcam 4G LTE*. Online. In: Eshop-fotopast. Dostupné z: <https://www.eshop-fotopasti.cz/produkt/fotopast-foxcam-4g-lte/>. [cit. 2024-11-18].
- [15] *Fotopasti s GSM*. Online. In: Fotopast na zloděje. 2023. Dostupné z: https://fotopastnazlodeje.cz/fotopasti-s-gsm/#v%C3%BDhody_a_nev%C3%BDhody_fotopast%C3%AD_s_gsm. [cit. 2024-11-10].
- [16] *GSM ovladač bran a vrat až pro 10 uživatelů*. Online. In: AZ pohony. Dostupné z: <https://www.azpohony.cz/gsm-ovladac-bran-a-vrat-az-pro-10-uzivatelu-nap-12-24-v-ac-dc/p1629?v=11629>. [cit. 2024-11-18].
- [17] MACHÁTOVÁ, Klára. *Nejlepší gsm moduly 2024 a jak vybrat: GSM komunikátor pro ovládání různých přístrojů*. Online. In: Cenovyradar. 2024. Dostupné z: <https://cenovyradar.cz/recenze/gsm-modul>. [cit. 2024-11-15].
- [18] PETRÁŠ, Rudo. *Ovládejte svoji bránu mobilom - všetko čo potrebujete vedieť*. Online. In: Saver. 2022. Dostupné z: <https://saver.sk/blog/aktuality/ovladajte-svoju-branu-mobilom-vsetko-co-potrebujete-vediet>. [cit. 2024-11-15].
- [19] *GSM domovní alarmy: cenové srovnání*. Online. In: Heureka!. Dostupné z: https://domovni-alarmy.heureka.cz/f:34833:1?ppcbee-adtext-variant=CAT-RSA-mix-2utm_source=googleutm_medium=cpcutm_campaign=-CZ%3EPRF%3EHG%3EDilna_stavba_zahrada%3ESERP%3ECAT%3E%-28DSA%2BKW%29utm_id=1729909355gad_source=1gclid=Cj0KCQiAgJa-6BhCOARIsAMiL7V9OnAHXUO2XSzIrvCr0fnnBz5ZgfpFk0zu2KzHE2a-WamIyO_UVnchgaApyJEALw_wcB. [cit. 2024-11-26].

- [20] OCUTRAP. *OcuTrap*. Online. Dostupné z: <https://ocutrap.com/>. [cit. 2024-10-08].
- [21] REMOTISYSTEMS. *Remoti*. Online. Dostupné z: <https://www.remotisystems.com/>. [cit. 2024-10-08].
- [22] HRON, Lukáš. *Nad GSM sítí se pomalu smráká. Mobilní fosilie přijdou o signál*. Online. In: IDNES.CZ. IDNES.cz. 2024. Dostupné z: https://www.idnes.cz/mobil/mobilni-operatori/2g-sit-nejstarsi-gsm-vypnuti-cesko-mobilni-operator-o2-t-mobile-vodafone.A240612_165220_mobilni-operatori_LHR. [cit. 2024-10-23].
- [23] TRAPMATE. *Skyhawk Trapmate*. Online. Dostupné z: <https://trapmate.ai/>. [cit. 2024-10-08].
- [24] SLANINA, Martin. *Moderní bezdrátová komunikace: přednášky*. V Brně: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a informatiky, Ústav radioelektroniky, 2010. ISBN 978-80-214-4156-9.
- [25] ČESKÝ TELEKOMUNIKAČNÍ ÚŘAD. *Plán přidělení kmitočtových pásem (národní kmitočtová tabulka)*. Online. 2021. Dostupné z: <https://ctu.gov.cz/narodni-kmitoctova-tabulka>. [cit. 2024-10-08].
- [26] ČESKÝ TELEKOMUNIKAČNÍ ÚŘAD. *VYUŽITÍ RÁDIOVÉHO SPEKTRA*. Online. 14.3.2024. Dostupné z: <https://spektrum.ctu.gov.cz/>. [cit. 2024-10-08].
- [27] CHUTTAR, Sujay. FROM 1G TO 5G. In: *NIT Karnataka: IEEE Student Branch* [online]. 16. srpen 2021 [cit. 2024-10-19]. Dostupné z: <https://ieee.nitk.ac.in/blog/from-1g-to-5g/>
- [28] GLISIC, Savo a Juha-pekka MAKELA. *Advanced Wireless Networks: 4G Technologies. 2006 IEEE Ninth International Symposium on Spread Spectrum Techniques and Applications* [online]. IEEE, 2006, 2006, 442-446 [cit. 2024-10-19]. ISBN 0-7803-9780-0. Dostupné z: doi:10.1109/ISSSTA.2006.311811
- [29] *Mapa pokrytí*. Online. In: O2. Dostupné z: <https://www.o2.cz/mapa-pokryti>. [cit. 2024-11-18].
- [30] ROHDE & SCHWARTZ. *LTE-M — the new GSM*. Online. Dostupné z: https://rohde-schwarz.com/us/solutions/wireless-communications-testing/iot-m2m-testing/lte-m/lte-m-technology_234034.html. [cit. 2024-10-22].

- [31] 3GPP. *3GPP - A Global Initiative*. Online. Dostupné z: <https://www.3gpp.org/>. [cit. 2024-11-16].
- [32] TAYLOR, Carolyn. *A Glimpse into RedCap NR devices*. Online. In: 3GPP. 2023. Dostupné z: <https://www.3gpp.org/technologies/nr-redcap-glimpse>. [cit. 2024-11-18].
- [33] *Mapa pokrytí signálem*. Online. In: Vodafone. Dostupné z: <https://www.vodafone.cz/mapa-pokryti/>. [cit. 2024-11-18].
- [34] PECH, Jiří. *IoT technologie: Do budoucnosti s operátory (5/5)*. Online. In: Eman. 2019. Dostupné z: <https://www.eman.cz/blog/iot-technologie-budoucnost-5-5/>. [cit. 2024-10-21].
- [35] *3GPP Low Power Wide Area Technologies: gsma white paper*. Online. In: GSMA. Dostupné z: <https://www.gsma.com/solutions-and-impact/technologies/internet-of-things/wp-content/uploads/2016/10/3GPP-Low-Power-Wide-Area-Technologies-GSMA-White-Paper.pdf>. [cit. 2024-10-21].
- [36] SCHLIENZ, J. a RADDINO, D. *Narrowband Internet of Things: Whitepaper*. Online. In: ROHDE & SCHWARTZ. 2016. Dostupné z: https://cdn.rohde-schwarz.com/pws/dl_downloads/dl_application/application_notes/1ma266/1MA266_0e_NB_IoT.pdf. [cit. 2024-10-21].
- [37] KRAJSA, Ondřej. *MPC-SSY* [přednášky]. Brno: VUT, 2024.
- [38] MIOTY ALLIANCE. Online. Dostupné z: <https://mioty-alliance.com/>. [cit. 2024-10-14].
- [39] SIGFOX ČESKÁ REPUBLIKA. *Sigfox Česká republika*. Online. Dostupné z: <https://sigfox.cz/cs>. [cit. 2024-10-23].
- [40] DRTINA, Martin. *T-Mobile posílá SimpleCell do insolvence, provozovatel Sigfoxu mu dluží 26 milionů*. Online. In: Lupa.cz. 2024. Dostupné z: <https://www.lupa.cz/aktuality/t-mobile-posila-simplecell-do-insolvence-provozovatel-sigfoxu-mu-dluzi-26-milionu/>. [cit. 2024-10-23].
- [41] OMOJOKUN, Aju G. *A survey of zigbee wireless sensor network technology: Topology, applications and challenges*. Online. In: INTERNATIONAL JOURNAL OF COMPUTER APPLICATIONS. 2015. Dostupné z: <https://citeseerx.ist.psu.edu/document?repid=rep1&type=pdf&doi=e1556946fdc9e2684091a2db248df0beec5e48a2>. [cit. 2024-12-09].

- [42] BEAL, Vangie. 802.11 IEEE Wireless LAN Standards. In: *Webopedia* [online]. 23. července 2021 [cit. 2024-10-16]. Dostupné z: <https://www.webopedia.com/definitions/802-11/>
- [43] IEEE INOVATION AT WORK. *Demand for Wi-Fi 6 is Growing*. Online. 2023. Dostupné z: <https://innovationatwork.ieee.org/demand-for-wi-fi-6-is-growing/>. [cit. 2024-10-11].
- [44] NIEMEGERES, I.G. a HEEMSTRA DE GROOT, S.M. From Personal Area Networks to Personal Networks: A User Oriented Approach. Online. *Wireless Personal Communications*. Roč. 22, č. 2, s. 175-186. ISSN 09296212. Dostupné z: <https://doi.org/10.1023/A:1019912421877>. [cit. 2024-12-09].
- [45] MCDERMOTT-WELLS, P. What is Bluetooth? Online. *IEEE Potentials*. 2005, roč. 23, č. 5, s. 33-35. ISSN 0278-6648. Dostupné z: <https://doi.org/10.1109/MP.2005.1368913>. [cit. 2024-12-09].
- [46] Bluetooth versions. In: *PCMAG* [online]. [cit. 2024-10-17]. Dostupné z: <https://www.pcmag.com/encyclopedia/term/bluetooth-versions>
- [47] THREAD GROUP. Online. Dostupné z: <https://www.threadgroup.org/>. [cit. 2024-10-14].
- [48] CONNECTIVITY STANDARDS ALLIANCE. *Matter*. Online. Dostupné z: <https://csa-iot.org/all-solutions/matter/>. [cit. 2024-10-14].
- [49] IOT TECH NEWS. *Smart home IoT standard Matter officially launches*. Online. 2022. Dostupné z: <https://iottechnews.com/news/smart-home-iot-standard-matter-officially-launches/>. [cit. 2024-10-14].
- [50] MOTA, Alfonso. Matter Protocol Integration Using Espressif-s Solutions to Achieve Smart Home Interoperability. Online. S. 431. Dostupné z: <https://www.mdpi.com/2079-9292/13/11/2217>. [cit. 2024-10-14].
- [51] ŽIVĚ.CZ. *Wi-Fi HaLow zvládne přenos videa až na několik kilometrů. Polozapomenutá technologie míří do prvních IP kamer*. Online. 2024. Dostupné z: <https://www.zive.cz/clanky/wi-fi-halow-zvladne-prenos-vidoa-az-na-nekolik-kilometru-polozapomenuta-technologie-miri-do-prvnich-ip-kamer/sc-3-a-226592/default.aspx>. [cit. 2024-10-17].
- [52] SHAMANNA, Pradeep; YANG, Yifeng; LATTIBEAUDIER, Derrick a ANCHALIA, Vivek. Microchip Wireless MiWi Media Access Controller

- MiMAC. Online. Dostupné z: <https://docslib.org/doc/12709534/microchip-wireless-miwi-media-access>. [cit. 2024-10-16].
- [53] HADAČ, Jiří. *Služba SpaceX pro spojení družic s mobily bude brzy připravena na spuštění, už však pomáhala během hurikánů*. Online. In: ElonX. 2024. Dostupné z: <https://www.elonx.cz/sluzba-spacex-pro-spojzeni-druzic-s-mobily-bude-brzy-pripravena-na-spusteni-uz-vsak-pomahala-behem-hurikanu/>. [cit. 2024-10-20].
- [54] STARLINK. Online. Dostupné z: starlink.com. [cit. 2024-10-20].
- [55] EUTELSAT GROUP. *OneWeb*. Online. Dostupné z: <https://oneweb.net/>. [cit. 2024-10-21].
- [56] AMAZON. *Project Kuiper*. Online. Dostupné z: <https://www.aboutamazon.com/what-we-do/devices-services/project-kuiper>. [cit. 2024-10-21].
- [57] IRIDIUM. *Iridium GO! exec A Smart Companion For Your Smart Devices*. Online. Dostupné z: https://www.iridium.com/go-exec/?gad_source=1&clid=Cj0KCQjw99e4BhDiARIsAISE7P9rqIyK5U4s-Rau9HE0EtCE0FjCveQWSPW6ywsAtbj1PR1AkbuPb7CwaAnLUEALw_wcB. [cit. 2024-10-21].
- [58] *Starlink High Performance Satellite Terminal*. Online. In: Pulsar. Dostupné z: https://www.pulsarbeyond.com/catalog/product/view/_ignore_category/1/id/629/s/starlink-high-performance/. [cit. 2024-10-21].
- [59] *ESP32-WROOM-32E: Datasheet Version 1.7*. Online. In: ESSPRESSIF. 2024. Dostupné z: https://www.espressif.com/sites/default/files/documentation/esp32-wroom-32e_esp32-wroom-32ue_datasheet_en.pdf. [cit. 2024-11-19].
- [60] *ESP32-wroom-32 high resolution pinout and specs*. Online. In: Renzo Mischianti. Dostupné z: <https://mischianti.org/esp32-wroom-32-high-resolution-pinout-and-specs/>. [cit. 2024-11-25].
- [61] *Quectel BG77: Ultra-Compact LTE Cat M1/Cat NB2 Module*. Online. In: . 2020. Dostupné z: https://www.mouser.com/datasheet/2/1052/Quectel_BG77_LPWA_Specification_V1.2-1829934.pdf?srsltid=AfmB0oqHrdtJV09KMEoxeF5kgJNpvh_OBIUTxJcRD0araXdaA5Z6HAxcu. [cit. 2024-11-19].

- [62] *DS18B20: Programmable Resolution 1-Wire Digital Thermometer*. Online. In: Analog Devices. 2019. Dostupné z: <https://www.analog.com/media/en/technical-documentation/data-sheets/DS18B20.pdf>. [cit. 2024-11-19].
- [63] *GUANG CE YZC-161*. Online. In: . Dostupné z: <https://www.laskakit.cz/guang-ce-yzc-161-vazici-senzor-50kg/>. [cit. 2025-05-16].
- [64] *HX711: 24-Bit Analog-to-Digital Converter (ADC) for Weigh Scales*. Online. In: AVIA SEMICONDUCTOR. Dostupné z: https://cdn.sparkfun.com/datasheets/Sensors/ForceFlex/hx711_english.pdf. [cit. 2024-11-25].
- [65] *Eses servo motor 9g*. Online. In: Drátek.cz. Dostupné z: <https://dratek.cz/docs/produkty/0/741/eses1420669476.pdf>. [cit. 2024-12-10].
- [66] *ThingsBoard*. Online. Dostupné z: <https://thingsboard.io/>. [cit. 2025-05-16].
- [67] *Onshape*. Online. Dostupné z: <https://www.onshape.com>. [cit. 2025-05-16].
- [68] LUUK, Indrek. *50kg Load Cells with HX711 and Arduino. 4x, 2x, 1x Diagrams*. Online. In: . Dostupné z: <https://circuitjournal.com/50kg-load-cells-with-HX711>. [cit. 2025-05-16].
- [69] ALTIUM. *Altium Designer*. Online. Dostupné z: <https://www.altium.com/>. [cit. 2025-05-16].

Seznam symbolů a zkratek

DPS	Deska Plošných Spojů
ADC	Analog-to-Digital Converter
ALOHA	Advocates of Linux Open-source Hawaii Association
AP	Access Point
BED	Bluetooth Enabled Device
BTS	Base Transceiver Station
CatM	Cathegory M
Cat0	Cathegory 0
CB	Civil Band
CHIP	Connected Home over IP
CSA	Connectivity Standard Alliance
ČTÚ	Ceský Telekomunikační Úřad
DAB	Digital Audio Broadcasting
DAC	Digital-to-Analog Converter
DC	Direct Current
DVB-T2	Digital Video Broadcasting - Terrestrial 2
EDGE	Enhanced Data rates for GSM Evolution
eDRX	Extended DRX
EDT	Early Data Transmission
FED	Full End Device
FFD	Full Function Device
FSK	Frequency Shift Keying
GLONASS	Globalnaja navigacionnaja sputnikovaja sistěma
GPRS	General Packet Radio Service

GPS	Global Positioning System
GRFC	General Radio Frequency Control
GSM	Groupe Spécial Mobile
HSPA	High Speed Packet Access
IoT	Internet of Things
IP	Internet Protocol
IR	Infra Red
I2C	Inter-Integrated Circuit
LED	Light-Emitting diode
LEO	Low Earth Orbit
LEPC	LE Power Control
LoRa	Long Range
LPWAN	Low-Power Wide-Area Networks
LTE Cat NB1	Long Term Evolution Cathegory Narrow-Band 1
LTE-M	Long Term Evolution - M
MED	Minimal End Device
MIMO	Multiple-Input Multiple-Output
NB-IoT	Narrow Band - Internet of Things
OFDM	Ortogonal Frequency-Division Multiplexing
PAN	Personal Area Network
PIR	Passive Infra Red
PMR	Personal Mobile Radio
QZSS	Quasi-Zenith Satellite System
RAI	Release Assistance Indicator
RB	Resource Block

REED	Router-Eligible End Device
RFD	Reduced Function Device
ROM	Read-Only Memory
RTC	Real-Time Clock
SD	Secure Digital
SED	Sleepy End Device
SIM	Subscriber Identity Module
SMS	Short Message Service
SPI	Serial Peripheral Interface
SRAM	Static Random Access Memory
SSED	Synchronized Sleepy End Device
TBS	Trasport Block Size
TOF	Time Of Flight
T SMA	Telegram Splitting Multiple Access
UART	Universal Asynchronous Receiver-Transmitter
UE	User Equipment
VoLTE	Voice over LTE
Wi-Fi	Wireless Fidelity
WUS	Wake-up Signal
1G	First Generation
2G	Second Generation
3G	Third Generation
3GPP	3rd Generation Partnership Project
4G	Fourth Generation
5G	Fifth Generation

5G RedCap NR 5G Reduced Capacity New Radio

TAU Tracking Area Update

PDP Packet Data Protocol

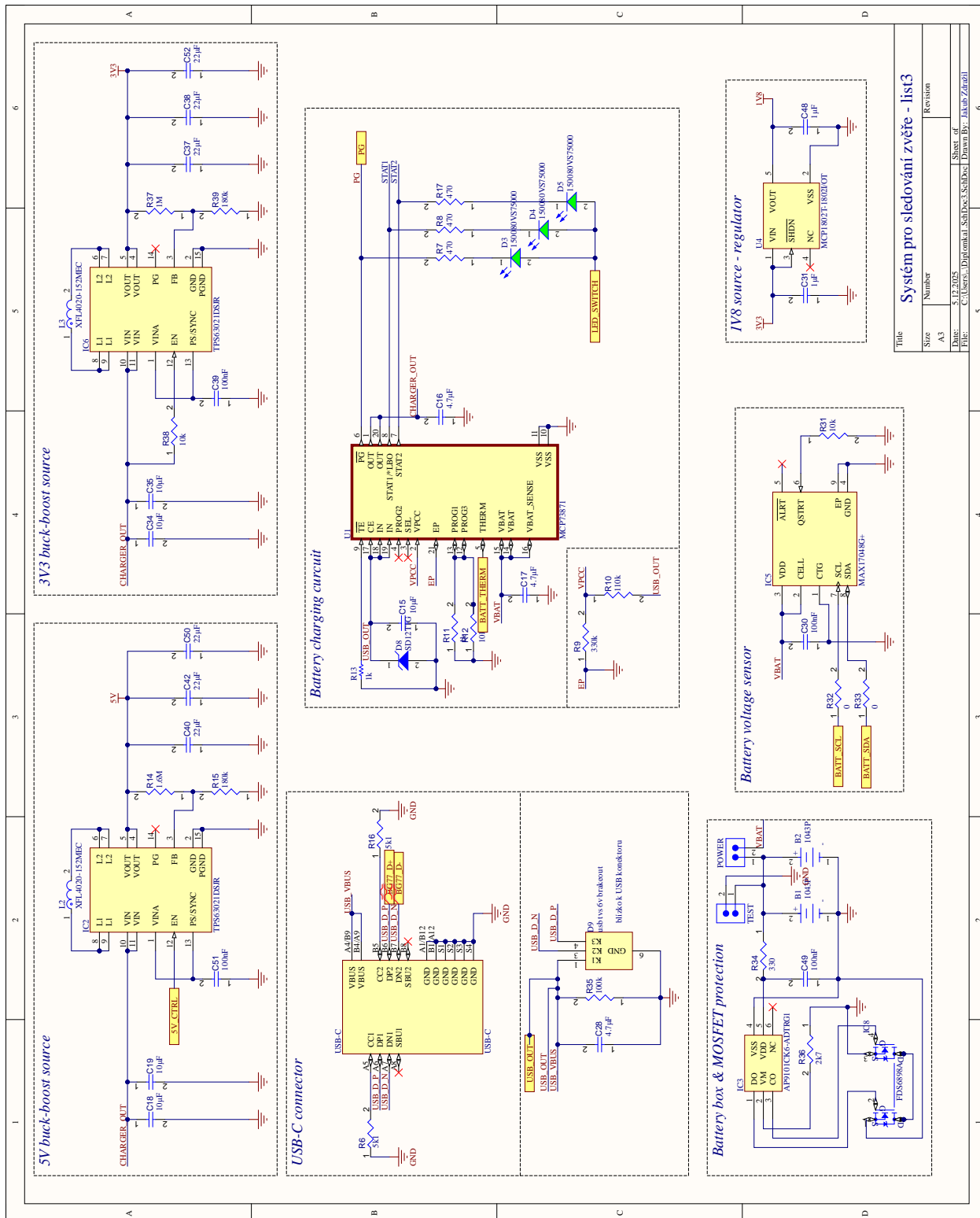
MQTT Message Queuing Telemetry Transport

NMEA National Marine Electronics Association

Seznam příloh

A Příloha - PCB	87
B Příloha - Software	91
C Příloha - Kryt pro zařízení	93
D Obsah elektronické přílohy	94

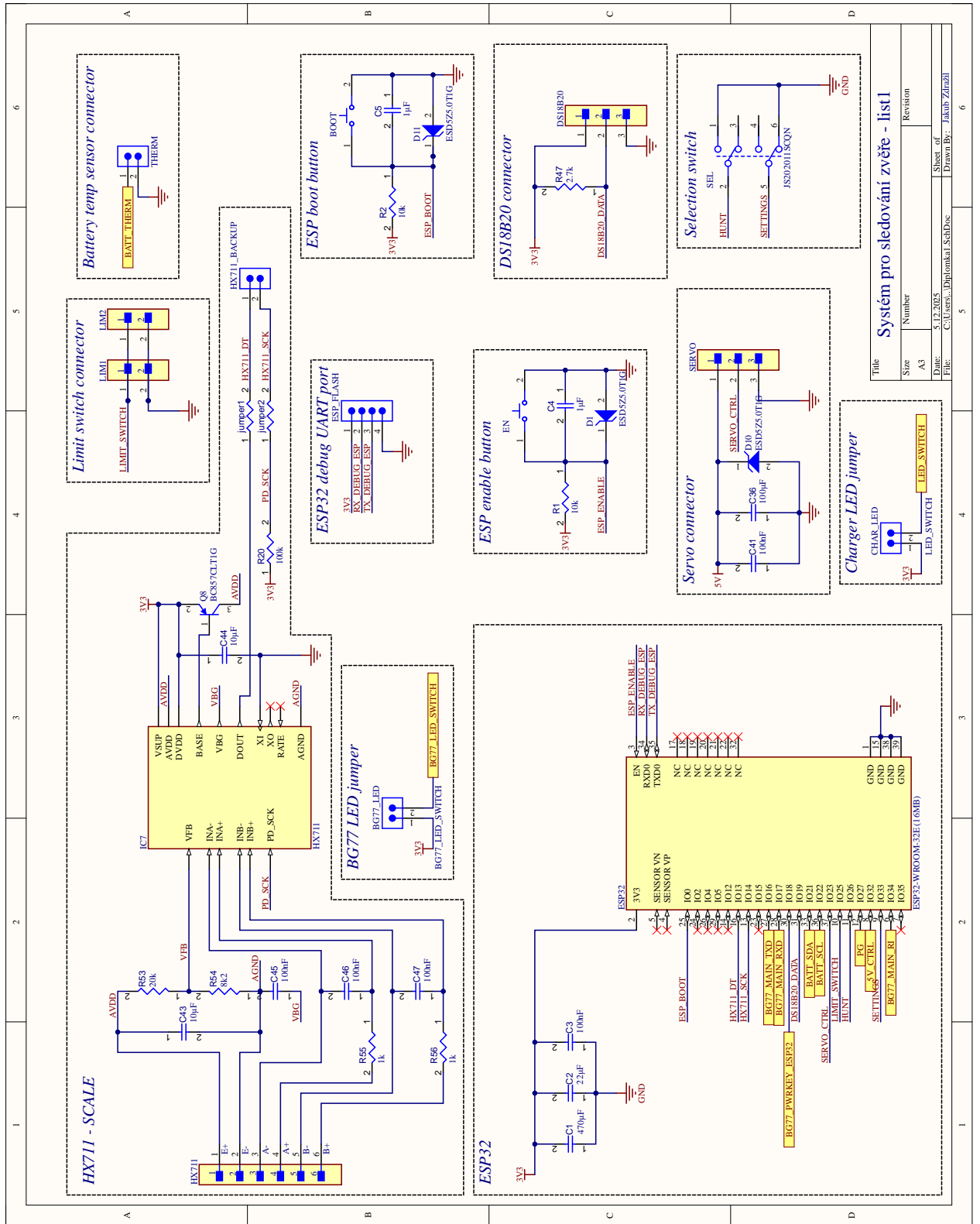
A Příloha - PCB



System pro sledování zvěte - list3

Title	Number	Revision
Size	A3	
Date:	5.12.2025	
File:	C:\Users\jupl\OneDrive\Desktop\DrawBy - Jirka Zeman\	

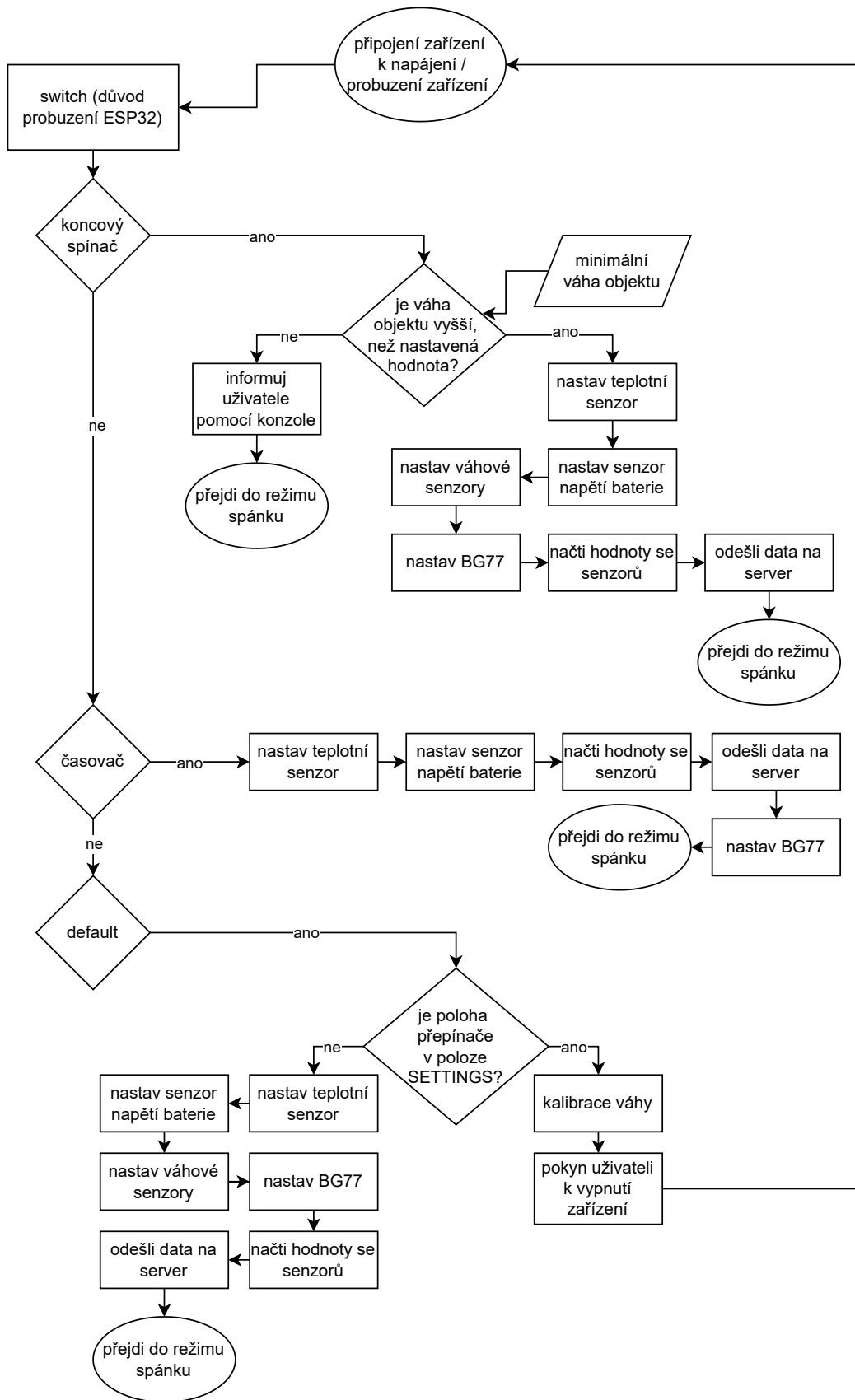
Obr. A.1: Schéma PCB desky pro zařízení



Title		System pro sledování zvěte - list 1	
Size	Number	Revision	
A3			
Date:	5.12.2025	Sheet of	1
File:	C:\Users\... \Diplomka\SchDoc	Drawn By:	Jakub Zlátila

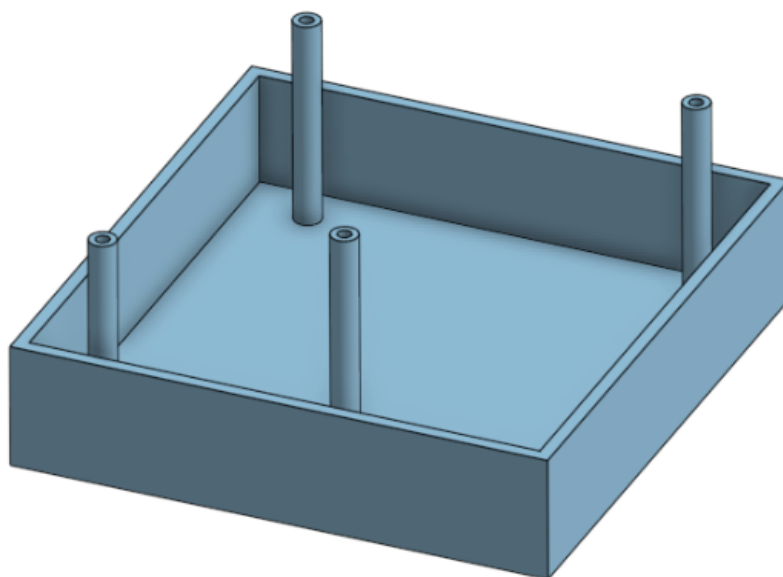
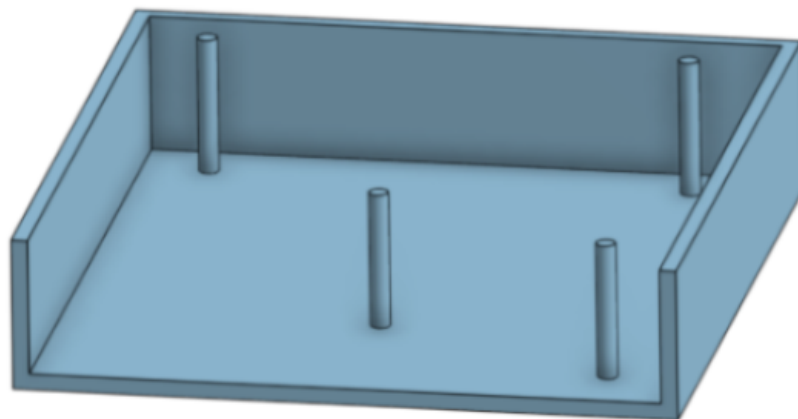
Obr. A.2: Schéma PCB desky pro zařízení

B Příloha - Software



Obr. B.1: Schéma funkce programu.

C Příloha - Kryt pro zařízení



Obr. C.1: Vizualizace krytu pro zařízení.

D Obsah elektronické přílohy

Elektronická příloha této práce obsahuje soubory potřebné pro replikaci vyvíjeného zařízení. Její obsah je následovný:

```
zdrazil_230917.zip ..... kořenový adresář přiloženého archivu
├── code ..... loga školy a fakulty
│   ├── main ..... hlavní program zařízení
│   │   └── main.ino
│   └── bg77_lib ..... knihovna pro modul BG77
│       ├── quectel_bg77.cpp
│       └── quectel_bg77.h
├── pcb ..... Projekt programu Altium obsahující návrh PCB
│   └── pcb.zip
├── box ..... STL soubory pro výrobu krycího krytu
│   ├── bottom.step
│   └── top.step
└── weight_sensor ..... STL soubor pro vytisknutí držáku na váhové senzory
    └── weight_sensor_case.step
```