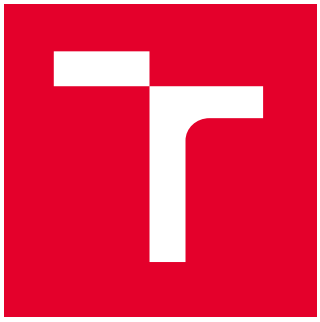


VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH TECHNOLOGIÍ

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION

ÚSTAV TELEKOMUNIKACÍ

DEPARTMENT OF TELECOMMUNICATIONS

KOMUNIKAČNÍ JEDNOTKA PRO MONITORING NÁMOŘNÍ PŘEPRAVY

GATEWAY FOR MONITORING MARITIME TRANSPORT

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE — **Bc. Stanislav Fučík**

AUTHOR

VEDOUCÍ PRÁCE — **Ing. et Ing. Petr Musil**

SUPERVISOR

BRNO 2022

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH TECHNOLOGIÍ

Diplomová práce

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

Ústav telekomunikací

Student: Bc. Stanislav Fučík ***ID:*** 155828

Ročník: 2 ***Akademický rok:*** 2021/22

NÁZEV TÉMATU:

Komunikační jednotka pro monitoring námořní přepravy

POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

V teoretické části diplomové práce prostudujte charakter dostupných řešení v oblasti monitoringu námořní přepravy. Na základě získaných poznatků navrhněte HW platformu, která kombinací více vhodných komunikačních technologií (mobilní síť, satelitní komunikace) bude zajišťovat vysokou dostupnost a spolehlivost při monitoringu požadovaných veličin a přesné polohy kontejneru. Navržené zařízení musí respektovat specifické provozní podmínky námořní přepravy (vysoké výkyvy teplot, vysoká vlhkost, otřesy) a navíc musí být navrženo s ohledem na napájení pomocí akumulátorů. Výstupem této diplomové práce je sestrojená HW platforma s minimálně dvěma komunikačními technologiemi, která je schopna snímat a odesílat požadované veličiny pomocí určeného komunikačního protokolu na vzdálený server.

DOPORUČENÁ LITERATURA:

[1] MONK, Simon. Make your own PCBs with EAGLE: from schematic designs to finished boards. New York: McGraw-Hill Education, [2014]. ISBN 9780071819251.

[2] YU, Guanding, Yuhuan JIANG, Lukai XU a Geoffrey Ye LI. Multi-Objective Energy-Efficient Resource Allocation for Multi-RAT Heterogeneous Networks. IEEE Journal on Selected Areas in Communications [online]. IEEE, 2015, 33(10), 2118-2127 [cit. 2020-09-14]. DOI: 10.1109/JSAC.2015.2435374. ISSN 0733-8716.

Termín zadání: 7.2.2022 ***Termín odevzdání:*** 24.5.2022

Vedoucí práce: Ing. et Ing. Petr Musil

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 diplomová práce se zabývala tvorbou monitorovácí jednotky pro námořní dopravu. Cílem bylo zhodnotit současná řešení z oblasti monitorování námořní dopravy a navrhnout vlastní řešení. Navržené řešení je napájeno solárními panely a Li-Ion bateriemi. Pro odesílání dat je použito satelitní a mobilní připojení, pro získání informace o pozici je použita GPS. Jednotka je vybavena senzory pro měření teploty, vlhkosti, akcelerace, vniknutí vody do kontejneru a detektorem otevření dveří. Jednotka je odolná vůči atmosferickým vlivům panujícím na moři a je dlouhodobě provozuschopná na moři.

KLÍČOVÁ SLOVA

Námořní doprava, monitorování přepravních kontejnerů, iridium 9602, satelitní komunikace, SIM7000E, mobilní komunikace, detekce pádu

ABSTRACT

This thesis addressed the monitoring of maritime traffic. The aim was to evaluate current solutions in the field of maritime traffic monitoring and to design and create new solution. The proposed solution is powered by solar panels and Li-Ion batteries. For sending data, satellite and mobile connections is be used. As a source of information about position GPS is used. The monitoring unit is equipped with sensors for measuring temperature, humidity, acceleration, intrusion of into the container and a detector of the opening door. The unit is resistant to the atmospheric influences prevailing sea and is operational long-term at sea.

KEYWORDS

Maritime transport, container monitoring, iridium 9602, satellite communications, SIM7000E, mobile communications, fall detection

Vysázeno pomocí balíčku `thesis` verze 4.07; `http://latex.feec.vutbr.cz`

FUČÍK, Stanislav. *Komunikační jednotka pro monitoring námořní přepravy.*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, Ústav telekomunikací, 2022, 72 s. Diplomová práce. Vedoucí práce: Ing. et Ing. Petr Musil

Prohlášení autora o původnosti díla

Jméno a příjmení autora:	Bc. Stanislav Fučík
VUT ID autora:	155828
Typ práce:	Diplomová práce
Akademický rok:	2021/22
Téma závěrečné práce:	Komunikační jednotka pro monitoring námořní přepravy.

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. et Ing. Petru Musilovi za odborné vedení, konzultace, trpělivost a podnětné návrhy k práci. Mé poděkováni patří též firmě GINA Software s.r.o. za poskytnutí SW GINA Central a spolupráci při integraci monitorovací jednotky do tohoto SW.

Obsah

Úvod **12**

1 Teoretická část **13**
1.1 Přepravní kontejner . . . 13
1.1.1 Druhy kontejnerů . . . 14
1.1.2 Skládání kontejnerů . . . 14
1.1.3 Životní cyklus . . . 15
1.2 Současná řešení monitorování . . . 15
1.2.1 Lommy Container . . . 15
1.2.2 Starcom Triton monitor . . . 16
1.2.3 VJOYCar TK411S . . . 17
1.2.4 Iridium Edge Solar . . . 17
1.2.5 Shrnutí . . . 18
1.3 Sledované veličiny . . . 18
1.3.1 Teplota . . . 19
1.3.2 Vlhkost . . . 19
1.3.3 Akcelerace . . . 19
1.3.4 Manipulace se dveřmi . . . 19
1.3.5 Vniknutí vody . . . 20
1.3.6 Pozice . . . 20
1.4 Atmosferické podmínky . . . 20
1.5 Napájení . . . 21
1.5.1 Solární panel . . . 21
1.5.2 Baterie . . . 21
1.6 Satelitní připojení . . . 21
1.7 Pořizovací cena a provozní náklady . . . 22
1.8 Mobilní připojení . . . 22
1.9 Pořizovací cena a provozní náklady . . . 22
1.10 Mikrokontroler . . . 23
1.10.1 RPI . . . 23
1.10.2 ESP32 . . . 23

2 Praktická část **25**
2.1 Návrh obvodu . . . 25
2.1.1 Napájecí deska . . . 25
2.1.2 Hlavní deska . . . 26
2.2 Návrh desek . . . 28

2.3 Návrh boxu . . . 29
2.4 Návrh komunikačního protokolu . . . 30
2.4.1 Základní požadavky . . . 30
2.4.2 Volba podoby protokolu . . . 32
2.4.3 Popis binárního protokolu . . . 32
2.5 SW řešení . . . 35
2.5.1 HLA námořní jednotky . . . 35
2.5.2 Vytváření zpráv . . . 36
2.5.3 Ukládání a čtení zpráv . . . 38
2.5.4 Odesílání zpráv . . . 39
2.6 Komunikace se SIM7000 . . . 40
2.6.1 AT příkazy . . . 41
2.6.2 Ukázky komunikace . . . 44
2.7 Komunikace se IRIDIUM 9602 . . . 46
2.7.1 AT příkazy . . . 46
2.7.2 Ukázka komunikace . . . 47
2.8 Grafické rozhraní monitoringu námořní dopravy . . . 47
2.8.1 GINA Central . . . 47

Závěr **49**

Literatura **51**

Seznam symbolů a zkratek **56**

Seznam příloh **59**

A Návrh DPS **60**

B Návrh boxu **68**

C Obsah elektronické přílohy **70**

Seznam obrázků

1.1 Standardizovaný přepravní kontejner o rozměru 20’ 13
1.2 Ever Smart - důsledek nesprávně upevněnách kontejnerů 14
1.3 Lommy Container - monitorovací jednotka 16
1.4 Starcom Triton monitor - monitorovací jednotka 16
1.5 VJOYCar TK411S - monitorovací jednotka 17
1.6 Iridium Edge Solar - monitorovací jednotka 18
2.1 Koncept nápájení 26
2.2 Koncept hlavní desky 26
2.3 Výsledná napájecí deska 29
2.4 Výsledná hlavní deska 29
2.5 Výsledný sestavený box 31
2.6 Uspořádání vnitřku boxu 31
2.7 HLA SW řešení námořní jednotky 36
2.8 Ukládání zpráv do paměti 39
2.9 Volba komunikační síťě 40
2.10 Zobrazení námořní jednotky v GINA Central 48
B.1 3D model horní části boxu 68
B.2 3D model spodní části box 68
B.3 3D model spodní části box 69

Seznam tabulek

1.1 Přehled tarifů pro satelní připojení IRIDIUM 22
1.2 Přehled tarifů pro mobilní připojení od O2 22
1.3 Přehled spotřeby ESP32 23
A.1 Seznam součástek pro konstrukci napájecí jednotky 60
A.2 Seznam součástek pro konstrukci PCB monitorovací jednotky 61
A.3 Seznam externích součástek 62

Seznam výpisů

2.1 Navržená datová struktura protokolu v jazyce C/C++ 34
2.2 Získání GPS pozice a aktuálního času 44
2.3 Odeslání dat pomocí NBIOT sítě 44
2.4 Odeslání dat pomocí GSM sítě 45
2.5 Ukázka komunikace s IRIIDIUM 9602 pomocí AT příkazů 47

Úvod

V současné době si lidé velmi často objednávají zboží z celého světa až k domovním dveřím, což vyžaduje nutnost vyřešit přepravu zboží z místa výroby do místa doručení, která mohou být od sebe vzdálená i desetitisíce kilometrů. Toto zboží je vloženo do standardizovaných přepravních kontejnerů, které jsou následně přepravovány prostřednictvím lodí, letadel, vlaků, kamionů či jiných dopravních prostředků.

V rámci této práce bylo vytvořeno SW a HW řešení pro monitorování přepravního kontejneru po celou dobu jeho cesty, konkrétně byla práce zaměřena na přepravu kontejneru po moři. Jedním z hlavních problémů námořní přepravy je fakt, že se provádí po moři, kde panují specifické atmosferické podmínky a spolehlivou datovou komunikaci lze realizovat pouze prostřednictvím satelitu. Navržená monitorovací jednotka má k dispozizi připojení prostředníctvím mobilních sítí, ale i prostřednictvím satelitu. Vzhledem k ceně dat při komunikaci prostřednictvím satelitu, bude navržená monitorovací jednotka využívat připojení přes satelit při cestě na moři a připojení přes mobilní sítě v blízkosti pevniny.

1 Teoretická část

V této části se provádí teoretický rozbor problematiky s cílem získat veškeré potřebné informace pro realizaci praktické časti. Konkrétně se proberou specifika přepravního kontejneru, jaké veličiny je nutné monitorovat za velmi specifických podmínek panujících na moři a rozbor komponent potřebných k sestavení funkčního zařízení.

1.1 Přepravní kontejner

Počátkem 20. století započal výrazný nárůst globálního obchodu, což se promítlo na množství přepravovaného nákladu. Přepravní kontejnery nebyly standardizované a objevila se celá řada designu, tedy kontejnery různých rozměrů a vlastností. Během druhé světové války, americká armáda tlačila na zplepšení efektivity logistiky, což vedlo k rozšíření používání vysokozdvižných vozíků, palet a vytvoření tzv. Conex kontejneru, na jehož základě byl následně vytvořen standard ISO 6346, který splňuje většina dnes používaných kontejnerů [3].

Obr. 1.1: Standardizovaný přepravní kontejner o rozměru 20’ [5]

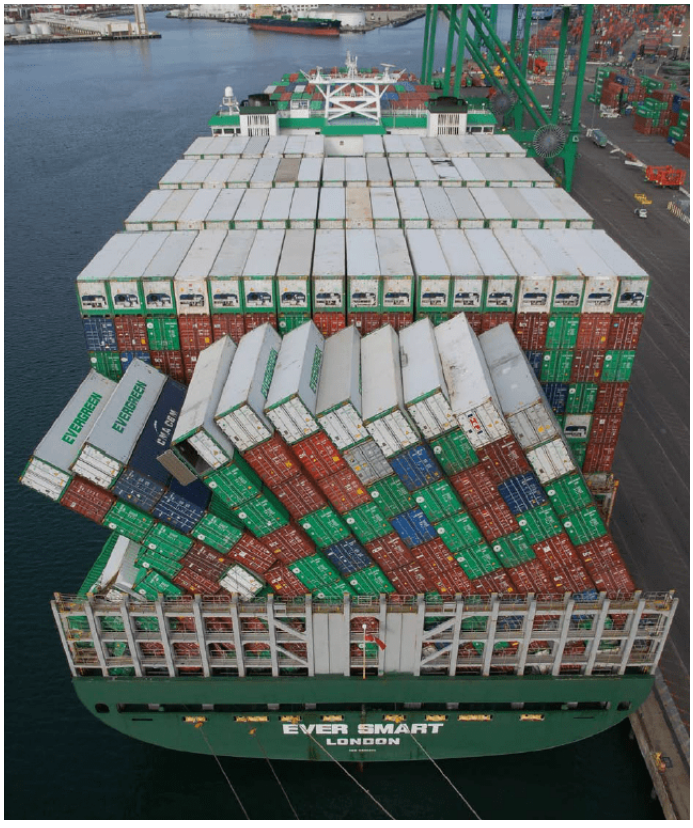
1.1.1 Druhy kontejnerů

Kontejnerů splňující ISO 6346 je celá řada a mohou se výrazně lišit (velikostí a typem), proto se pro identifikaci kontejnerů používají kódy.

Pro účely této práce se zaměříme na standardizovaný ocelový kontejner o rozměru 20' pro suchý náklad od Containi GmbH, ke kterému máme kompletní dokumentaci [4], výsledné zařízení by však mělo být použitélné i na většinu ostatních kontejnerů založených na ISO 6346.

1.1.2 Skládání kontejnerů

Kontejnery je při jejich přepravě nutné správně poskládat a upevnit, jinak může dojít k jejich poškození při přepravě nebo manipulaci [6]. Na sebe je možné umístit až 8 kontejnerů [7] a je možné stohovat kontejnery různých délek, nicméně je doporučováno umístit menší kontejnery dospodu a větší navrh pro lepší stabilitu. Kontejnery vedle sebe je možné skládat bez omezení.



Obr. 1.2: Ever Smart - důsledek nesprávně upevněnách kontejnerů [6]

Na základě způsobů skladání kontejnerů na dopravní lodi, lze konstatovat, že nejlepší pozice pro umístění monitorovací jednotky jsou dveře kontejneru, protože u nich je nejlepší přístup k slunečnímu záření a nejnižší pravděpodobnost obstrukce RF signálu.

1.1.3 Životní cyklus

Typicky se udává životnost kontejneru 25 let a při jeho správné udržbě i déle. Životnost však závisí na konstrukci kontejneru a prostředí, ve kterém je používán. Přestože jsou vyrobeny, aby odolávaly agresivnímu klimatu, jejich životnost je negativně ovlivněna vlhkým a slaným podnebím. Chceme-li maximalizovat životnost kontejneru, tak musíme minimalizovat vystavení vlhkosti. Umístění kontejneru nad zem zabrání tomu, aby dno kontejneru sedělo na vlhké zemi, či v kaluži vody a absorboval vlhkost [8].

Obecně platí, že se kontejner používá na moři 10–12 let a pak se přesune na souš, kde je používán dále. Pro účely této práce bylo konstruováno zařízení, aby bylo schopné provozu po celou dobu, co kontejner bude využíván při námořní přepravě zboží, tedy zhruba 12 let. Během vyřazení z námořní dopravy, lze očekávat že proběhne servis kontejneru, včetně servisu monitorovací jednotky.

1.2 Současná řešení monitorování

Aktuálně jsou již na trhu zařízení pro monitorování přepravního kontejneru. Analýzou současných řešení můžeme zjistit, které parametry výrobci považují za důležité, metody montáže a slabiny jejich řešení.

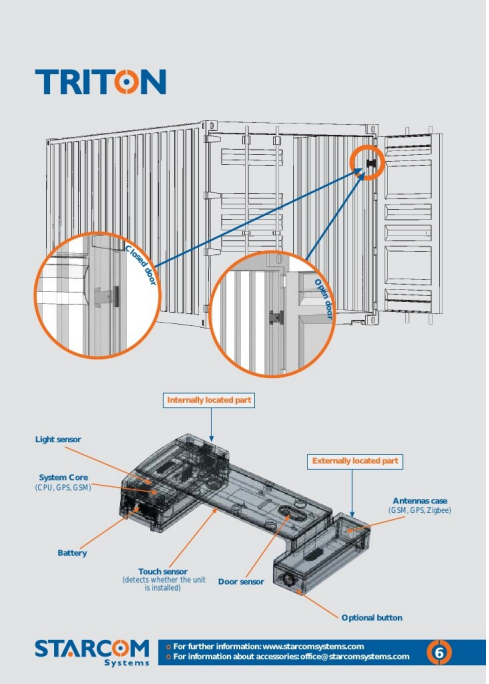
1.2.1 Lommy Container

Jedná se o monitorovací jednotku, určenou pro montáž na boční venkovní stěnu kontejneru a je navržena, tak aby na první pohled vypadala jako ventilace. Jednotká má IP66 krytí. Pro její montáž je nutné vrtat do stěny kontejneru. Jednotka je schopná pouze monitorovat polohu pomocí GPS a nedisponuje žádnými dalšími čidly. Pro odesílání dat používá mobilní sítě, konkrétně GSM, s tím že existuje varianta s 3G. Zařízení nemá solární panel a k napájení využívá baterie (3 x 3600 mAh). Výrobce udává životnost až 9 let, při odesílání dat jednou denně [9].

Obr. 1.3: Lommy Container - monitorovací jednotka [9]

1.2.2 Starcom Triton monitor

Tato monitorovací jednotka má zvláštní tvar, jelikož je tvořena dvěma částmi, které jsou spojeny ramenem. Montáž tohoto zařízení probíhá přivřením zařízení ve dveřích. Venkovní část obsahuje antény pro GSM, GPS a Zigbee. Vnitřní část obsahuje baterie a výpočetní část zařízení. Jednotka je schopná monitorovat pozici prostřednictvím GPS, detekovat otevření/zavření dveří. Zařízení nemá solární panel a k napájení používá baterii (Li-Ion 5000 mAh), životnost zařízení bohužel není výrobcem uvedena.



Obr. 1.4: Starcom Triton monitor - monitorovací jednotka [10]

1.2.3 VJOYCar TK411S

Tato jednotka je podobná komunikační jednotce Lommy Container, jak tvarem, tak i způsobem montáže na venkovní stěnu kontejneru, při které je nutné vrtat do kontejneru. Avšak toto zařízení disponuje navíc solárním panelem a má IP67 krytí. Tato jednotka umožňuje monitorovat teplotu, zavření dveří a polohu. Výrobce udává výdrž baterie 3 roky bez dobíjení ze solárního panelu. K odesílání dat používá mobilní sítě [12].

Obr. 1.5: VJOYCar TK411S - monitorovací jednotka [12]

1.2.4 Iridium Edge Solar

Toto zařízení se liší od ostatních výrobců, v tom že pro odesílání dat používá satelitní komunikaci a očekává se, že se k němu připojí další senzory s použitím bezdrátové technologie Bluetooth. Jednotká má MIL-STD-810G a IP68 krytí. Pro uchycení jednotky je nutné vrtat do kontejneru. V základu je schopno posílat pouze informace o pozici s použitím GPS. Výrobce udává životnost až 10 let. S tím, že je zařízení schopno provozu 5 roků bez dobíjení ze solárního panelu.

Obr. 1.6: Iridium Edge Solar - monitorovací jednotka [11]

1.2.5 Shrnutí

Sběr a odesílání dat bývá typický prováděno jednou za den, případně jednou za několik hodin. Výrobci udávají, že jejich zařízení jsou schopna provozu až 10 let a komunikační jednotky jsou napájeny prostřednictvím baterií o hodnotě jednotek Ah. Pro odesílání dat jsou primárně používány mobilní sítě a satelitní připojení je využito pouze výjimečně. Část výrobců používá solární panely za účelem prodloužení životnosti komunikačního zařízení. Zařízení jsou konstruována pro venkovní montáž s ohledem na atmosferické podmínky, v některých případech je část monitorovacího zařízení umístěna uvnitř kontejneru. K zařízení výrobce typicky poskytuje informační systém (IS) pro zobrazení přijatých dat z monitorovací jednotky. Kvůli anténám a solárnímu panelu musí být alespoň část jednotky umístěna na venkovní straně kontejneru, zatímco některá čidla musí být umístěna uvnitř kontejneru. Existují možnosti, jak dostat napájení a data skrze stěnu kontejneru [15], která jsou však po technologické stránce příliš komplikovaná a jejich implementace by výrazně překročila cenu provrtání stěny kontejneru a její utěsnění.

1.3 Sledované veličiny

Přepravovaný náklad může být během přepravy poškozen působením různých vlivů, což může vést k vysokým finančním ztrátám, kterým lze v některých případech při včasné detekci zabránit, či informace použít pro vymáhání škod.

1.3.1 Teplota

Výkyvy teploty mohou přímo způsobit degradaci přepravovaného nákladu, což může vést k jeho úplnému znehodnocení. Venkovní a vnitřní teplota kontejneru se může výrazně lišit, v rámci této práce nás však zajímala pouze vnitřní teplota kontejneru kvůli přítomnému zboží.

Měření teploty stačilo s přesností na jednotky °C, jelikož vyšší přesnost monitorování teploty nákladu nemá zásadní význam.

1.3.2 Vlhkost

Vlhkost specifikuje množství vody v plynném stavu, které je obsaženo ve vzduchu. Schopnost vzduchu absorbovat vodu je omezena a může dojít k dosažení bodu zvaného nasycení, kdy již není možné absorbovat více vody. Množství vody, které je možné absorbovat záleží na teplotě a tlaku. Změna teploty může způsobit jev zvaný kondenzace, kdy dojde ke zmenšení bodu nasycení a voda změní své skupenství z plynného na kapalné, což může vést k poškození přepravovaného zboží.

Mimo jiné vysoká vlhkost je jednou z klíčových podmínek pro růst plísně a množení jiných mikroorganismů, což může vést ke znehodnocení nákladu [31].

Měření vlhosti s přesností na jednotky % je dostatečné, jelikož vyšší přesnost monitorování vlhkosti nemá zásadní význam.

1.3.3 Akcelerace

S kontejnerem se při přepravě manipuluje a při neopatrné manipulaci může dojít k jeho pádu, které může způsobit poškození nákladu. Vzhledem k tomu, že kontejner se pohybuje v 3 rozměrném prostoru je nutné použít 3-osý gyroskop pro měření akcelerace.

Na základě získaných dat z gyroskopu lze detekovat nevhodnou manipulaci s nákladem (pády a nárazy kontejneru). Avšak je nutné vzít v potaz, že hladina moře není klidná a lze očekávat vlny, což ovlivní naměřené hodnoty akcelerace. Kontejner se však může pohybovat i v kamionu po souši, kde může docházet k prudkému brždění. Bude tedy nutné najít vhodný algorithmus pro detekci pádu kontejneru, který vezme v úvahu všechny zmíněné problematické vlivy.

1.3.4 Manipulace se dveřmi

Přístup k zboží bez fyzického poškození kontejneru je možný pouze přes dveře. Proto je potřeba detekovat neoprávněný přístup do kontejneru (tedy ke zboží), který může vést k odcizení, k poškození či záměně nákladu.

Odhady předpokládají, že krádeže způsobují škodu okolo 50 miliard ročně [30], je tedy vhodné konstruovat zařízení, aby bylo odolné vůči neoprávněné manipulaci.

1.3.5 Vniknutí vody

Kontejnery ve většině případů nejsou kompletně vodotěsné. Typicky používají pryžové těsnění pro utěsnění dveří. Kontejnery mohou být vybavené větracími otvory, které snižují odolnost vůči průniku vody. Vniknutí vody, může vést ke zvýšení vlhkosti v kontejneru, nejedná se však o spolehlivý ukazatel a je nutné použít dedikovaný detektor.

1.3.6 Pozice

Vzhledem k tomu, že kontejner cestuje po světě, tak je nutné sledovat jeho pozici, aby bylo možné dohledat monitorovaný kontejner k tomuto účelu lze použít GPS, GLONASS, Galileo či jiné lokalizační technologie. Ztráta kontejneru na otevřeném moři není zcela vyjimečná situace, proto mít informaci o místě, kde náklad spadl do moře může být důležitá ať již při jeho záchraně nebo při vymáhání škody po přepravci zboží.

1.4 Atmosferické podmínky

Moře a oceány tvoří 71 % povrchu Země. Vyskytují se od severního pólu k jižnímu, což má za následek, že na mořích a oceánech se můžeme setkat s velkými rozdíly v atmosferických podmínkách v závislosti na přesné poloze. Studie [26] inženýrů z Xeroxu zdokumentovala při cestě Z Japonska do Memphisu teploty od -29 °C do 57 °C a vlhkost mezi 40-90 %.

Hladina moře není stabilní a mění se vlivem gravitačního působení moře Měsíce a Slunce i o 15 m [28], tento jev se nazývá přiliv a odliv. Působení větru má také vliv na hladinu moře, což může způsobit vlny o výšce až 19 m [29].

Mořská voda je slaná, přitomnost soli má korozivní efekt, což může způsobit degradaci boxu zařízení nebo poškození DPS, pokud je jim přímo vystavena.

Globální oteplování má za následek úbytek ledu v arktických oblastech, což má za následek zvažování přepravu nákladu těmito oblastmi [27]. V arktických oblastech v polárním kruhu může dojít k jevu zvanému polární noc, kdy noc trvá déle než 24 hodin. V takových podmínkách solární panely nemusí být schopny obdržovat sluneční svit a dobíjet baterii.

1.5 Napájení

Monitorovací jednotka je napájena pomocí baterie. Baterie je dobíjena pomocí solárního panelu. Zařízení je konstruováno s ohledem na dlouhodobý bezúdržbový provoz, což bylo zohledněno při řešení napájení komunikační jednotky.

Komunikace pomocí RF rozhraních je typicky energeticky náročná, což má za následek vysoké špičkové proudy, které je nutné spolehlivě dodávat a nutno tedy brát v ohled při návrhu napájení.

1.5.1 Solární panel

Pro prodloužení provozuschopnosti jednotky byly použity solární panely, které dokáží pokrýt spotřebu zařízení a dobíjet baterie.

Solární panel v této aplikaci nemá ideální podmínky a efektivita generování energie bude výrazně nestabilní. Kontejnery se typicky skládají na sebe, což pravděpodobně bude mít negativní vlív na efektivitu panelů. Dále je třeba brát v potaz, že v některých oblastech Země, dochází k polární noci. Odhadnout kolik energie solární panel bude schopen reálně dodávat je tedy problematické a při výpočtech kapacity baterie jeho vliv zanedbáme.

Na trhu jsou dostupné rygidní a flexibilní solární panely. Výkonové parametry obou panelů jsou srovnatelné, cenově však rigidní vycházejí výhodněji. Flexibilní panely je však možné ohýbat do specifického tvaru což může vést k vyšší efektivitě generování energie pro dobíjení a napájení jednotky. A proto pro konstrukci komunikační jednotky byly použity běžné neflexibilní panely.

1.5.2 Baterie

Současná řešení používají baterie s kapacitou v řádu jednotek Ah, avšak komunikační jednotka navržená v rámci této diplomové práce má kapacitu v desítkách Ah, aby bylo dosaženo dlouhodové provozuschopnosti i bez nutnosti dobíjení z přítomného solárního panelu na komunikační jednotce. Bateriové řešení je složeno z Li-ion bateriových článků typu 18650, u kterých se kapacita typicky pohybuje v rozmezí 2,3 - 3,6 Ah [32]. Jednotlivé bateriové články jsou zapojeny pararelně.

1.6 Satelitní připojení

Ke komunikaci skrze satelitní síť je použit Iridium 9602 SBD, který pro účel této práce zapůjčilo VUT. Zmíněný modul kromě komunikace se satelitem umožňuje získávat data o poloze pomocí GPS.

1.7 Pořizovací cena a provozní náklady

Samotný modul Iridium 9602 je možné zakoupit v cenové hladině 150 $ - 300 $. Prvotní aktivace modulu stojí 50 $. Provoz zařízení výžaduje úhradu měsíčního poplatku a připadně dokoupení dat. Monitorovací jednotka pouze odesílá data, cena spojená s příjmem dat nás tedy nezajímá. Odeslaná data se učtují po jednotlivých bytech, ale je nutné dát pozor na to, že minimální učtovací délka zprávy je 10 bytů.

Tab. 1.1: Přehled tarifů pro satelní připojení IRIDIUM [13]

Tarif	Měsíční paušál	Datový základ	Cena za dalších 1000 B
Iridium SBD Plan A (0 KB)	27.00 $	0 KB	1.15 $
Iridium SBD Plan B (12 KB)	33.75 $	12 KB	1.99 $
Iridium SBD Plan C (17 KB)	35.10 $	17 KB	1.19 $
Iridium SBD Plan D (30 KB)	56.25 $	30 KB	1.61 $

1.8 Mobilní připojení

Ke komunikaci skrze mobilní sítě byly zvažovány čipy BG77 a SIM7000. Oba čipy podporují NBIOT připojení, odesílání SMS, získání polohy pomocí GPS a ostatní parametry i cena jsou srovnatelné. Nakonec byl zvolen SIM7000, protože je snažší na připájení k DPS, než BG77, který má BGA pouzdro.

1.9 Pořizovací cena a provozní náklady

Čip SIM7000 je dostupný v cenové hladině 15-40 $. Narozdíl od satelitního modulu, není potřeba připlácet za aktivaci, či jiné skryté poplatky. Přenos dat skrze mobilní sítě je výrazně levnější, jak je vidět v tabulce.

Tab. 1.2: Přehled tarifů pro mobilní připojení od O2 [14]

Tarif	Měsíční paušál	Datový základ	Cena za další 1 MB
Machine	19,00 KČ	0 MB	18,15 KČ
Machine 10 MB	56,00 KČ	10 MB	18,15 KČ
Machine 100 MB	69,00 KČ	100 MB	18,15 KČ

1.10 Mikrokontroler

Při výběru mikrokontroleru byl hlavní parametr nízká spotřeba a dostatečný počet rozhraní pro připojení ostatních komponent monitorovací jednotky. Ideální se jeví spotřeba v maximálně desítkách μA, ale samozřejmě platí čím menší, tím lepší. Pro připojení komponent je potřeba 2x UART, 1X I2C sběrnice a 1x Onewire sběrnice.

1.10.1 RPI

Původně se plánovalo použít jednu z variant Raspberry Pi, ale to se ukázalo jako slepá cesta, jelikož RPI má příliš vysokou spotřebu, protože nepodporuje hluboký spánek. Existuje řešení, kde se pomocí Arduino emuluje hluboký spánek, čímž je možné minimalizovat spotřebu na 180 μA na 12 V větvi [23]. Což je stále přiliš velká spotřeba při srovnání s ostatními možnými řešeními. Zmíněná spotřeba z výběru vyřadila i samostatné Arduionu bez RPI.

1.10.2 ESP32

Nakonec byl zvolen ESP32, protože jeho spotřeba splňuje naše očekávání a ostatní naše požadavky jsou také splněny.

ESP32 obsahuje 12 bitový ADC, který lze použít k zjištění stavu baterie. Zmíněné ADC však pracuje v rozsahu 0 až 3V3. Pro měření je tedy nutné připojit Li-Ion baterii přes napěťový dělič.

Disponuje trojcí HW UARTu, s tím že jeden je ideální vyhradit pro účely programování. Dvojice I2C sběrnic a onewire sběrnice je též podporována.

Během běžného provozu jsou modemy vypnuté, protože Wifi ani Bluetooth v aktuálním řešení nebyla využita. SW pro sběr a odesílání dat není výpočetně náročný lze tedy očekávat reálnou spotřebu v běžném provozu v jednotkých mA. ESP32 může jít do režimu spánku, ze kterého se probudí na základě přerušení. Při použití těchto spánkových módů může spotřeba klesnout až k 10 μA.

Tab. 1.3: Přehled spotřeby ESP32 [24]

Stav	Proud
Active	160 - 260 mA
Modem sleep	3 - 20 mA
Light sleep	0.8 mA
Deep sleep	10 μA
Hibernace	2.5 μA

ESP32 obsahuje dvou jádrový procesor, proto je možné jedno jádro vypnout, což může mít pozitivní vliv na spotřebu, stejně jako snížení frekvence jádra [25].

2 Praktická část

Řešení práce se skládá z několika částí, které řeší návrh obvodu, desek, boxu až po SW část, kde se řeší program, který provádí čtení senzorů a odesílání dat na server.

Návrh obvodu a desky se vytvořil pomocí programu Eagle s použitím doporučené literatury [1], [2]. Pro vytvoření modelu boxu byl zvolen software SOLIDWORKS. Samotný kód byl napsán pomocí Visual Studio Code s pluginy pro ESP32.

2.1 Návrh obvodu

Návrh obvodu je rozdělen na dvě desky. První deska je určená pro zajištění spolehlivého a dostatečného napájení druhé desky, na které jsou umístěné datové obvody, které se starají o sběr dat a jejich následné odesílání.

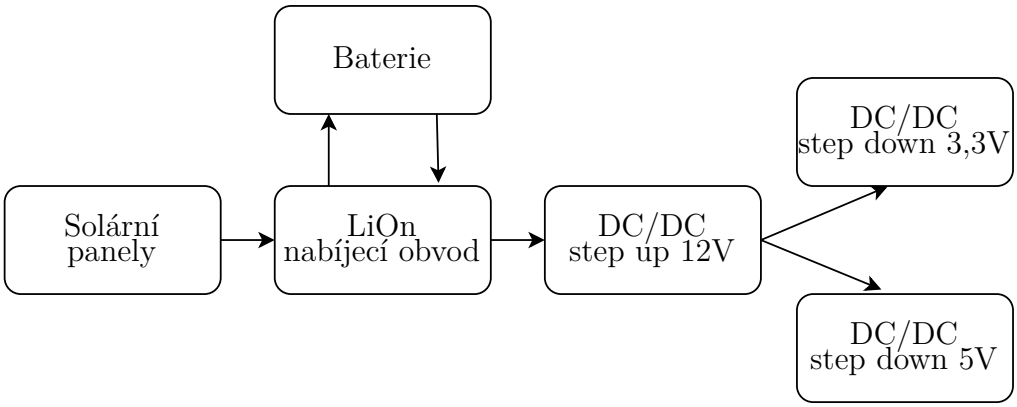
2.1.1 Napájecí deska

K desce je připojen solární panel 6V/200mA, který je přiveden k srdci desky čipu TP4056 s ochrannými obvody, který slouží pro bezpečné nabíjení Li-Ion baterii a zprostředkování energie zbytku obvodu. Baterie je také připojena přes konektor a je realizována pomocí 6ti pararelně zapojených 18650 s celkovou kapacitou 15600 mAh.

Hlavní deska vyžaduje napájecí větev 5 V a 3,3 V se špičkovými proudy až 2 A, které se mohou objevit při odesílání dat pomocí satelitu či mobilních sítí. Tyto špičkové proudy by němely nastat na obou větvích zároveň.

Li-Ion baterie nemá stabilní hodnotu napětí, protože závisí na úrovni nabití baterie, pohybuje se však typicky v rozmezí 4,2 V až 3,0 V, přesné hodnoty však záleží na výrobci baterie. Protože baterie může mít hodnotu nižší než 3,3 V, tak bude nastávat situace, kdy by pro dosažení 3,3 V úrovně nebude možné použít step down DC/DC měnič, dalším problémem je, že step down DC/DC měniče mají definovaný minimální rozdíl mezi vstupním a výstupním napětím, což by dále limitovalo použitelnou kapacitu baterie. Proto se napětí baterie převede pomocí step up DC/DC měniče na 12 V a pak posléze změní pomocí step down DC/DC měničů na požadované hodnoty napájecích větví 5 V A 3,3 V. Obě napájecí větve mají na desce kondenzátory o hodnotě 4700 uF pro vykrytí špiček, zvolena na základě doporučení výrobce komunikačních modulů.

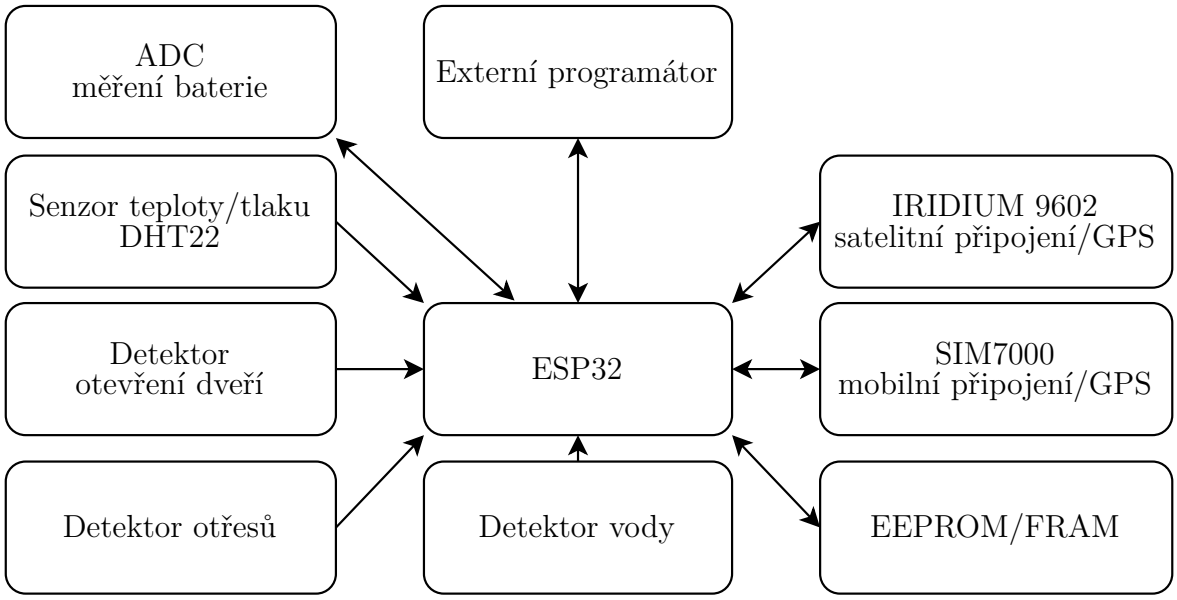
Na desce je umístěna řada konektorů pro ladění parametrů obvodu, jedním z nich je interní 12V větev, kterou je možné také připadně použít k napájení externích obvodů.



Obr. 2.1: Koncept nápájení

2.1.2 Hlavní deska

Tato deska je tvořena čipem ESP32, který se programuje pomocí externího programátoru a o napájení se stará dedikovaná napájecí deska. Je možné pomocí jumperů nastavit, aby deska byla napájena pomocí externího programátoru, který však nemusí být schopen zvládnout vysoké proudové špičky při odesílání dat. Komponenty, které je potřeba montovat uvnitř kontejneru jsou připojené přes konektor, ostatní jsou umístěné přímo na desce. Všechny antény jsou připojené přes konektor (s vyjímkou WIFI a BLE, které jsou realizované jako PCB trace a nejsou v aktuálním řešení používány), aby je bylo možné umístit v boxu do ideální pozice.



Obr. 2.2: Koncept hlavní desky

Externí USB programátor

Deska neobsahuje kompletní USB programátor, je tedy nutné použít externí programátor, který se připojuje přes dedikovaný konektor. Jako programátor lze použít libovolný USB <-> 3,3 V UART s podporou hardware flow control. Pro vypracování této práce byl použit převodník založený na čipu CP2102.

Na desce je umístěn pouze obvod jenž na základě hardware flow control uvede ESP32 čip do programovacího módu a dvojice tlačítek, která umožňuje provést manuální přepnutí do programovacího módu a restart zařízení.

IRIDIUM 9602

Tato komponenta slouží ke komunikaci prostřednictvím satelitní sítě IRIDIUM, není však umístěna přímo na desce, ale je připojena pomocí jednoho více pinového konektoru dvojice antenních konektorů. Pozice má definované rozmístění, které je nutné dodržet jinak modul nepůjde fyzicky připojit. Anténní konektory slouží k připojení GPS a IRIDIUM antény. Přes více pinový konektor je připojeno 5V nápájení modulu, signalizační diody a UART pro komunikaci s modulem.

Za účelem snížení spotřeby je možné vypnout celou komponentu v SW. Používání signalizačních diod je možné také v SW vypnout, což se také projeví pozitivně na spotřebě.

SIM7000

Tato komponenta slouží ke komunikaci prostřednictvím mobilních sítí a je umístěna přímo na desce. Napájení je realizováno pomocí 3.3 V větve, čip však poskytuje pin s napájením 1,8 V, které je primárně určeno pro připojení SIM karty, která je umístěna v držáku na SIM karty. Komunikace probíhá pomocí UARTu, je zde však problém že ESP32 používá 3.3 V logiku a SIM7000 1,8 V logiku, což vyžaduje použití měniče úrovní.

Komponenta používá konektory pro externí antény NBIOT a GPS. GPS anténa je aktivní a není sdílená s IRIDIUM 9602.

I2C komponenty

I2C sběrnice má pull-up rezistory, pro zajištění správné funkčnosti.

Přes I2C sběrnici je aktuálně připojen Gyroskop a EEPROM paměť, sběrnice má však konektor pro připojení externích zařízení/senzorů, který je aktuálně nevyužitý. Tří osý gyroskop je řešen pomocí MPU6050. Pro ukládání dat je použita EEPROM paměť, kterou je však možné nahradit pamětí FRAM, u které je výrazně vyšší počet R/W cyklů. Aktuální I2C zařízení jsou schopny pracovat s 3V3 signály a není tedy

nutné použít obousměrný převodník logických úrovní. Adresy zařízení nekolidují a jsou tedy umístěny na jedné I2C sběrnici.

Detekce kapacity baterie

ESP32 disponuje 12bitovým ADC převodníkem, který má rozsah 150 mV - 2450 mV [33]. Li-Ion baterie však běžně může mít napětí 4,2 V, je tedy nutné použít napěťový dělič redukovat napětí na měřitelnou hodnotu a SW pak následně spočítat reálnou hodnotu. Pro redukci spotřeby je možné napěťový dělič vypínat pomocí dvojce tranzistorů.

Externí senzory

Teplotní senzor je připojen Onewire sběrnice pomocí konektoru. One-wire sběrnice vyžaduje pull-up odpor, který je umísťen na desce. Dle výrobce může být vodič k teplotnímu senzoru dlouhý až 20 m [17], ale protože je použita k napájení 3,3 V větev, maximální doporučená délka kabelu je dle výrobce 1 m.

Dveřní spínač a detektor vniknutí vody je připojen napřímo k ESP32, kde je vyvoláváno přerušení na změnu logické hodnoty na připojených pinech. Decoupling signálu je řešen pomocí kondenzátoru a poté ještě v SW.

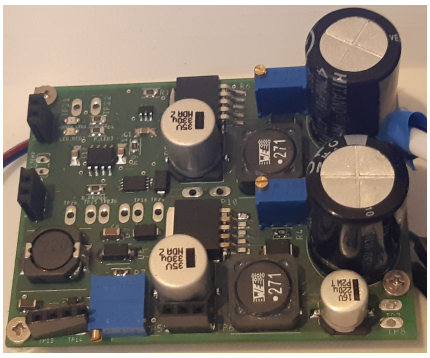
Antény

Řešení této práce používá 3 externí antény připojené přes konektory. Vsesměrovou anténu pro NB-IoT/GSM stačí našroubovat na konektor, směrování antény nemělo pozorovatelný vliv a kvalitu signálu v testovacím prostředí (kvalita signálu byla maximální). Anténa pro GPS/GLONASS vyžaduje vodorovnou pozici jinak není schopná spolehlivě zajistit dostatečně kvalitní signál pro určení aktuální polohy. Se satelitní anténou byly největší problémy, je nutné mít anténu ve vodorovné pozici ideálně bez obstrukce výhledu na nebe. Samotná anténa pro kvalitní příjem vyžaduje ground plane. Bez ní je anténa schopna přijmu signalu, ale síla signálu není stabilní a odesílání selhávalo, proto bylo nutné použít ground plane o rozměru 63x63 mm, S ground plane se podařilo spolehlivě dosahovat vysoké kvality signálu a spolehlivě odesílat data.

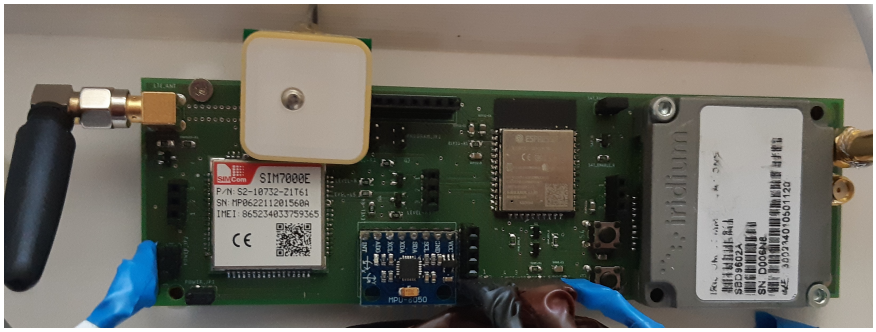
2.2 Návrh desek

Při návrhu desky bylo nutné vzít v ohled rozměr vnitřního prostoru boxu. Návrh desky byl zvolen jako dvojvrstvý s možností osázení součástek z obou stran. Na napájecí větve se mohou objevit vysoké špičkové produdy, které mohou dosáhnout až

1,8 A, což vyžaduje přizpůsobení napájecích cest. Na hlavní desce je několik konektorů pro připojení antén, které jsou vedeny po desce do SIM7000, IRIDIUM 9602 a je nutné minimalizovat degradaci signálu na desce. Satelitní modul je nutné připojit přes konektory přímo k hlavní desce, proto bylo v návrhu nutné vyhradit dostatek místa pro montážní otvory pro přichycení tohoto modulu.



Obr. 2.3: Výsledná napájecí deska



Obr. 2.4: Výsledná hlavní deska

2.3 Návrh boxu

Ze specifikace kontejneru [4], vyplývá, že pro umístění monitorovací jednotky na dveře do prohlubně se jako ideální rozměr jeví 500x45x70 mm. Tento rozměr umožnuje umístit jednotku v prohlubni za tyčemi, což znamená, že případná demontáž bude vyžadovat demontovat tyče, což úmyslně činí demontáž jednotky obtížnější. Stěny nejsou vodorovné, ale jsou zkosené. Stěny boxu zkosené pod stejným úhlem, aby došlo k co největšímu vyplnění prohlubně, což minimalizuje možný pohyb boxu v prohlubni.

Jedním z požadavků na box zařízení je odolnost vůči průniků vody, protože zařízení bude vystaveno atmosferickým vlivům a agresivní mořské vodě. Z tohoto důvodu je potřeba použít vodotěsnou průchodku pro kabel, který slouží k připojení senzorů uvnitř kontejneru, nakonec byla zvolena průchodka PG7, která je schopna zajistit vodotěsnost pro použitý senzorový kabel. Box se skládá ze dvou částí, které jsou sešroubovaný dohromady, pro zajištění vodotěsnosti je použito gumové těsnění.

Na boxu jsou umístěné solární panely, aby byla dosažena vyšší efektivita využití panelu je mezi tyčemi vytažena část boxu, která poskytuje lepší úhel pro příjem slunečního svitu. V této vytažené části pod solárními panely se nachází antény, které zde mají lepší signál, protože jsou lépe nasměrovány pro příjem signálu. Solární panely jsou přichycené k boxu tavnou pistolí. Flexibilní panely mají na okrajích kladný a zaporný kontakt. Kontakty panelu jsou provrtané skrz panel i box a veškeré vodiče se tedy nachází uvnitř boxu.

Na spodním dílu jsou umístěny závitová pouzdra určená k přišroubování skrze stěnu kontejneru.

Jako materiál pro výrobu boxu byl použit PLA, který je vhodný na 3D tisk. Použitá tiskárna nebyla schopná tisknout box v jednom kuse, bylo nutné tedy tisk rozdělit na poloviny a posléze slepit. V případě reálné komerční výroby lze očekávat použití jiného materiálu a výrobního procesu lépe uzpůsobeného seriové výrobě.

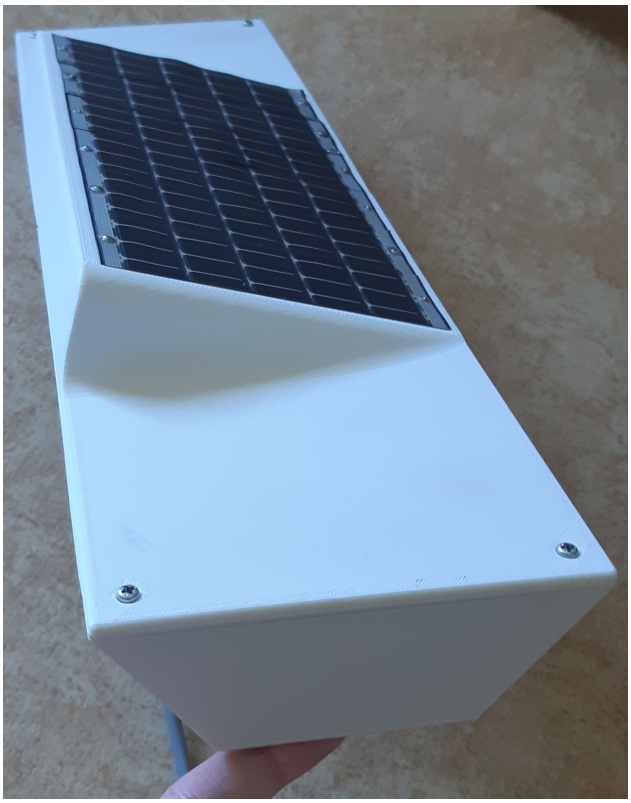
Každý DPS je přichycen k boxu pomocí sloupků, které obsahují závitová pouzdra. Bateriový pack je přichycen pomocí tavné pistole. Napájecí deska je umístěna na okraji, aby se redukoval případný rušivý vliv desky na příjem RF signálu na hlavní desce.

2.4 Návrh komunikačního protokolu

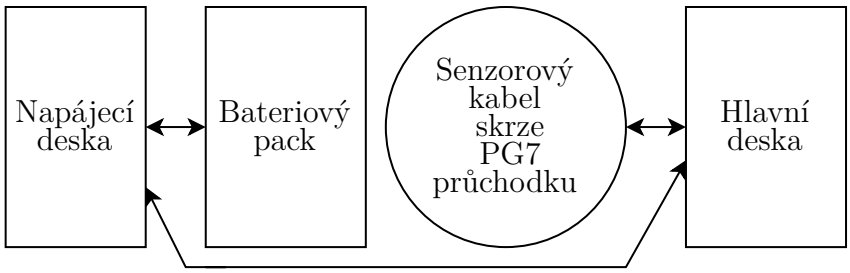
V rámci této práce byl navržen vlastní komunikační protokol pro přenos dat pomocí sateliních i mobilních sítí. Protokol byl diskutován a na základě zpětné vazby upraven, výsledná verze protokolu byla implementováná na straně satelitní jednotky, tak i na straně GINA Software s.r.o.

2.4.1 Základní požadavky

Komunikační jednotka disponuje řadou komunikačních technologií s rozdílnými parametry. Pro každé připojení bylo možné vytvořit vlastní protokol uzpůsobený na míru danému komunikačnímu rozhraní, to by však zvýšilo časové náklady na vývoj a údržbu. Bylo tedy rozhodnuto použít jednotný komunikační protokol pro všechna rozhraní.



Obr. 2.5: Výsledný sestavený box



Obr. 2.6: Uspořádání vnitřku boxu

Protokol musí umět přenášet čas, polohu, teplotu, vlhkost, tlak, informace o stavu dveří, vniknutí vody a zda dochází k otřesům. Očekává se funkčnost jednotky bez servisních zásahů a aktualizací SW po celou dobu života na moři, komunikace v rámci navrženého protokolu tedy může probíhat pouze jednosměrně, avšak data protokolu jsou přenášena přes datové kanály, které signalizují zda byla data úspěšně odeslána. Z bezpečnostních důvodů je potřeba umožnit použití šifrování. Protože se jednotka může pohybovat mezi více časovými pásmy, tak by měla odesílat veškeré časové údaje v UTC, bez ohledu na aktuální polohu pro snadnější zpracování dat.

2.4.2 Volba podoby protokolu

Největší vliv na volbu protokolu má satelitní komunikace, protože má atypické parametry vůči jiným běžně používaným technologiím. Přenos dat přes satelit je nákladný a účtuje se každý bajt. Minimální účtovací jednotka je 10 bajtů, posílat tedy méně než 10 bajtů je tedy finančně nevýhodné. Maximální délka zprávy může být 340 bajtů, pokud je potřeba použít delší je nutné řešit fragmentaci. Avšak maximální délka zprávy je dosažena interní fragmetací zpráv, pro nejefektivnější přenos dat je tedy potřeba přenášet maximálně 70 bajtů. Vzhledem k tomu, že data budou do finální destinace přenášena přes TCP/IP je vhodné mít zarovnání dat na 4 bajty.

Algoritmy blokových šifer šifrují bloky dat o specifické délce, pokud jsou data kratší je nutné je doplnit výplní, která neobsahuje žádnou užitečnou informaci. Specificky AES256 používá 32B bloky.

U binárních protokolů je možné dosáhnout lepší efektivity přenosu, čimž je myšleno, že pro přenos dat potřebujeme méně bajtů. Z důvodů vysoké ceny přenosu dat bylo rozhodnuto navrhnout a použít binární protokol.

2.4.3 Popis binárního protokolu

Verze

Vzhledem k tomu, že protokol se může v budoucnu měnit a bude potřeba provozovat zařízení se starou verzí současně s novými, vyhrazujeme první 1B pro uchování verze, aby šlo rozumně rozlišovat a parsovat. Implementace dle tohoto dokumentu by měla používat hodnotu 0x01 a je uchována v "Version".

Délka

Délka je uchována v "LEN". Obsahuje počet Bajtů céle struktury (včetně Version, LEN a případného Paddingu). Primárním účelem je usnadnění parsování neznámých verzí a kontrola, že nám byla doručena všechna data.

Stav baterie

Informace o úrovni nabití baterie je v Battery state, má délku 1 B a značí hodnoty od 0 % (0x00) - 100 % (0xFF)

Flagy

Slouží k signalizaci specifických událostí, je pro ně vyhrazen 1 B. Jednotlivé flagy mají vyhrazený jeden specifický bit.

1b - DOOR_OPEN (Logická 1, když jsou otevřené dveře.)
2b - CARGO_SHAKING (Logická 1, když došlo k otřesu.)
3b - WATER_INTRUSION (Logická 1, když došlo ke vniknutí vody.)
4b - LAST_KNOWN_GPS_POSITION (Logická 1, pokud aktuální GPS pozice není známá a je použita poslední známá.)
Ostatní rezervované pro budoucí použití.

Čas

Pro uchování informace o čase slouží Timestamp, jedná se 64bitový unix time.

Teplota

Teplota je uložena v Temperature a má délku 16bitů a značí hodnoty od -128 °C (0x0000) až po +127 °C (0xFFFF).

Vlhkost

Vlhkost se nachází v Humidity, má délku 16bitů a značí hodnoty od 0 % (0x0000) - 100 % (0xFFFF).

Tlak

Tlak se nachází v Pressure, má délku 16bitů a značí hodnoty od 0 hPa (0x0000) - 6553.6 hPa (0xFFFF).

Zařízení, která nepodporují měření tlaku posílají hodnotu 0 hPa.

Poloha

GPS souřadnice jsou uloženy pomocí třech hodnot, která má každá 32bitů (signed MSB):
zeměpisnou šířka = 0.000001° * Latitude
zeměpisnou délka = 0.000001° * Longitude
nadmořskou výška = 0.0001 metr * Altitude

Přesnost se specifikuje pomocí HDOP, která určují horizontální přesnost. K uložení se používá 8 bitů a hodnoty jsou od 0 % (0x00) - 100 % (0xFFFF).

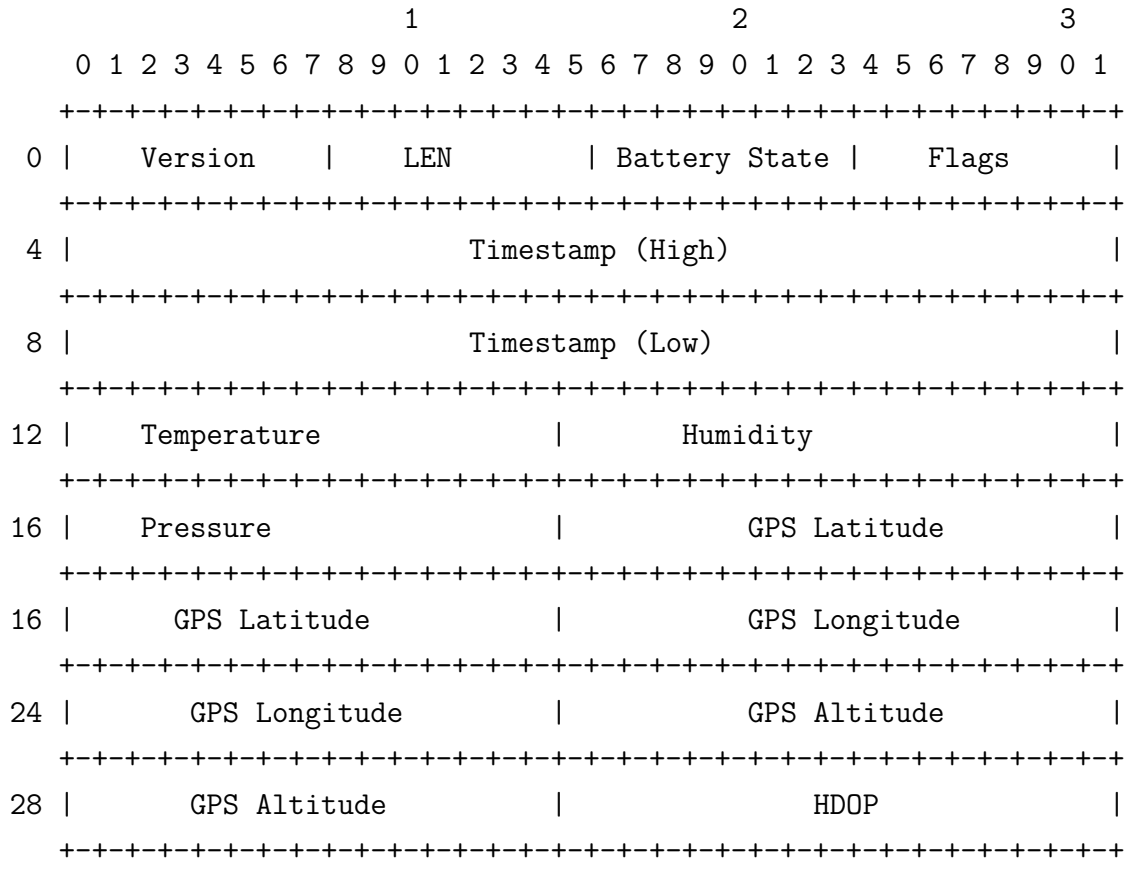
Šifrování dat

Použití šifrování není vyžadováno, je to volitelná funkce. Tento protokol neřeší signalizaci použití šifrovacího algoritmu, výměnu klíčů, z pohledu tohoto protokolu je

šifrování realizováno na vyšší vrstvě. Při použití šifrování je nutné na koncové jednotce implementovat zvolený algoritmus a uložit potřebný šifrovací klíč. Na straně serveru je nutné evidovat seznam modulu na základě IMEI a informaci o zvoleném algoritmu a klíč k dešifrování.

Asi nejvhodnějším šifrovacím algoritmem pro naši aplikaci je AES-256 CBC, která pracuje s blokem dat 32 B a vyžaduje tedy 0 B padding.

Navržená struktura dat



Výpis 2.1: Navržená datová struktura protokolu v jazyce C/C++

```
typedef struct simple_message
{
    uint8_t    version;
    uint8_t    len;
    uint8_t    battery_status;
    uint8_t    flags;
    uint64_t   timestamp;
    uint16_t   temperature;
    uint16_t   humidity;
```

```
    uint16_t   pressure;
    int32_t    gps_latitude;
    int32_t    gps_longitude;
    int32_t    gps_altitude;
    uint16_t    hdop;
    /* padding if needed */
} __attribute__((packed)) simple_message;
```

Zapouzdření protokolu

Při odesílání navrženého protokolu přes satelit dojde k jeho zapouzdření do IRIDIUM specifické datové struktury, která obsahuje řadu dalších informací, jako například IMEI, který slouží k jednoznačné identifikaci komunikačního modulu. Při odesílání navrženého protokolu pomocí mobilních sítí neprovádí operátor zapouzdření dat a server není schopen detekovat zdrojovou jednotku. Proto bylo nutné na straně jednotky implementovat zapouzdření dat. Pro snadnou implementaci bylo rozhodnut formát: <IMEI v ASCII kodovani>,<binarní data navrženého protokolu>.

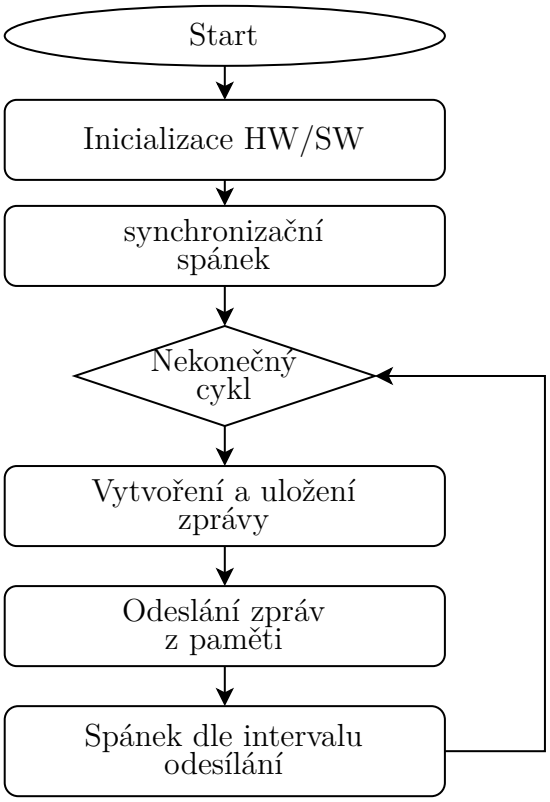
2.5 SW řešení

Program pro monitorovací jednotku je založen na ESP IDF SDK [16], který je založen na RTOS. Většina kódu je napsána v jazyce C++11, některé komponenty však používají C++17. Framework umožňuje psát unittesty a automatizovat testování s použitím jazyku Python. Aktuálně nejsou napsány žadné testy, veškeré testování funkčnosti bylo provedeno manuálně s použitím debug výstupů z ESP32 a s použitím externích zařízení. Konkrétně se používal digitální logický analyzátor a osciloskop.

2.5.1 HLA námořní jednotky

HLA je relativně jednoduchá. Po startu proběhne inicializace SW a HW prostředků zařízení. V případě, že inicializace selže, tak se program ukončí a zařízení se restartuje. Po úspěšné inicializaci následuje 1 s čekání, během kterého dochází ke stabilizaci zařízení do validního stavu. Toto synchronizační čekání nám zajišťuje, že HW se validně inicializuje například u senzoru DHT22 výrobce udává [17], že senzor je po dobu 1 s v nestabilním stavu a není tedy možné toto čekání odstranit. Poté následuje nekonečný cyklus, který se může přerušit pouze pokud dojde k neošetřené chybě v programu, či dojde odpojení napájecího zdroje. V této smyčce se vytváří zpráva pokud je potřeba a uloží se do paměti. Dalším krokem je odeslání všech

zpráv uložených v paměti, v případě uspěchu se zpráva smaže z paměti, v případě neúspěchu se pokouší odeslat při dalším odesílání. Na konci každého běhu cyklu se provede spánek na dobu specifikovanou v konfiguraci.



Obr. 2.7: HLA SW řešení námořní jednotky

2.5.2 Vytváření zpráv

Zprávy se vytváří pravidelně na základě časového intervalu. Nepravidelné vytvoření zprávy se provádí na základě podnětů z externích senzorů. Konkrétně se zpráva vytváří při každé změně stavu dveří, vyrazné změně teploty, vlhkosti, vniknutí vody. Posledním možným podnětem pro vygenerování zprávy je otřes jednotky.

Čas

Pro získání aktuálního času se použiju funkce esp_timer_get_time(), která je součástí frameworku a tato funkce vrací 64 bitový unixový čas. K synchronizaci času je použit GPS. Mobilní sítě a IRIDIUm nejsou využívány k synchronizaci času.

Poloha

Poloha se zjišťuje pomocí GPS, skrze SIM7000. Mobilní sítě a IRIDIUm je možné také využít k lokalizaci jednotky, ale v aktuálním řešení tato možnost není využita.

Zdrojem polohy je GPS, která je podporována v mobilním i satelitním komunikačním modulu a lze ji vyčíst pomocí AT příkazů. Který modul bude používán pro získání pozice na finálním návrhu záleží na reálné spotřebě modulů při práci s GPS.

GPS má pokrytí po celém světě, ale to nezaručuje, že se nám vždy podaří získat aktuální pozici. V případě selhání získání aktuální pozice je možné použit předchozí známou pozici a je nastaven přislušný flag signalizující neaktuální GPS pozici. GPS signál je možné podvrhnout [20], tohle je však v tomto řešení zcela ignorováno.

Podporovaná sada AT příkazů pro GPS se mezi satelitním a mobilním komunikačním modulem liší [21], [22]. V obou případech však odpověď přichází v textové podobě, kterou je třeba zpracovat pro uložení v binárním formátu.

Teplota, vlhkost, tlak

Teplotu a vlhkost lze získat z DHT22 senzoru, který je připojen přes onewire sběrnici. DHT22 nepodporuje měření tlaku. Implementace proběhla dle datasheetu [17]. Výrobce nedoporučuje číst hodnoty častěji než 2 s, protože senzor používá $2s$ vzorkování pro měření teploty a vlhkosti. Po odeslání teploty dle výrobce by měl senzor poslat odpověd do $40\mu s$, v kódu je však implementováno čekání delší, aby se vyhnulo případným problémům s nepřesností při práci s časy.

Požadavek na data se skládá z dvou kroků, které pracují s onewire sběrnicí: Prvním je nastavení sběrnice na logickou hodnotu 0 po dobu 1 až 10 ms. Poté následuje nastavení na logickou hodnotu 1 po dobu 20 až 40 μs. Senzor by poté měl reagovat nastavením sběrnice na logickou 0 po dobu 80 μs a poté začít posílat data. Přenos dat je kódován do doby trvání logické 1. Pro přenos bitu dat s logickou 0, musí být na sběrnici logická 1 po dobu 26-28 μs. Pro přenos bitu dat s logickou 1, musí být na sběrnici logická 1 po dobu 70 μs.

Senzor v odpovědi posílá 40 bitu dat. Prvních 16 bitů obsahují informaci o vlhkosti, následujicích 16 bitů obsahuje informaci o teplotě, finálních 8 bitů je CRC. Informace o vlhkosti se uchovává, jako celé číslo a jeho vydělením 10 získáme reálnou procentuální hodnotu vlhkosti. Uložení informace o teplotě je komplikovanější, jedná se také o celé číslo jehož vydělením získáme reálnou teplotu v °C, je však nutné nezapomenout že nejvyšší bit se používá pro identifikaci záporné teploty. CRC se počítá sečtením jednotlivých bajtů a ořízntutím výsledků na 1 bajt. V připadě, že vypočítané CRC neodpovídá přijatému CRC, tak jsou přijata data nevalidní a nelze je použít. Teoreticky by bylo možné se pokoušet opravit chybu v přijatých datech, ale v tomto případě se zdá snažší zažádat o data znovu.

Stav dveří

Stav dveří se zjístí přečtením logické hodnoty na pinu, kde je připojen dveřní senzor. Logická jednička znamená, že dveře jsou otevřené. Logická nula znamená, že dveře jsou zavřené. Tato informace lze uložit v 1 bitu, ve zprávě tedy bude uložena ve stejném bajtu jako ostatní flagy.

Při změně stavu dveří se vyvolá ISR, které vyvolává vygenerování zprávy. Toto přerušení má implementován decoupling, které slouží pro odstranění nežádoucích volání přerušení, které se nepodařilo odfiltrovat na úrovni DPS.

Otřesy

Aktuální implementace detekce otřesů je založena na algoritmu pro detekci kroků v fitness náramku [19]. Algoritmus byl upraven, tak aby detekoval drobné pohyby nepájivého pole, protože nepájivé pole není vhodné pro testování pádů. Na funkčním prototypu bude implementován tento algoritmus v popsané podobě [19], či jiný který bere v úvahu falešné signály a je více specificky zaměřený na detekci pádů [18]. Je však možné, že bude nutné vytvořit zcela nový algoritmus, který bere v ohled specifické podmínky na moří, konkrétně plavbu přes vlny, která bude detekovatelná na gyroskopu a může tedy ovlivnit detekci pádů.

Vniknutí vody

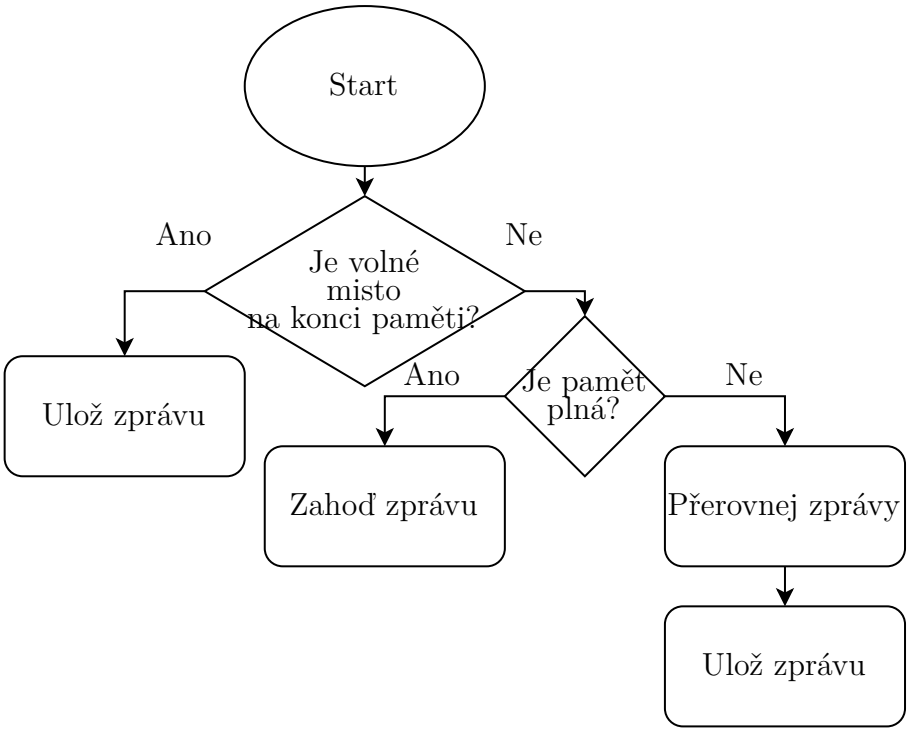
Detekce vniknutí vody probíhá kontrolout pinu, ke kterému je připojen senzor. Na pinu je logická 0, v případě že není detekována přítomnost vody. Logická 1 se na pinu objeví v případě detekce vody. Změna hodnoty na pinu generuje ISR, který je posléze v kódu zpracován.

2.5.3 Ukládání a čtení zpráv

Zprávy se ukládají do EEPROM. V paměti se kromě zpráv ukládá hlavička, která je uložena na začátku adresního prostoru paměti. V hlavičce jsou uložené informace potřebné pro ukládání a čtení zpráv z paměti metodou FIFO. Jednou z informací uloženou v hlavičce je index první a poslední neodeslané zprávy uložené v paměti. Pokud je pamět prazdná, tak oba indexy směřují na místo první zprávy.

Při zápisu se nejdříve zjistí, zda je volné místo pro zprávu za poslední zapsanou zprávou, pokud je, tak se zpráva zapíše. V opačném případě, je nutné ověřit zda je paměť plná, pak se zpráva zahodí. Pokud však paměť není plná a na konci paměti není místo, tak je nutné přerovnat zpávy. A až poté je možné uložit zprávu na konec paměti.

V případě plné paměti se nové zprávy zahazují. Bylo by možné přepisovat nejstarší zprávy, avšak to by komplikovalo práci s pamětí. Avšak hlavní důvod proč se nepřepisují zprávy je fakt, že přepisovaní by umožnilo opakovaným otevíráním a zavíráním dveří přepsat předchozí informace, což by mohlo skrýt informace o prudkých změnách teploty, nebo otřesy.



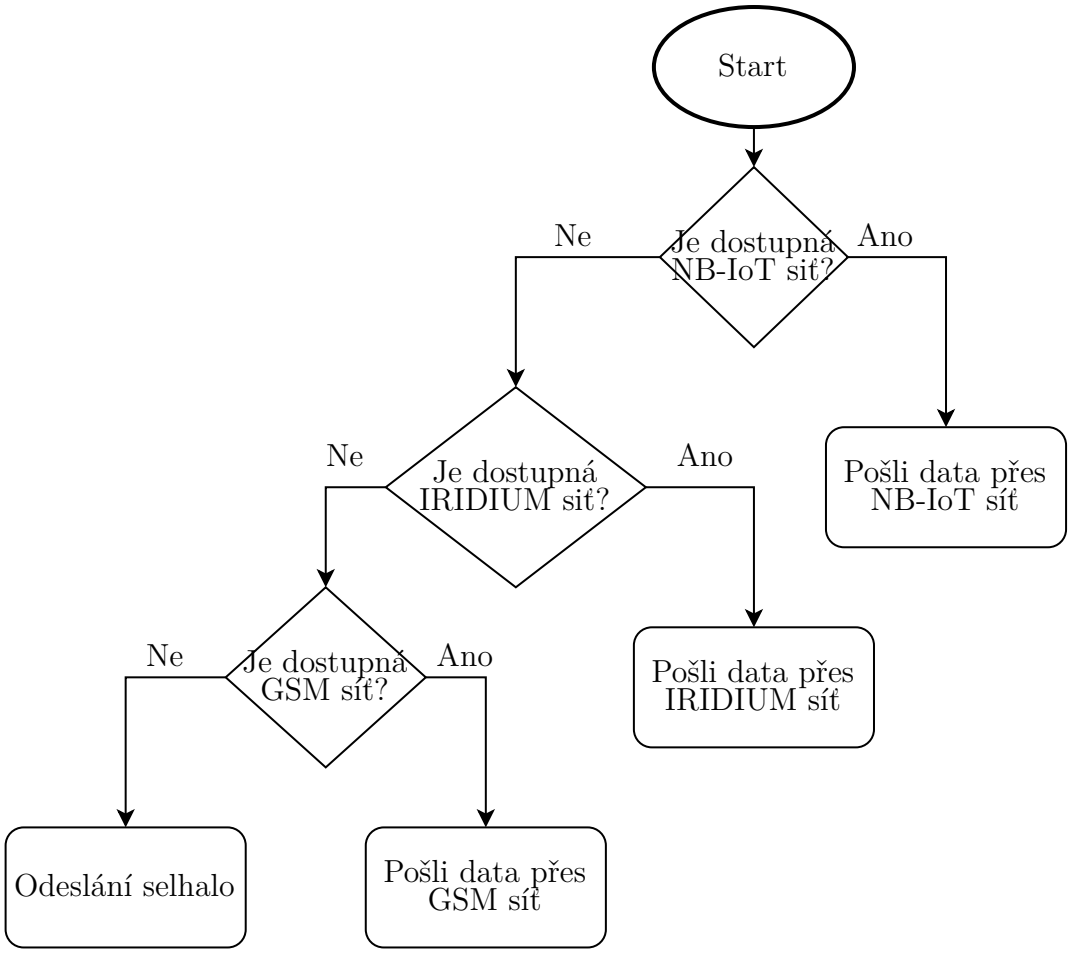
Obr. 2.8: Ukládání zpráv do paměti

Současné řešení nebere v úvahu interní strukturu paměti, která bývá typicky uspořádána do stránek, jenž pak tvoří bank. Znalost interní umožuje provést optimalizaci práce s paměti, avšak ta nebyla implementována v rámci této práce.

2.5.4 Odesílání zpráv

Pro odesílání zpráv je možné použít satelitní i mobilní komunikační modul. Přenos dat přes mobilní sítě je levnější, ale dostupnost mobilních sítí je omezená, je tedy nutné inteligentně volit, která jednotka bude použita pro odesílání dat.

Původně se plánovalo na základě GPS, detekovat lokace, kde je možné se připojit k mobilním sítím. Od tohoto řešení se nakonec upustilo, protože udržovat aktuální databázi lokací s dostupnými mobilními sítěmi se ukázalo nereálné a v paměti jednotky na toto není místo. Proto se ve finálním řešení pokouší vždy odeslat data pomocí NBIOT, v případě selhání se zkusí satelitní připojení a v případě jeho selhání dojde k pokusu o odeslání SMS.



Obr. 2.9: Volba komunikační sítě

ESP32 disponuje WiFi a bluetooth rozhraním s integrovanou anténou v PCB, ale jejich použití pro přenos zpráv se neuskutečnilo. Připadné rozšíření posílání přes tyto rozhraní by byla čistě SW věc a nemuselo by nutné měnit HW návrh za přepokladu, že současný HW návrh nemá výrazné negativní vlivy na kvalitu jejich RF signálu.

2.6 Komunikace se SIM7000

Vlastní komunikace s modulem probíhá prostřednictvím AT příkazů přes UART linku s autodetekcí rychlosti. Tato autodetekce je však problematická, proto je přenastavena na rychlost 115200Bd. Přivedení enable signalu do vyhrazeného pinu mobilního modulu slouží k vypínání a zapínání modulu z důvodu úspory energie.

2.6.1 AT příkazy

Kompletní seznam podporovaných AT příkazů je specifikován v dokumentu SIM 7000 Series AT Command Manual [21]. Pro implementaci komunikace pro námořní jednotky je však potřeba pouze následující část příkazů.

Příkaz AT

Jedná se o příkaz, který nemá žádný parametr. Odpověď na příkaz by měla přijít s minimální prodlevou. Slouží k ověření funkčnosti komunikačního kanálu mezi ESP32 a SIM7000.

Příkaz AT+CGNSPWR

Slouží k ovládání napájení GPS antény. V závislosti na parametru příkazu může příkaz zjistit akuální hodnotu (AT+CGNSPWR?), či změnit nastavení na požadovanou hodnotu (AT+CGNSPWR=1).

Příkaz AT+CGNSINF

Příkaz bez parametru sloužící k získání informace o aktuální pozici s použitím GPS, GLONASS a získání aktuálního času.

Příkaz AT+CPIN

Modul pro správnou funkčnost vyžaduje SIM kartu, která v některých připadech vyžaduje zadání PINu. Tento příkaz je použit pro ověření zda karta vyžaduje PIN a posléze připadně lze použít k zadání PINu.

Příkaz AT+CFUN

Modul může operovat v různých módech, které se liší v podporovaných funkcích, což má vliv i na spotřebu. Tento příaz slouží ke zjištění aktuálního módu a lze také použít ke změně módu.

Příkaz AT+GSN

Tento příkaz nemá parametr a slouží k získání hodnoty IMEI dotazovaného modulu.

Příkaz AT+COPS

Pomocí tohoto příkazu lze nastavit automatické připojování do sítí, případně manuálně nastavit specifickou síť do které se má připojovat. Lze take použít pro detekci

dostupných mobilních sítí nebo k dotazu na identitu síťe ke které je aktuálně připojen. V rámci této práce se používá automatické připojování do sítí, protože jednotka má cestovat po světě, kde se dostupné sítě liší od těch dostupných v České republice.

Příkaz AT+CGDCONT

Toto je jeden z nejduležitějších příkazů, protože specifikuje použité APN, pokud není správně nakonfigurovaná komunikace pomocí mobilních sítí, tak nebude možná. Každá SIM karta může vyžadovat jiné APN, i když mohou být vydané stejným operatorem ve stejné zemi. V rámci této práce byla pro komunikaci skrze NBIOT použita SIM karta od vodafone a požadované APN bylo "lpwa.vodafone.iot", specifikovat IP adresy nebylo potřeba a uživatelské jméno a heslo taktéž nebylo potřeba.

Příkaz AT+CSQ

Tento příkaz slouží ke zjištění hodnoty signálu, která je udána hodnotami RSSI a BER. Hodnoty 99 značí, že je hodnota neznáma, nebo není detekovatelná. V rámci této práce komunikační jednotka považuje jakýkoliv detekovaný nenulový signál jako dostatečný pro pokus o odeslání. Protože v testovacích prostředích je teměř vždy detekována maximální možná úroveň signálu, nebylo možné otestovat chování při nižších kvalitach signálu.

Příkaz AT+CGREG

Pomocí tohoto příkazu se provádí ověření zda je modul úspěšně registrovaný v sítí operátora. Typicky se může úspěšně zaregistrovat do domácí sítě operátora, nebo se může jednat o roaming registraci.

Příkaz AT+CGATT

Tento příkaz slouží k aktivaci/deaktivaci GPRS služby, která má na starost datovou paketovou komunikaci. Aktivace GPRS služby může trvat až 75 s dle výrobce modulu.

Příkaz AT+CIICR

Úspešná datová komunikace vyžaduje aktivní rádiové spojení pro GPRS, k jeho vytvoření slouží tento příkaz, který je časově náročný a může zabrat až 85 s dle výrobce modulu.

Příkaz AT+CIFSR

Pokud je GPRS plně aktivní a připojené do sítě operátora, tak je možné použít tento příkaz pro zjištění lokální IP adresy.

Příkaz AT+CIPSTART

Pro vytvoření datového TCP/UDP spojení je nutné použít tento příkaz. V parametru se specifikuje transportní protokol (TCP/UDP), adresa serveru a port. Operátor může používat filtrování, což vyžaduje přidání požadovaných serverů na whitelist operátora, jinak se nepodaří úspěšně navázat spojení.

Příkaz AT+CIPSEND

Tento příkaz slouží k odeslání binárních dat prostředníctvím vytvořeného TCP/UDP spojení na vzdálený server.

Příkaz AT+CIPCLOSE

Pro validní ukončení datového TCP/UDP spojení je určen tento příkaz, který umožnuje pomalé i rychlé ukončení spojení.

Příkaz AT+CIPSHUT

Tento příkaz slouží ke kompletní deaktivaci GPRS kontextu.

Příkaz AT+CSCA

Pro odesílání SMS, je potřeba specifikovat SMSC adresu operátora pro odesílání SMS.

Příkaz AT+CMGF

SIM7000 podporuje dva módy odesíláni SMS. V PDU módu je nutné vytvořit kopletní PDU na straně ESP32. V textovém módu se vytvoření PDU provádí interně v SIM7000 během odesílání.

Příkaz AT+CMGS

Tento příkaz slouží k samotnému odeslání dat prostřednictvím GSM ve formě SMS. Pokud je nastaven PDU mód, tak je nutné v parametru tohoto příkazu předat kompletní binární PDU. V textovém módu stačí dodat text zprávy.

2.6.2 Ukázky komunikace

Získání informace o poloze a aktuálním čase prostřednictvím GPS, GLONASS je relativně jednoduchá. Je nutné ověřit funkčnost komunikační linky a zda má GPS anténa zaplé napájeni, protože v rámci této diplomové práce se používá aktivní GPS anténa. Poté následuje samotný dotaz na pozici a čas. GPS typicky vyžaduje 60 s než po zapnutí je schopna detekovat aktuální pozici. Potřebný čas se může lišit v závislosti na kvalitě signálu.

Výpis 2.2: Získání GPS pozice a aktuálního času

```
TX[ASCII]: AT\r                                                          1
RX[ASCII]: AT\r\r\nOK\r\n                                                2
TX[ASCII]: AT+CGNSPWR?\r                                                 3
RX[ASCII]: AT+CGNSPWR?\r\r\n+CGNSPWR: 1\r\n\r\nOK\r\n                    4
TX[ASCII]: AT+CGNSINF\r                                                  5
RX[ASCII]: AT+CGNSINF\r\r\n+CGNSINF: 1,1,20220516062349.000,49           6
           .203366,16.608783,233.500,0.00,45.2,1,,0.9,1.2,0.8,           7
           ,23,7,3,,,44,,\r\n\r\nOK\r\n                                  8
```

Odeslání dat prostřednictvím NBIOT sítě se skladá z řady kroků. Nejdříve se ověřuje funkčnost komunikační linky, funkčnost SIM karty a zapnutí telefonní funkce. Poté následuje nastaveni APN. Pokud je dostatečně kvalitní signál a modul je úspěšně registrovaný do sítě operátora, tak je možné získat lokální IP modulu a vytvořit TCP spojení na server. V momentě, kdy je vytvořené spojení je možné začít posílat data. Po odeslání všech dat je potřeba ukončit spojení.

Výpis 2.3: Odeslání dat pomocí NBIOT sítě

```
TX[ASCII]: AT\r                                                          1
RX[ASCII]: AT\r\r\nOK\r\n                                                2
TX[ASCII]: AT+CPIN?\r                                                    3
RX[ASCII]: AT+CPIN?\r\r\n+CPIN: READY\r\n\r\nOK\r\n                      4
TX[ASCII]: AT+CFUN?\r                                                    5
RX[ASCII]: AT+CFUN?\r\r\n+CFUN: 1\r\n\r\nOK\r\n                          6
TX[ASCII]: AT+CGDCONT=1,"IP","lpwa.vodafone.iot","0.0.0.0"\r             7
RX[ASCII]: AT+CGDCONT=1,"IP","lpwa.vodafone.iot","0.0.0.0"\r\r           8
           \nOK\r\n                                                      9
TX[ASCII]: AT+CSQ\r                                                      10
RX[ASCII]: AT+CSQ\r\r\n+CSQ: 31,99\r\n\r\nOK\r\n                         11
TX[ASCII]: AT+CGREG?\r                                                   12
RX[ASCII]: AT+CGREG?\r\r\n+CGREG: 0,5\r\n\r\nOK\r\n                      13
TX[ASCII]: AT+CGATT?\r                                                   14
RX[ASCII]: AT+CGATT?\r\r\n+CGATT: 1\r\n\r\nOK\r\n                        15
```

```
TX[ASCII]: AT+CSTT="lpwa.vodafone.iot"\r
RX[ASCII]: AT+CSTT="lpwa.vodafone.iot"\r\r\nOK\r\n
TX[ASCII]: AT+CGACT?\r
RX[ASCII]: AT+CGACT?\r\r\n+CGACT: 1,1\r\n+CGACT: 13,0\r\n\r\n
           OK\r\n
TX[ASCII]: AT+CIICR\r
RX[ASCII]: AT+CIICR\r\r\nOK\r\n
TX[ASCII]: AT+CIFSR\r
RX[ASCII]: AT+CIFSR\r\r\n100.93.50.69\r\n
TX[ASCII]: AT+CIPSTART="TCP","185.59.146.24",30070\r
RX[ASCII]: AT+CIPSTART="TCP","185.59.146.24",30070\r\r\nOK\r\n
RX[ASCII]: \r\nCONNECT OK\r\n
TX[ASCII]: AT+CIPSEND=47\r
RX[ASCII]: AT+CIPSEND=47\r\r\n>
TX[ HEX ]: 38 36 35 32 33 34 30 33 32 36 34 37 32 37 32 3b 01
           1f fe 04 82 41 87 62 00 00 00 00 ff 97 f9 7e 00 00
           9c c8 ee 02 1f 6e fd 00 20 6a 25 00 02 1a
RX[ HEX ]: 38 36 35 32 33 34 30 33 32 36 34 37 32 37 32 3b 01
           1f fe 04 82 41 87 62 00 00 00 00 ff 97 f9 7e 00 00
           9c c8 ee 02 1f 6e fd 00 20 6a 25 00 02 1a
TX[ASCII]: AT+CIPCLOSE\r
RX[ASCII]: AT+CIPCLOSE\r\r\nCLOSE OK\r\n
TX[ASCII]: AT+CIPSHUT\r
RX[ASCII]: AT+CIPSHUT\r\r\nSHUT OK\r\n
```

Odeslání SMS se skladá z řady kroků. Nejdříve se ověřuje funkčnosti komunikační linky, funkčnost SIM karty a zapnutí telefoní funkce. Poté následuje nastavení SMSC, který specifikuje server pro SMS a mód odesílání SMS. Pokud je dostatečně kvalitní signál a modul je uspěšně registrovaný do sítě operátora, tak je možné provést vlastní odeslání SMS na požadované číslo.

Výpis 2.4: Odeslání dat pomocí GSM sítě

```
TX[ASCII]: AT\r
RX[ASCII]: AT\r\r\nOK\r\n
TX[ASCII]: AT+CPIN?\r
RX[ASCII]: AT+CPIN?\r\r\n+CPIN: READY\r\n\r\nOK\r\n
TX[ASCII]: AT+CFUN?\r
RX[ASCII]: AT+CFUN?\r\r\n+CFUN: 1\r\n\r\nOK\r\n
TX[ASCII]: AT+CSCA?\r
RX[ASCII]: AT+CSCA?\r\r\n+CSCA: "+420603052000",145\r\n\r\nOK
           \r\n
TX[ASCII]: AT+CMGF?\r
```

```
RX[ASCII]: AT+CMGF?\r\r\n+CMGF: 1\r\n\r\nOK\r\n                                  11
TX[ASCII]: AT+CSQ\r                                                             12
RX[ASCII]: AT+CSQ\r\r\n+CSQ: 31,99\r\n\r\nOK\r\n                                13
TX[ASCII]: AT+CGREG?\r                                                          14
RX[ASCII]: AT+CGREG?\r\r\n+CGREG: 0,1\r\n\r\nOK\r\n                             15
TX[ASCII]: AT+CMGS="+420721123456"\r                                            16
RX[ASCII]: AT+CMGS="+420721123456"\r\r\n>                                       17
TX[ASCII]: 011ffe0441438762000000003298347e00007fc8ee021c6efd                   18
           00600c250001                                                         19
RX[ASCII]: \r\n+CMGS: 22\r\n\r\nOK\r\n                                          20
```

2.7 Komunikace se IRIDIUM 9602

Vlastní komunikace se satelitním modulem probíhá prostřednictvím AT příkazů přes UART linku o defaultní rychlosti 9600 Bd. Přivedení enable signálu do vyhrazeného pinu sateliního modulu slouží k vypínání a zapínání modulu z důvodu úspory energie.

2.7.1 AT příkazy

Kompletní seznam podporovaných AT příkazu je specifikován v dokumentu ISU AT Command Reference [22]. Pro implementaci komunikace pro námořní jednotky, je však potřeba pouze následujicí část příkazů.

Příkaz AT

Jedná se o příkaz, který nemá žádný parametr. Odpověď na příkaz by měla přijít s minimální prodlevou. Slouží k ověření funkčnosti komunikačního kanálu mezi ESP32 a IRIDIUM 9602.

Příkaz AT+CSQ

Tento příkaz rovněž nemá parametry a slouží ke zjištění síly satelitního signálu. V odpovědi je specifikována síla signálu pomoci čísla 0 až 5, kdy 0 znamená žadný nebo nedekovatelný signál a 5 znamená velmi silný signál. Odpověď na příkaz by měla přijít do 50 s, typicky však dojde během 10 s.

Příkaz AT+SBDWB

Tento příkaz slouží k zápisu binárních dat do paměti IRIDIUM 9602, která je určena pro uchování odesílaných dat. Příkaz je dvojkrokový, v prvním kroku příkazem specifikujeme délku odesílaných dat, poté co IRIDIUM 9602 potvrdí, že je připraven

přijmout data dojde k poslání dat s tím, že jsou zakončena 2 B kontrolním součtem. IRIDIUM 9602 posilá odpověď, ve které specifikuje zda se podařilo data přijmout a zapsat do paměti.

Příkaz AT+SBDI

Tento příkaz slouží k odeslání dat zapsaných v paměti IRIDIUM 9602 na server, skrze satelitní připojení. Příkaz nemá parametry a v odpovědi se udává zda se podařilo úspěšně odeslat data.

2.7.2 Ukázka komunikace

V ukázkové komunikaci je ověřena funkčnost komunikační linky s IRIDIUM 9602, ověřena síla signálu, zapsána binární zpráva do paměti a posléze je úspěšně odeslána na server.

Výpis 2.5: Ukázka komunikace s IRIIDIUM 9602 pomocí AT příkazů

```
TX[ASCII]: AT\r                                                    1
RX[ASCII]: \r\nOK\r\n                                              2
TX[ASCII]: AT+CSQ\r                                                3
RX[ASCII]: \r\n+CSQ:5\r\n\r\nOK\r\n                                4
TX[ASCII]: AT+SBDWB=28\r                                           5
RX[ASCII]: \r\nREADY\r\n                                           6
TX[ HEX ]: 01 1c fe 00 96 7c 64 60 00 00 00 00 4c 97 dc 84 00      7
           00 01 82 07 c7 88 02 36 5b 00 02 07 a2                  8
RX[ASCII]: \r\n0\r\n\r\nOK\r\n                                     9
TX[ASCII]: AT+SBDI\r                                               10
RX[ASCII]: \r\n+SBDI: 1, 44, 0, 0, 0, 0\r\n\r\nOK\r\n              11
```

2.8 Grafické rozhraní monitoringu námořní dopravy

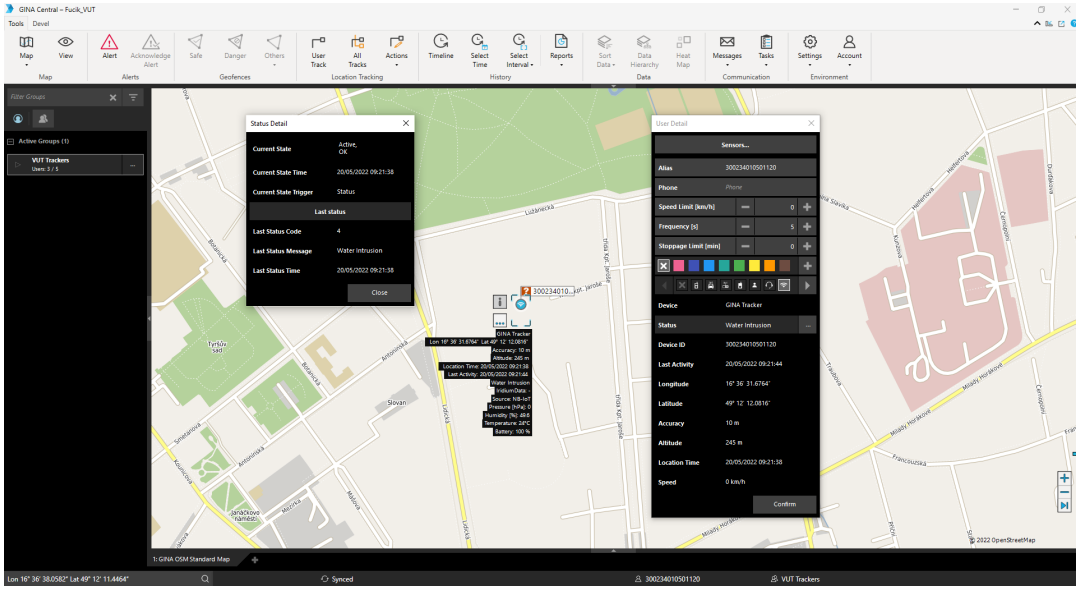
Podařilo se navázat úspěšnou spolupráci s firmou GINA Software s.r.o, která poskytla reálně používaný komerční monitorovací SW GINA Central [35] a byla ochotna implementovat navržený protokol potřebný k úspěšné integraci navržené komonukační jednotky.

2.8.1 GINA Central

Základní funkcionalitou SW je zobrazení mapy světa s aktuální pozicí monitorovacích jednotek. Mapové podklady je možné měnit od klasických map po satelitní

snímky. Aplikace umožnuje zobrazit trasu po které monitorovací jednotka cestovala. Další důležitou funkčností jsou alarmy, které jsou schopné upozornit uživatele aplikace na specifické události, například na vniknutí vody do kontejneru. A na základě této události může provést akce, které budou řesit detekovaný problém. Ke každé jednotce je možné vygenerovat hlášení o stavu, který obsahuje veškeré hlášené informace z monitorovací jednotky v daném časovém intervalu. Aplikace detekuje RF technologii, která byla použita pro odeslání dat.

Aplikace má řadu pokročilých funkcí mezi které patří heatmapy, posílání zpráv na zařízení, video streaming, waypointy, zónování oblastí. Aplikaci je možné použít v operačním centru, které vidí v reálném čase stav všech sledovaných jednotek a může jim poskytovat rozkazy na základě nových informací, což v České republice využívá IZS.



Obr. 2.10: Zobrazení námořní jednotky v GINA Central

Závěr

Cílem této diplomové práce bylo analyzovat současná řešení monitorování námořní dopravy a poté navrhnout, sestavit, naprogramovat a otestovat vlastní jednotku pro monitorování námořní dopravy jenž využívá satelitní komunikaci a mobílní sítě pro přenos dat.

Výsledkem práce je funkční zařízení schopné odesílat data prostředníctvím satelitní sítě IRIDIUM, mobilní sítě NB-IOT a GSM. Bylo ověřeno, že odeslaná data jsou správně zpracována a zobrazena v aplikaci GINA Central [35] od GINA Software s.r.o., s vyjímkou dat odeslaných skrze SMS prostřednictvím GSM sítí, což je varianta odesílání dat, která není aktuálně podporována a ověření proběhlo manuálně na mobilním telefonu, který úspěšně přijal odeslaná data.

Zvolená technologie pro odesílání dat závisisí na kvalitě signálu, s tím že NBIOT síť má nejvyšší prioritu a GSM má nejnižší. Při selhání odeslání se zkusí odeslat pomocí technologie s nižší prioritou. Je nutné podotknout, že k testování mobilních sítí byla použita dvojice SIM karet (Vodafone pro NBIOT a T-Mobile pro SMS přes GSM), každá však podporuje odesílání dat skrze jednu síť. NBIOT signál byl v dobré kvalitě dostupný i uvnitř budov, IRIDIUM signál je možné chytit i uvnitř budov, ale je velmi slabý a odesílání dat velmi často selhává, pro spolehlivé odesílání je nutný výhled na oblohu s minimálními obstrukcemi.

Zařízení bylo navrženo, aby bylo vodotěsné. Kabely jsou vedené skrze vodotěsnou PG7 kabelovou vývodku a ve spoji horní a spodní části boxu je použita těsnící guma. Box byl vyroben pomocí 3D tisku s použitím PLA, který však může při vystavení vlivům mořské vody degradovat [34]. Vzhledem k velikosti, bylo nutné tisknout po částech, což se může projevit na horších než očekáných těsnících vlastnostech, a proto byla reálně otestována odolnost boxi vůči průniku kapaliny pouze při dešti. Box nezpůsobuje znatelný útlum RF signálu.

Vlastní montáž a otestování funkčnosti jednotky na reálném kontejneru se neprovedla, protože se nám nepodařilo sehnat kontejner do kterého by nám bylo umožněno vrtat otvory pro vedení senzorů do kontejneru a přichycení samotné jednotky.

Pro zjistění polohy se používá SIM7000, který používá k určení polohy GPS a GLONASS. Při testování byla zjistěna poloha s přesnosti na 10 m i uvnitř budovy. GPS je rovněž použita pro synchronizaci času, který modul používá ke specifikování času, kdy daná zpráva o stavu kontejneru byla vytvořena.

Detekce otřesů je založena na algoritmu pro detekci kroků, což je dostatečné řešení pro tuto práci, avšak v reálném prostředí se může ukázat, jako problematické, protože na moři lodě plují přes vlny, které by mohly být identifikovány jako otřes. Bylo by možné implementovat komplikovanější algoritmus, který bere v úvahu falešné signály [18]. Je však možné, že i tento algoritmus není dostatečný a bylo by

nutné nasbírat realná data a vytvořit nový algoritmus pro detekci pádu na plující lodi.

Pro uchování zpráv je použita EEPROM, která má nižší garantovanou životnost než FRAM, ale při frekvenci generování zprávy jednou za několik hodin to není problém. Dalším potencionálním problémem s pamětí je společný ukládací prostor pro různé zdroje zpráv, což může způsobit, že přiliš časté otevírání dveří zaplní paměť a nebude poté možné uložit zprávu s průnikem vody.

Navržené zařízení splňuje parametry zadání a z komerčního hlediska se pohybuje na úrovni prototypu, který je třeba podrobněji otestovat a doladit před komerční sériovou výrobou.

Literatura

[1] MONK, Simon *Make your own PCBs with EAGLE: from schematic designs to finished boards.* New York: McGraw-Hill Education, [2014]. ISBN 9780071819251.

[2] YU, Guanding, Yuhuan JIANG, Lukai XU a Geoffrey Ye LI. *Multi-Objective Energy-Efficient Resource Allocation for Multi-RAT Heterogeneous Networks.* IEEE Journal on Selected Areas in Communications [online]. IEEE, 2015, 33(10), 2118-2127 [cit. 2021-12-01]. DOI: 10.1109/JSAC.2015.2435374. ISSN 0733-8716.

[3] Matthew W. Heins: *The Shipping Container and the Globalization of American Infrastructure* [online]. [cit. 28. 11. 2021]. Dostupné z URL: <https://deepblue.lib.umich.edu/bitstream/handle/2027.42/102480/mheins_1.pdf>.

[4] Containi GmbH: *CTX20DVDR - Domestic Spec HH , RYC rev June 2013, 27092013* [online]. [cit. 28. 11. 2021]. Dostupné z URL: <https://www.containi.de/pdf/Technische-Beschreibung-Seecontainer.pdf>.

[5] Containi GmbH: *two-column-container* [online]. [cit. 28. 11. 2021]. Dostupné z URL: <https://www.containex.com/-/m/picturepark/ctx/start/container-und-module/seecontainer-test/content/two-column-container/content-right/image/image/8d981c45902cf06.ashx?h=0&w=960&la=en&rev=2f531f4d9400d9e39d64f5c7a52eb527&q=50>.

[6] Hariesh Manaadiar: *Importance of proper lashing of containers on board ships* [online]. [cit. 28. 11. 2021]. Dostupné z URL: <https://www.shippingandfreightresource.com/importance-of-proper-container-lashing-on-board-ships/>.

[7] Ryan Stetson: *How to Stack Shipping Containers* [online]. [cit. 28. 11. 2021]. Dostupné z URL: <https://www.containeraddict.com/stacking-shipping-containers/>.

[8] American Trailer Rentals: *Durability and Life Expectancy of a Shipping Container* [online]. [cit. 28. 11. 2021]. Dostupné z URL: <https://americantrailerrentals.com/durability-life-expectancy-shipping-container/>.

[9] GSGroup: *lommy container* [online]. [cit. 28. 11. 2021]. Dostupné z URL: <https://flextrack.allegro.no/products/lommy-container/>.

[10] Starcom Systems: *Triton, The most sophisticated unit for tracking containers in real time for security and management.* [online]. [cit. 28. 11. 2021]. Dostupné z URL: <https://www.slideshare.net/starcomsystems/shipping-container-tracking/>.

[11] Iridium Communications Inc.: *Iridium Edge® Solar* [online]. [cit. 28. 11. 2021]. Dostupné z URL: <https://www.iridium.com/products/iridium-edge-solar/>.

[12] VJOY CAR ELECTRONICS LIMITED: *TK411S-4G Container GPS Tracker Solar* [online]. [cit. 28. 11. 2021]. Dostupné z URL: <http://www.vjoychina.com/product/tk411s-4g-container-gps-tracker/>.

[13] SatellitePhoneStore: *Iridium Short Burst Data Service* [online]. [cit. 28. 11. 2021]. Dostupné z URL: <https://satellitephonestore.com/iridium-sdb>.

[14] 02: *SIM pro senzory, měřiče a chytrá zařízení* [online]. [cit. 28. 11. 2021]. Dostupné z URL: <https://www.o2.cz/osobni/machine-tarify>.

[15] Ding-Xin Yang, Zheng Hu, Hong Zhao, Hai-Feng Hu, Yun-Zhe Sun, Bao-Jian Hou: *Through-Metal-Wall Power Delivery and Data Transmission for Enclosed Sensors: A Reviewí* [online]. [cit. 28. 11. 2021]. Dostupné z URL: <https://www.researchgate.net/publication/287149409_Through-Metal-Wall_Power_Delivery_and_Data_Transmission_for_Enclosed_Sensors_A_Review>.

[16] Espressif Systems (Shanghai) Co., Ltd: *ESP-IDF Programming Guide* [online]. [cit. 08. 12. 2021]. Dostupné z URL: <https://docs.espressif.com/projects/esp-idf/en/latest/esp32/>.

[17] Thomas Liu: *Digital-output relative humidity & temperature sensor/module DHT22 (DHT22 also named as AM2302)* [online]. [cit. 12. 12. 2021]. Dostupné z URL: <https://www.sparkfun.com/datasheets/Sensors/Temperature/DHT22.pdf>.

[18] Qiang Li, John Stankovic, Mark A. Hanson, Adam T. Barth, John Lach, Gang Zhou: *Accurate, Fast Fall Detection Using Gyroscopes and Accelerometer-Derived Posture Information* [online]. [cit. 12. 12. 2021]. Dostupné z URL: <https://www.researchgate.net/publication/221313120_Accurate_Fast_Fall_Detection_Using_Gyroscopes_and_Accelerometer-Derived_Posture_Information>.

[19] Tom Ahola: *Pedometer for Running Activity Using Accelerometer Sensors on the Wrist* [online]. [cit. 12. 12. 2021]. Dostupné z URL: <https://www.researchgate.net/publication/291181468_Pedometer_for_Running_Activity_Using_Accelerometer_Sensors_on_the_Wrist>.

[20] Shah Zahid Khan, Mujahid Mohsin, Waseem Iqbal: *On GPS spoofing of aerial platforms: a review of threats, challenges, methodologies, and future research directions* [online]. [cit. 12. 12. 2021]. Dostupné z URL: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC8114815/>.

[21] SIMCom Wireless Solutions Co.,Ltd: *SIM7000 Series AT Command Manual* [online]. [cit. 12. 12. 2021]. Dostupné z URL: <https://www.waveshare.com/w/upload/3/3c/SIM7000_Series_AT_Command_Manual_V1.05.pdf>.

[22] Iridium: *ISU AT Command Reference* [online]. [cit. 12. 12. 2021]. Dostupné z URL: <https://www.beamcommunications.com/document/328-iridium-isu-at-command-reference-v5/file>.

[23] Jon Watkins: *Sleepy Pi 2 - FAQ* [online]. [cit. 12. 12. 2021]. Dostupné z URL: <https://spellfoundry.com/docs/sleepy-pi2-faq/>.

[24] Last Minute Engineers: *Insight Into ESP32 Sleep Modes & Their Power Consumption* [online]. [cit. 12. 12. 2021]. Dostupné z URL: <https://lastminuteengineers.com/esp32-sleep-modes-power-consumption/>.

[25] Christopher David: *ESP32 Tutorial: What do you have to know about the ESP32 microcontroller?* [online]. [cit. 12. 12. 2021]. Dostupné z URL: <https://diyi0t.com/esp32-tutorial-what-do-you-have-to-know-about-the-esp32-microcontroller/>.

[26] E-BI: *Are Ocean Freight Containers Safe For My Product?* [online]. [cit. 12. 12. 2021]. Dostupné z URL:

<https://e-bi.com/2014/08/04/ocean-freight-containers-safe-product/>.

[27] Qiang Zhang, Zheng Wan, Shanshan Fu: *Toward Sustainable Arctic Shipping: Perspectives from China* [online]. [cit. 12. 12. 2021]. Dostupné z URL: <https://mdpi-res.com/d_attachment/sustainability/sustainability-12-09012/article_deploy/sustainability-12-09012-v2.pdf>.

[28] National Ocean Service: *Tides and Water Levels* [online]. [cit. 12. 12. 2021]. Dostupné z URL: <https://oceanservice.noaa.gov/education/tutorial_tides/tides08_othereffects.html>.

[29] Arizona State University: *New Wave Height Record Announced* [online]. [cit. 12. 12. 2021]. Dostupné z URL: <https://wmo.asu.edu/content/new-wave-height-record-announced>.

[30] Ship Technology: *Cargo theft: a billion-dollar problem* [online]. [cit. 12. 12. 2021]. Dostupné z URL: <https://www.ship-technology.com/features/featurecargo-theft-a-billion-dollar-problem-5882653/>.

[31] Elzbieta Stanaszek-Tomal: *Environmental Factors Causing the Development of Microorganisms on the Surfaces of National Cultural Monuments Made of Mineral Building Materials—Review* [online]. [cit. 12. 12. 2021]. Dostupné z URL: <https://mdpi-res.com/d_attachment/coatings/coatings-10-01203/article_deploy/coatings-10-01203.pdf>.

[32] FENIX-STORE: *The story behind 18650 batteries* [online]. [cit. 11. 05. 2022]. Dostupné z URL: <https://www.fenix-store.com/blog/the-story-behind-18650-batteries/>.

[33] Espressif Systems (Shanghai) Co., Ltd: *Analog to Digital Converter (ADC)* [online]. [cit. 11. 05. 2022]. Dostupné z URL: <https://docs.espressif.com/projects/esp-idf/en/latest/esp32/api-reference/peripherals/adc.html>.

[34] Dan Huang, Zhi-De Hu, Tian-Yuan Liu, Bo Lu, Zhi-Chao Zhen, Ge-Xia Wang, Jun-Hui Ji: *Seawater degradation of PLA accelerated by water-soluble PVA* [online]. [cit. 11. 05. 2022]. Dostupné z URL:

<https://www.degruyter.com/document/doi/10.1515/epoly-2020-0071/html?lang=en>.

[35] GINA Software s.r.o.: *GINA CENTRAL* [online]. [cit. 11. 05. 2022]. Dostupné z URL:
<https://www.ginasystem.com/gina-central.php>.

Seznam symbolů a zkratek

SW Software

HW Hardware

ISO International Organization for Standardization

RF Radio Frequency

SBD Short Burst Data

VUT VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

AT ATtention

USB Universal Serial Bus

RPI Raspberry Pi

GPS Global Positioning System

GSM The Global System for Mobile Communications

3G third generation of wireless mobile telecommunications technology

URL Uniform Resource Locator

IS Information System

IP Ingress Protection

PCB Printed Circuit Board

POC Proof of concept

DPS Deska plošných spojů

HLA High Level Architecture

SIM Subscriber Identity Module

IOT Internet of things

ESP-IDF Espressif's official IoT Development Framework

LOD low dropout voltage regulator

RTC Real-time clock

I2C Inter-Integrated Circuit

UART A universal asynchronous receiver-transmitter

OTA over the air

NVM Non-volatile memory

FIFO First In, First Out

EEPROM electrically erasable programmable read-only memory

RAM Random-access memory

FRAM Ferroelectric RAM

MCU microcontroller unit

SMD Surface-mounted device

SMD Through-hole-technology

LED light-emitting diode

RS-232 Recommended Standard 232

CRC Cyclic redundancy check

UTC Universal Time Coordinated

TCP/IP The Internet protocol suite

SDK Software development kit

RTOS Real-time operating system

DTR Data Terminal Ready

RTS Request to Send

PLA Polylactic acid

RF Radio frequency

SMS Short Message Service

SMSC Short Message Service Center

IMEI International Mobile station Equipment Identity

APN Access Point Name

RSSI Received Signal Strength Indicator

BER bit error rate

GPRS General Packet Radio Service

Seznam příloh

A Návrh DPS **60**

B Návrh boxu **68**

C Obsah elektronické přílohy **70**

A Návrh DPS

Tab. A.1: Seznam součástek pro konstrukci napájecí jednotky

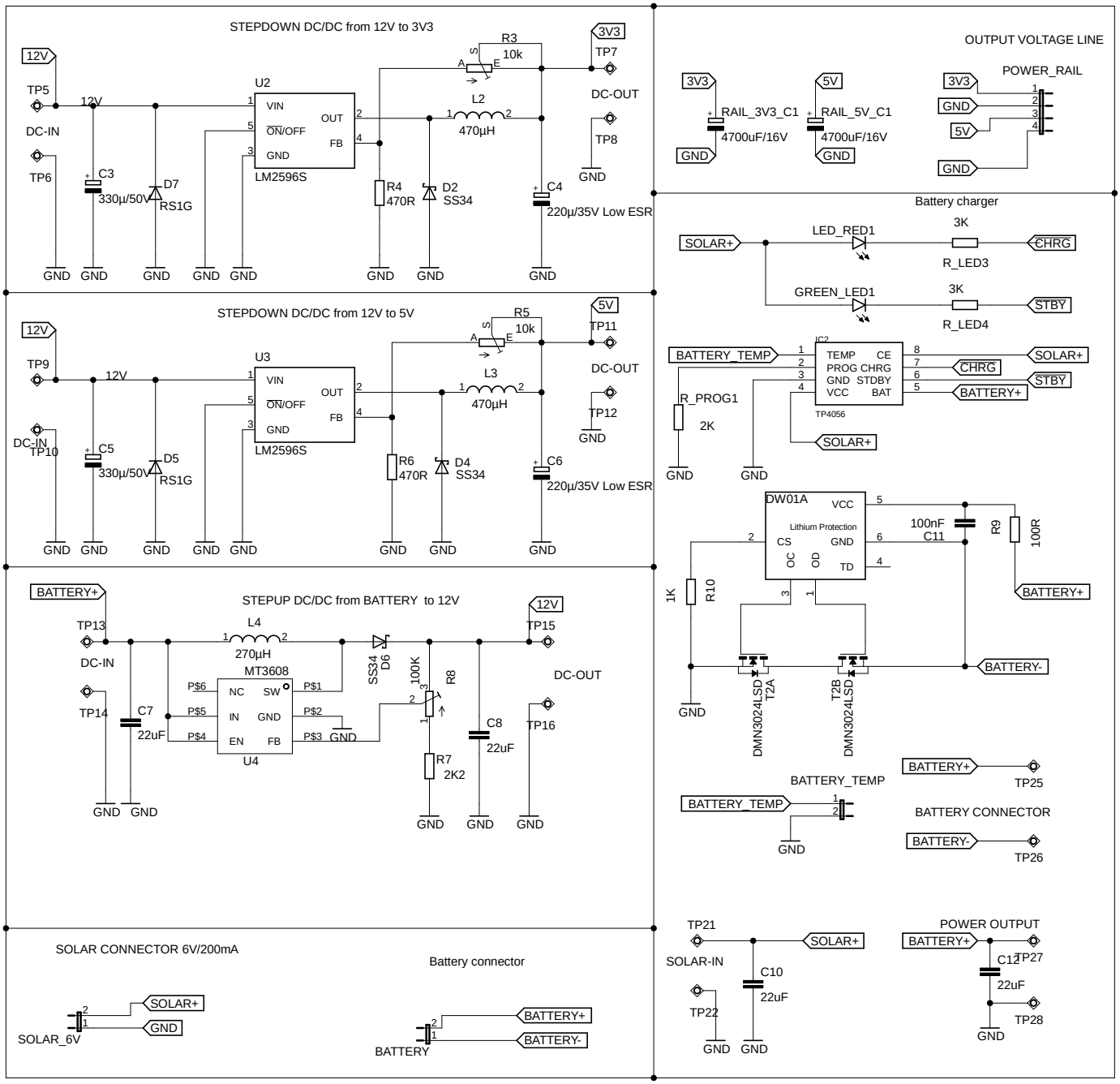
Počet	Název	Popis
1	S1G40C	Koliková lišta
2	4700u/16V HIT-ECR 16x26 RM7,5 BULK	Elektrolytický kondenzátor
2	LM2596S	Step down DC/DC
3	SS34B-HF	Schottkyho dioda
2	MAL215097002E3	Kondenzátor 330 uF / 35V
2	MAL214699512E3	Kondenzátor 220 uF / 50V
2	Wurth Elektronik 744771270	Cívka 470 uH
2	RC0805FR-07470RP	odpor 470 R
2	3296W-1-103RLF	Trimmer 10 K
1	3296P-1-104	Trimmer 100 K
1	MT3608	Step up DC/DC
4	0805 22uF	Kondenzátor 22 uF
1	Wurth Elektronik 7447709221	Cívka 270 uH
1	ERJ-U6RD2201V	Odpor 2200 R
2	ERJ-U6RD3001V	Odpor 3 K
1	TP4056	Li-Ion IC nabiječka
1	DW01A	Ochrana LION
2	DMN3024LSS-13	MOSFET
1	ERJ-U6RD1000V	Odpor 100 R
1	ERJ-U6RD1001V	Odpor 1 K
1	ERJ-U6RD2001V	Odpor 2 K
1	C0805C104K5RAC7411	Kondenzátor 100 nF
2	RS1G-HF	Rectifiers
1	SM0805GCL	Zelená LED
1	SM0805UBWC	Modrá LED

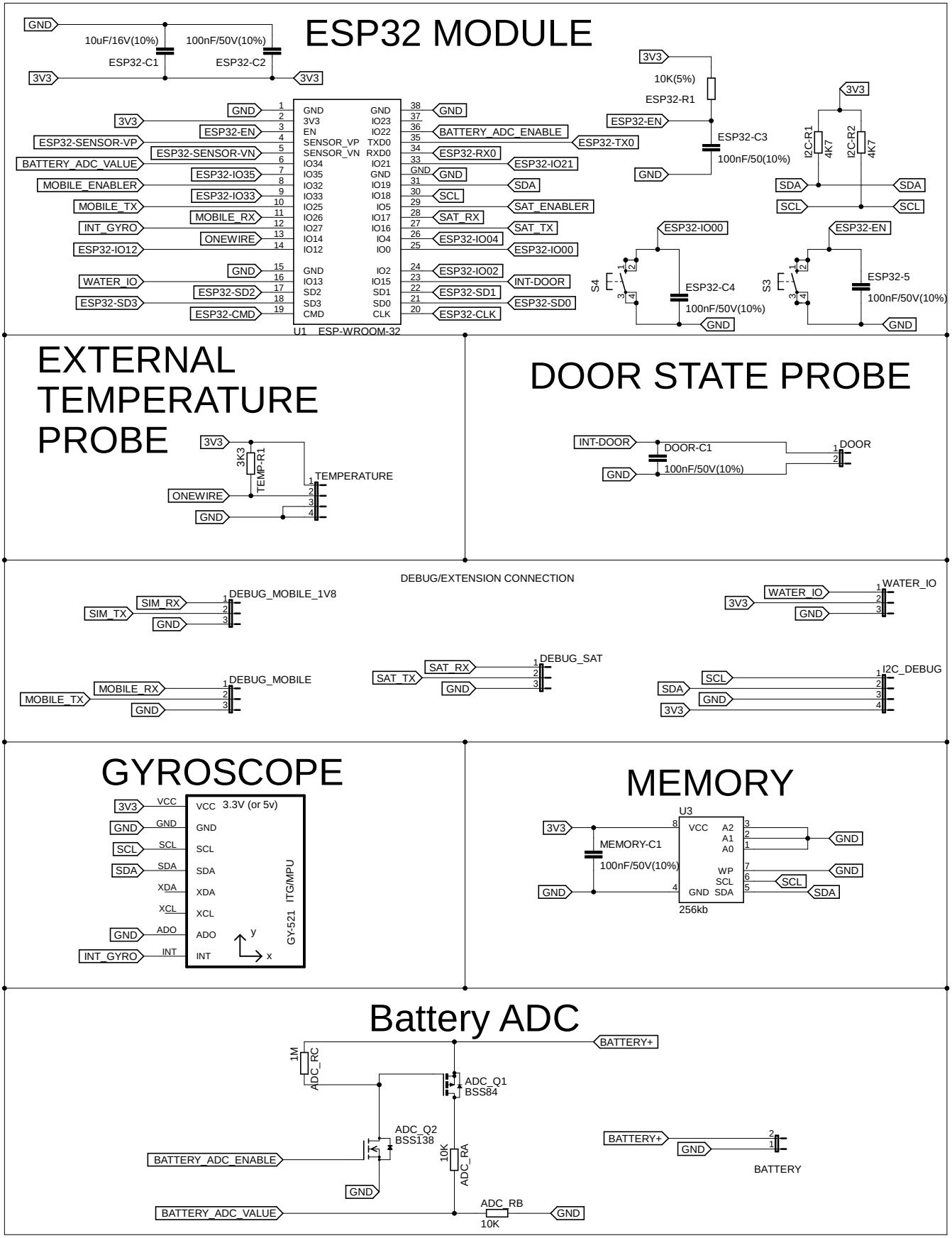
Tab. A.2: Seznam součástek pro konstrukci PCB monitorovací jednotky

Počet	Název	Popis
1	S1G40C	Koliková lišta
1	ESP32-WROOM-32E-N8	MCU
2	MMCX-P-P-H-ST-TH1	Konektor pro satelitní modul
1	CLP-110-02-L-D	Konektor pro satelitní modul
3	CR0805-JW-103ELF	Odpor 10 K
6	CR0805-FX-4701ELF	Odpor 4700 R
1	CR0805-FX-3301ELF	Odpor 3300 R
1	CR0805-FX-1003ELF	Odpor 100 K
1	CR0805-JW-510ELF	Odpor 51 R
3	CR0805-FX-22R0ELF	Odpor 22 R
4	TMK212BBJ106KG8T	Kondenzátor 10 uF
6	C0805C104K5RACLR	Kondenzátor 100 nF
3	VJ0805A220JXBMC	Kondenzátor 22 pF
1	47388-2001	Držák SIM karet
3	MMBT3904-G	Tranzistor MMBT3904
2	BCW66HR	Tranzistor BCW66H
1	SMF05C.TCT	ESD ochrana
1	24LC128-E/MS	Paměť EEPROM
2	SM0805GCL	Zelená LED
2	DTS62K	Mikrospínač
1	GY-521	Akcelorometr/Gyroskop MPU6050
1	SMA-Z DPS 50R	Velký konektor pro antény
3	SMA-Z DPS 50R 90 SH	Velký konekter pro antény
1	SIM7000	Mobilní modul
1	BSS84	Tranzistor
1	BSS138	Tranzistor BSS138
1	CR0805-FX-1004ELF	Odpor 1 M

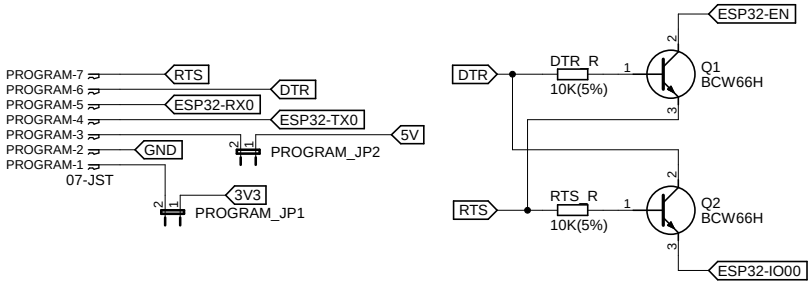
Tab. A.3: Seznam externích součástek

1	Iridium 9602 SBD	Satelitní modul
1	DHT22	Teploměr, vlhkoměr
6	US18650VTC5	Baterivý článek
1	USB TTL UART, CP2102	USB<->3,3V UART převodník/programátor
6	MP3-37	Flexibilní solární panel
1	LA131102	Detektor vody
1	W3227	Satelitní anténa
1	Aktivní GPS	GPS anténa
1	NBIOT/GSM SMA Male	NBIOT/GSM anténa

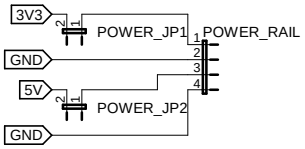

STEPDOWN DC/DC from 12V to 3V3
12V
TP5
DC-IN
TP6
12V
U2
VIN
ON/OFF
GND
OUT
FB
LM2596S
C3
330µ/50V
D7
RS1G
R3
10k
3V3
TP7
DC-OUT
TP8
L2
470µH
R4
470R
D2
SS34
C4
220µ/35V Low ESR
STEPDOWN DC/DC from 12V to 5V
TP9
TP10
U3
R5
5V
TP11
TP12
L3
R6
D4
C5
C6
STEPUP DC/DC from BATTERY to 12V
BATTERY+
TP13
L4
270µH
MT3608
U4
SS34
D6
100K
R8
TP15
TP14
C7
22uF
R7
2K2
C8
TP16
SOLAR CONNECTOR 6V/200mA
SOLAR+
SOLAR_6V
Battery connector
BATTERY
BATTERY+
BATTERY-
OUTPUT VOLTAGE LINE
3V3
5V
GND
RAIL_3V3_C1
RAIL_5V_C1
4700uF/16V
POWER_RAIL
Battery charger
SOLAR+
LED_RED1
3K
CHRG
R_LED3
GREEN_LED1
STBY
R_LED4
BATTERY_TEMP
IC2
TEMP
PROG
GND
VCC
CE
CHRG
STDBY
BAT
TP4056
R_PROG1
2K
DW01A
Lithium Protection
VCC
CS
OC
OD
TD
100nF
C11
R9
100R
R10
1K
DMN3024LSD
T2A
T2B
BATTERY_TEMP
BATTERY CONNECTOR
TP25
TP26
TP21
SOLAR-IN
C10
22uF
TP22
POWER OUTPUT
C12
TP27
TP28


ESP32 MODULE
GND
10uF/16V(10%)
100nF/50V(10%)
ESP32-C1
ESP32-C2
3V3
GND 1
3V3 2
ESP32-EN 3
ESP32-SENSOR-VP 4
ESP32-SENSOR-VN 5
BATTERY_ADC_VALUE 6
ESP32-IO35 7
MOBILE_ENABLER 8
ESP32-IO33 9
MOBILE_TX 10
MOBILE_RX 11
INT_GYRO 12
ONEWIRE 13
ESP32-IO12 14
GND 15
WATER_IO 16
ESP32-SD2 17
ESP32-SD3 18
ESP32-CMD 19
GND 38
IO23 37
BATTERY_ADC_ENABLE 36
ESP32-TX0 35
ESP32-RX0 34
ESP32-IO21 33
GND 31
SDA 30
SCL 29
SAT_ENABLER 28
SAT_RX 27
SAT_TX 26
ESP32-IO04 25
ESP32-IO00 24
INT-DOOR 23
ESP32-SD1 22
ESP32-SD0 21
ESP32-CLK 20
U1 ESP-WROOM-32
3V3
10K(5%)
ESP32-R1
ESP32-EN
ESP32-C3
100nF/50(10%)
GND
3V3
I2C-R1
4K7
I2C-R2
4K7
SDA
SCL
ESP32-IO00
S4
ESP32-C4
100nF/50V(10%)
GND
ESP32-EN
S3
ESP32-5
100nF/50V(10%)
GND
EXTERNAL TEMPERATURE PROBE
3V3
3K3
TEMP-R1
TEMPERATURE
ONEWIRE
GND
DOOR STATE PROBE
INT-DOOR
DOOR-C1
100nF/50V(10%)
GND
DOOR
DEBUG/EXTENSION CONNECTION
DEBUG_MOBILE_1V8
SIM_RX
SIM_TX
GND
WATER_IO
3V3
GND
DEBUG_MOBILE
MOBILE_RX
MOBILE_TX
GND
DEBUG_SAT
SAT_RX
SAT_TX
GND
I2C_DEBUG
SCL
SDA
GND
3V3
GYROSCOPE
3V3
GND
SCL
SDA
XDA
XCL
GND
INT_GYRO
VCC
GND
SCL
SDA
XDA
XCL
ADO
INT
3.3V (or 5v)
GY-521 ITG/MPU
y
x
MEMORY
U3
3V3
MEMORY-C1
100nF/50V(10%)
GND
VCC
GND
A2
A1
A0
WP
SCL
SDA
GND
SCL
SDA
256kb
Battery ADC
BATTERY+
1M
ADC_RC
ADC_Q1
BSS84
ADC_Q2
BSS138
BATTERY_ADC_ENABLE
GND
10K
ADC_RA
BATTERY_ADC_VALUE
ADC_RB
10K
GND
BATTERY+
GND
BATTERY

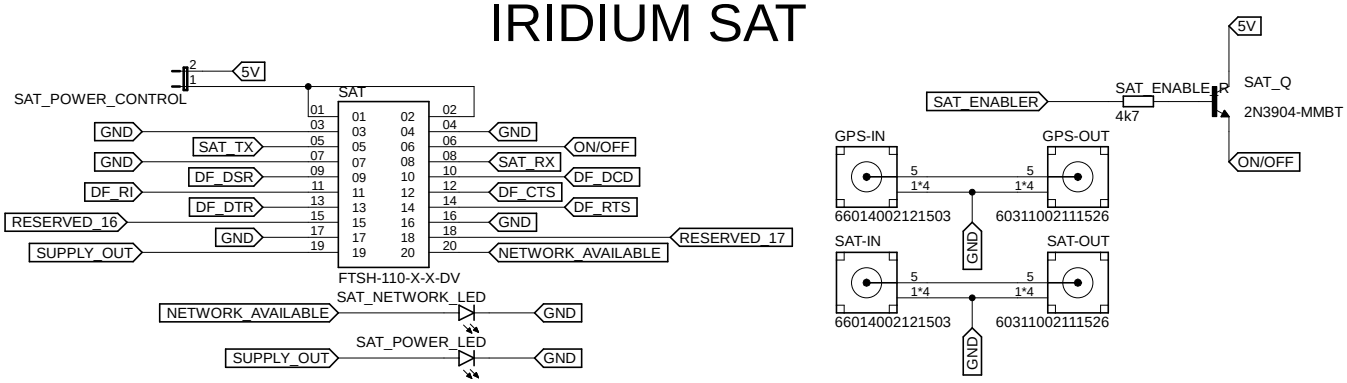
EXTERNAL PROGRAMMER



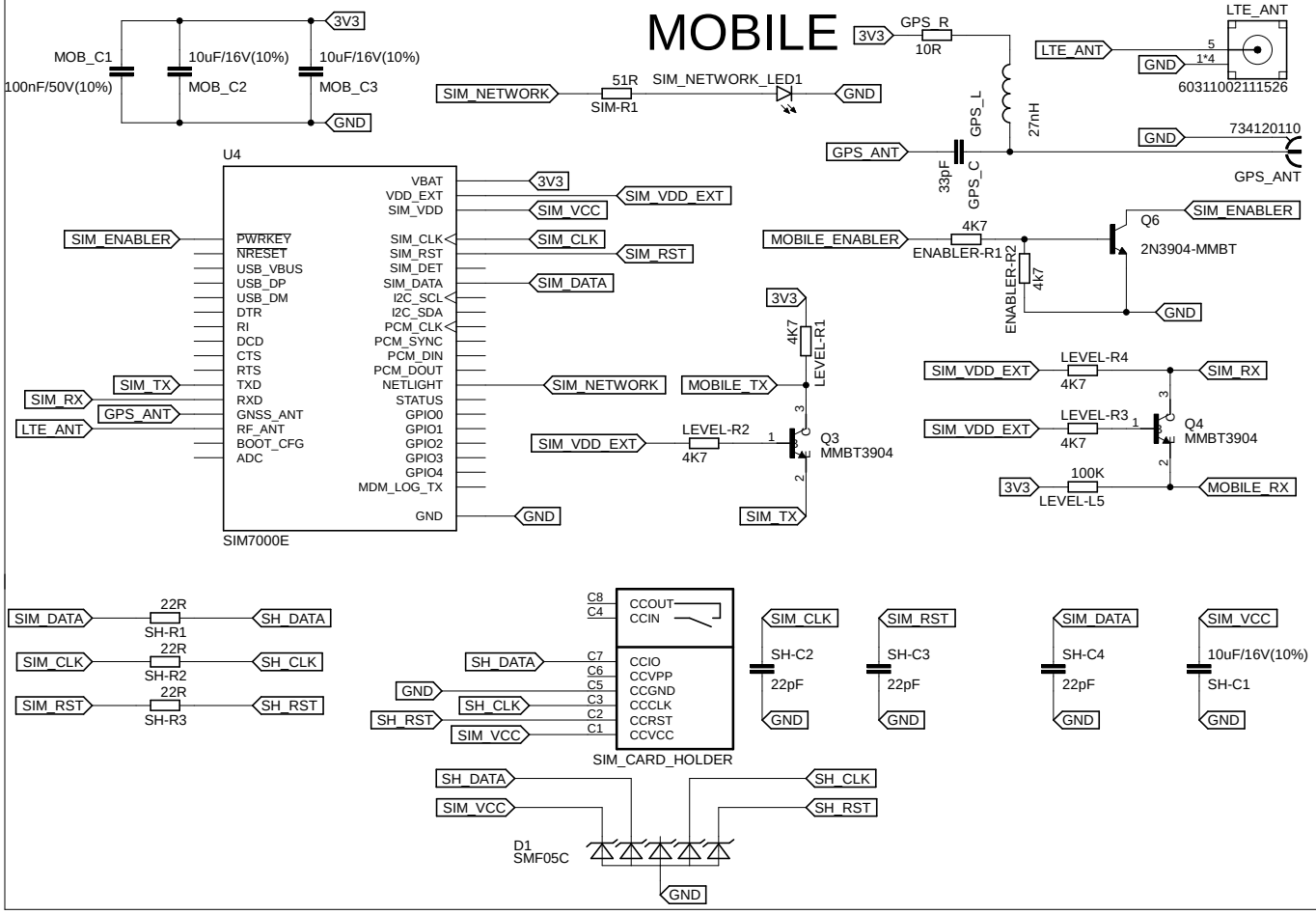
POWER RAILS



IRIDIUM SAT

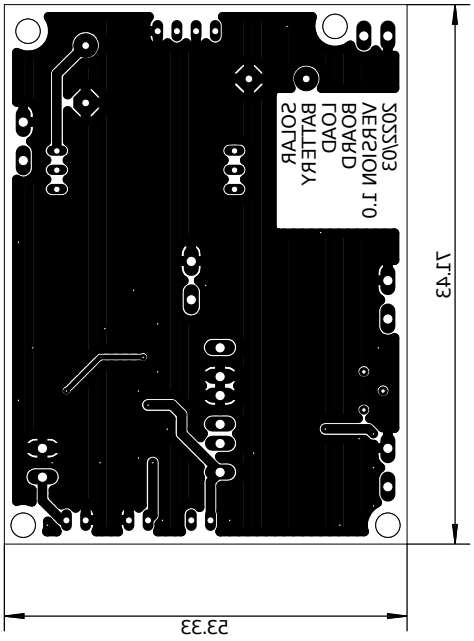


MOBILE

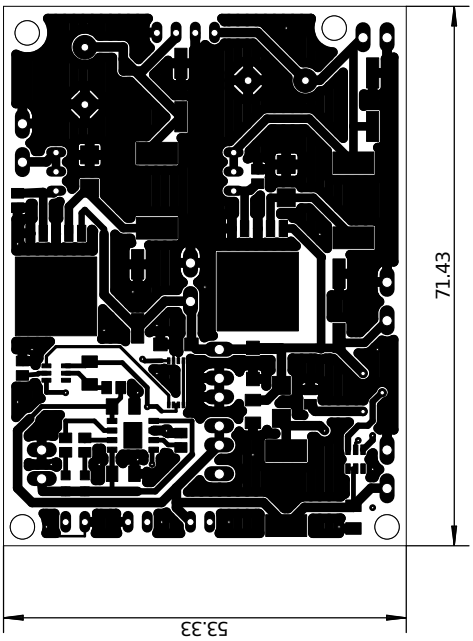


Napájecí deska

Vrstva BOTTOM

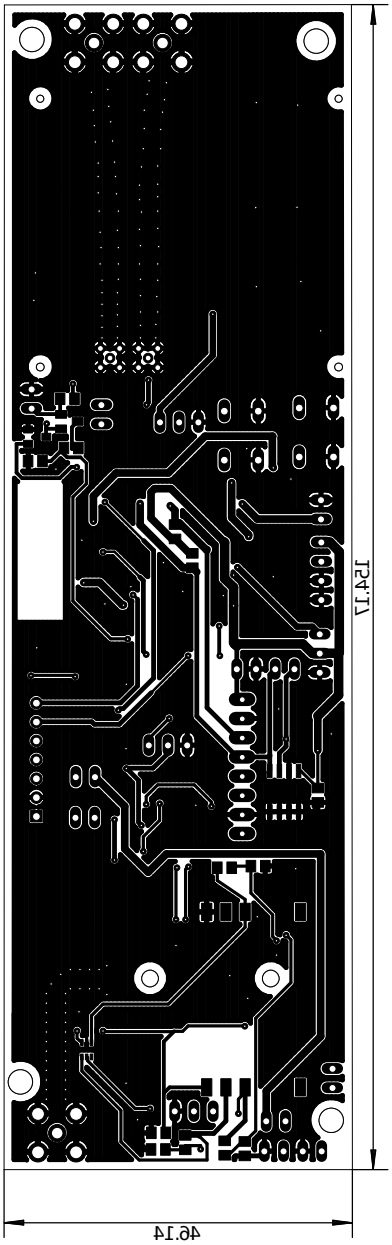


Vrstva TOP

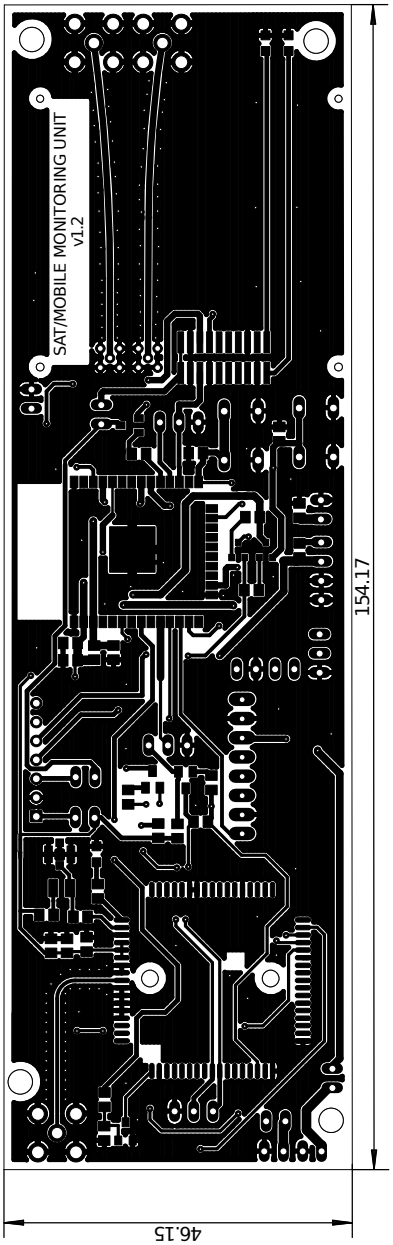


Hlavní deska

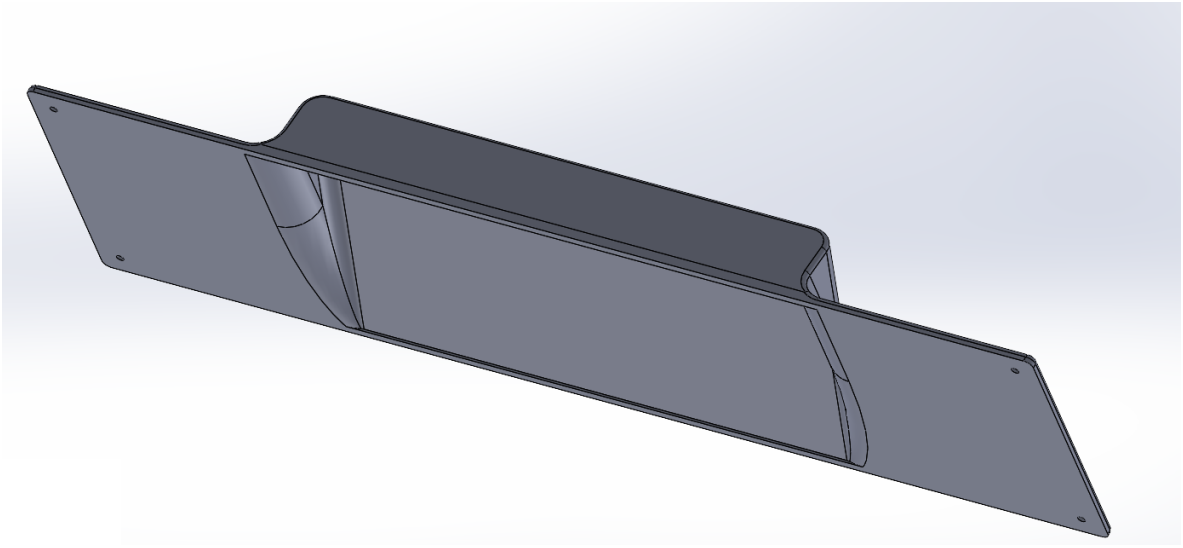
Vrstva BOTTOM



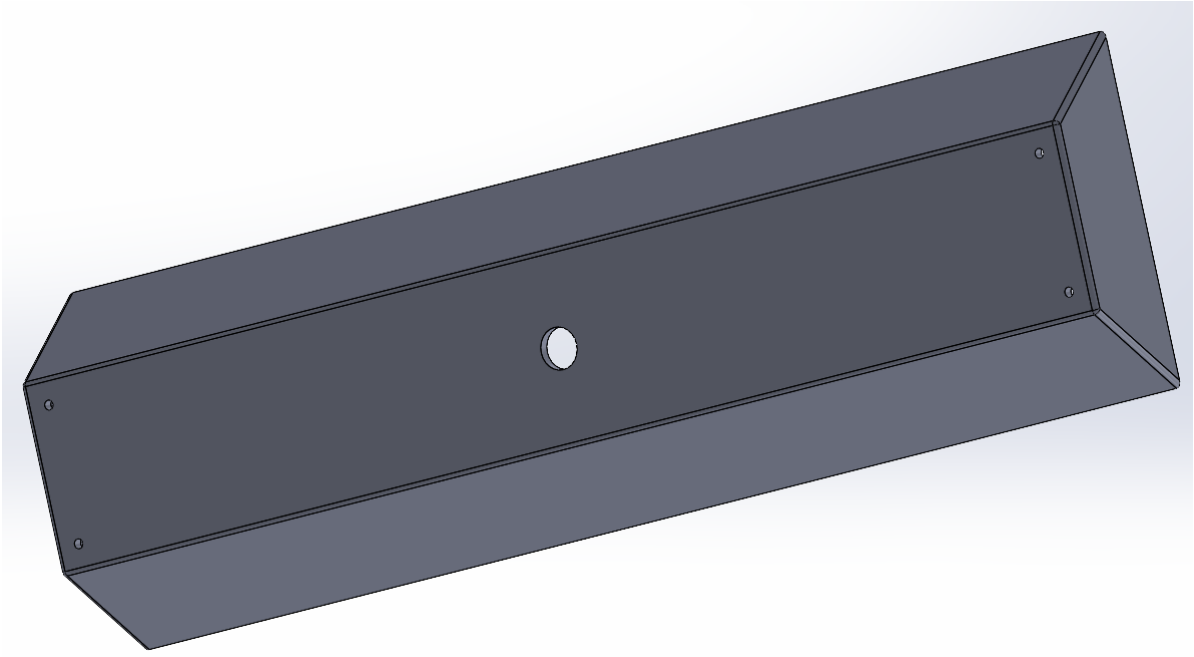
Vrstva TOP



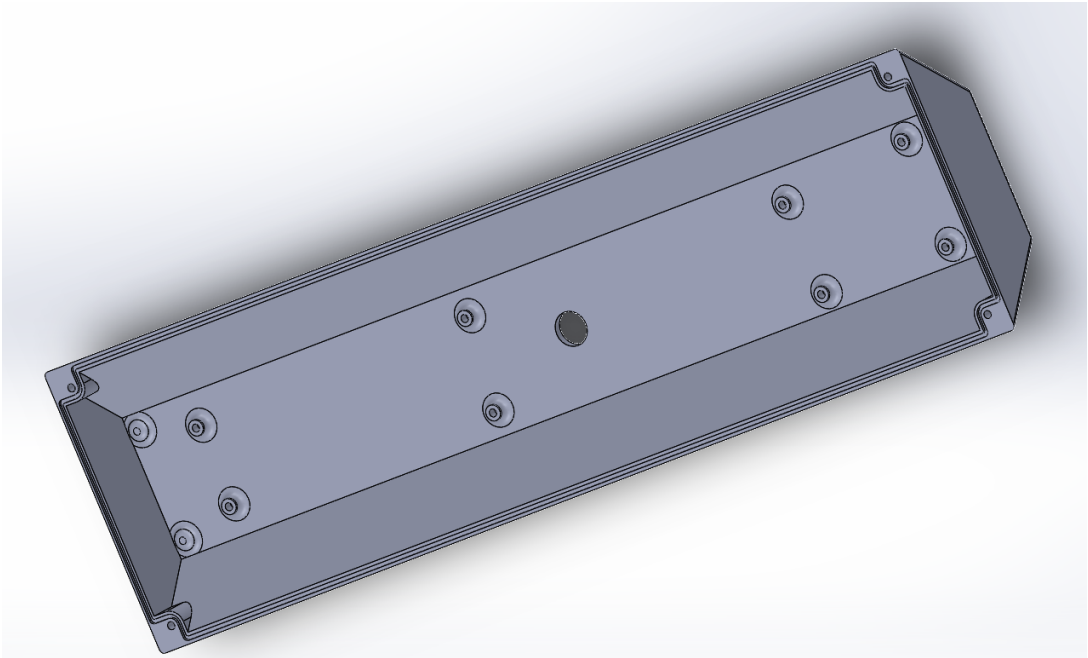
B Návrh boxu



Obr. B.1: 3D model horní části boxu



Obr. B.2: 3D model spodní části boxu

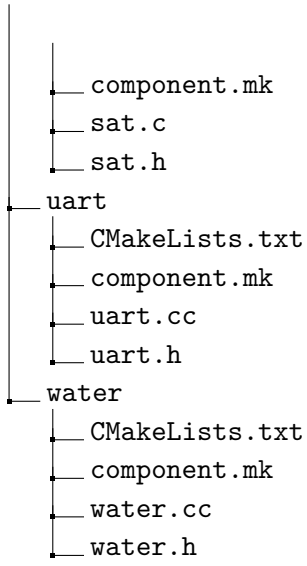


Obr. B.3: 3D model spodní části boxu

C Obsah elektronické přílohy

- `/` ..... kořenový adresář přiloženého archivu
  - `HW` ..... návrh schématu a desky
    - `main_board.brd`
    - `main_board.sch`
    - `power_board.brd`
    - `power_board.sch`
  - `BOX` ..... návrh modelu boxu
    - `box-bot.sldprt`
    - `box-bot-left.sldprt`
    - `box-bot-right.sldprt`
    - `box-top.sldprt`
    - `box-top-left.sldprt`
    - `box-top-right.sldprt`
  - `SW` ..... softwarové řešení
    - `main`
      - `CMakeLists.txt`
      - `component.mk`
      - `Kconfig.projbuild`
      - `main.c`
    - `CMakeLists.txt`
    - `Makefile`
    - `README.md`
    - `sdkconfig`
    - `sdkconfig.defaults`
    - `components`
      - `battery`
        - `battery.cc`
        - `battery.h`
        - `CMakeLists.txt`
        - `component.mk`
        - `fuse.h`
      - `common`
        - `CMakeLists.txt`
        - `common.c`
        - `common.h`
        - `component.mk`
        - `esp32_i2c_rw.c`
        - `esp32_i2c_rw.h`
        - `i2c_common.h`
      - `dht22`
        - `CMakeLists.txt`
        - `component.mk`
        - `dht22.c`
        - `dht22.h`

```
    |
    |__ dht22_record.h
|__ door
    |__ CMakeLists.txt
    |__ component.mk
    |__ door.c
    |__ door.h
|__ gyroscope
    |__ CMakeLists.txt
    |__ component.mk
    |__ gyroscope.c
    |__ gyroscope.h
    |__ mpu6050.c
    |__ mpu6050.h
    |__ mpu6050_register.h
|__ memory
    |__ CMakeLists.txt
    |__ component.mk
|__ message_creator
    |__ CMakeLists.txt
    |__ component.mk
    |__ message_creator.cc
    |__ message_creator.h .4 mobile
    |__ CMakeLists.txt
    |__ component.mk
    |__ mobile.cc
    |__ mobile.h
    |__ mobile_operator.h
    |__ pdulib.cpp
    |__ pdulib.h
|__ nvs_storage
    |__ CMakeLists.txt
    |__ component.mk
    |__ nvs_storage.cc
    |__ nvs_storage.h
|__ power_management
    |__ CMakeLists.txt
    |__ component.mk
    |__ power_management.cc
    |__ power_management.h
|__ sanity_led
    |__ CMakeLists.txt
    |__ component.mk
    |__ sanity_led.c
    |__ sanity_led.h
|__ sat
    |__ CMakeLists.txt
```


component.mk
sat.c
sat.h
uart
CMakeLists.txt
component.mk
uart.cc
uart.h
water
CMakeLists.txt
component.mk
water.cc
water.h