



Zařízení pro střežení jízdního kola

Diplomová práce

Studijní program:

N2612 Elektrotechnika a informatika

Studijní obor:

Informační technologie

Autor práce:

Bc. Vojtěch Hájek

Vedoucí práce:

Mgr. Kamil Nešetřil, Ph.D.

Ústav mechatroniky a technické informatiky



Bicycle anti-theft tracker

Diploma thesis

Study programme:

N2612 Electrical Engineering and Informatics

Study branch:

Information Technology

Author:

Bc. Vojtěch Hájek

Supervisor:

Mgr. Kamil Nešetřil, Ph.D.

Institute of Mechatronics and Technical Informatics





Zadání diplomové práce

Zařízení pro střežení jízdního kola

Jméno a příjmení: **Bc. Vojtěch Hájek**
Osobní číslo: M18000139
Studijní program: N2612 Elektrotechnika a informatika
Studijní obor: Informační technologie
Zadávající katedra: Ústav mechatroniky a technické informatiky
Akademický rok: **2020/2021**

Zásady pro vypracování:

1. Vytvořte nízkopříkonový systém pro střežení jízdního kola, který indikuje pohyb kola při krádeži a následně monitoruje geografickou polohu.
2. Umožněte spárování mobilního telefonu se systémem prostřednictvím Bluetooth pro identifikaci majitele.
3. V případě krádeže zobrazujte získanou polohu pro nalezení jízdního kola.
4. Využijte modul SIM řady 800 a standardy Bluetooth, GSM/GPRS a GPS

Rozsah grafických prací: dle potřeby dokumentace
Rozsah pracovní zprávy: 40–50
Forma zpracování práce: tištěná/elektronická
Jazyk práce: Čeština



Seznam odborné literatury:

- [1] IBRAHIM, Dogan a Ahmed IBRAHIM. Microcontroller based GM/GPRS projects: advances microcontrollerprojects. Saarbrücken: VDM Verlag Dr. Müller, 2010. ISBN 3639249100.
- [2] IVKOVIĆ, Jovan a Jelena Lužija IVKOVIĆ, 2017. Analysis of the performance of the new generation of 32-bitmicrocontrollers for IoT and big data application. In: ICIST 2017 – 7th International Conference on Information Society and Techology, s. 330-336.
- [3] SIMCOM.EE. Veski 6, Sillamäe: micel.ee, 2019. Dostupné z: <https://simcom.ee>

Vedoucí práce: Mgr. Kamil Nešetřil, Ph.D.
Ústav mechatroniky a technické informatiky

Datum zadání práce: 9. října 2020
Předpokládaný termín odevzdání: 17. května 2021

prof. Ing. Zdeněk Plíva, Ph.D.
děkan

L.S.

doc. Ing. Milan Kolář, CSc.
vedoucí ústavu

Prohlášení

Prohlašuji, že svou diplomovou práci jsem vypracoval samostatně jako původní dílo s použitím uvedené literatury a na základě konzultací s vedoucím mé diplomové práce a konzultantem.

Jsem si vědom toho, že na mou diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., o právu autorském, zejména § 60 – školní dílo.

Beru na vědomí, že Technická univerzita v Liberci nezasahuje do mých autorských práv užitím mé diplomové práce pro vnitřní potřebu Technické univerzity v Liberci.

Užiji-li diplomovou práci nebo poskytnu-li licenci k jejímu využití, jsem si vědom povinnosti informovat o této skutečnosti Technickou univerzitu v Liberci; v tomto případě má Technická univerzita v Liberci právo ode mne požadovat úhradu nákladů, které vynaložila na vytvoření díla, až do jejich skutečné výše.

Současně čestně prohlašuji, že text elektronické podoby práce vložený do IS/STAG se shoduje s textem tištěné podoby práce.

Beru na vědomí, že má diplomová práce bude zveřejněna Technickou univerzitou v Liberci v souladu s § 47b zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů.

Jsem si vědom následků, které podle zákona o vysokých školách mohou vyplývat z porušení tohoto prohlášení.

31. prosince 2020

Bc. Vojtěch Hájek

Abstrakt

Cílem této práce je vytvořit bezpečnostní zařízení, které umožní nalezení ukradeného jízdního kola. Zařízení může být umístěno v konstrukci kola a využívat standardy GSM, GPS a Bluetooth využitím modulu SIM868. Zabezpečovací systém by měl být nízkopříkonový, uživatelsky nenáročný s nízkými výrobními a provozními náklady. V řešení bylo použito otřesového čidla pro detekci pohybu a standardu Bluetooth pro identifikaci pohybu vyvolaného majitelem. Práce řeší možnost posílání souřadnic GPS prostřednictvím mobilních dat a zpráv SMS na webový server, kde jsou údaje o lokaci jízdního kola znázorněny na mapě. V řešení je probírána spotřeba energie zařízení a možnosti prodloužení výdrže baterie. Vytvořený systém umožňuje zaznamenávat svou polohu bez potřeby zásahu uživatele po deseti sekundách od krádeže. Zařízení napájené baterií Li-Ion vydrží až 23 dní v úsporném režimu a až 18 dní v režimu sledování. Výsledkem této práce je cenově dostupné zařízení, umožňující majiteli hlídat své jízdní kolo bez potřeby ovládání bezpečnostního systému.

Klíčová slova:

Zabezpečení jízdního kola, SIM868, GSM, GPS, Bluetooth, nízkopříkonové zařízení, Li-Ion, Atmega328P, AVR, SMS, SMS brána, MySQL, Leaflet



Abstract

The aim of this work is to create a security device that will allow to find a stolen bicycle. The device should be placed inside the bicycle structure and use SIM868 module with GSM, GPS and Bluetooth standards. The security system should be low-power and user-friendly with low production and operating cost. The solution uses a vibration sensor for motion detection and a Bluetooth standard to identify the source of caused movement. The work solves the possibility of sending GPS coordinates via mobile data and SMS messages to a web server, where those coordinates of the bicycle are shown on the map. The solution discusses the power consumption of the device and the possibility of extending battery life. The system allows to record bicycle's location after ten seconds of theft without any need for user intervention. The device powered by a Li-Ion battery lasts up to 23 days in power saving mode and up to 18 days in monitoring mode. The result of this work is an affordable device that allows the owner to guard his bicycle without the need to control the security system.

Key words:

Bicycle security, SIM868, GSM, GPS, Bluetooth, low-power device, Li-Ion, Atmega328P, AVR, SMS, SMS Gateway, MySQL, Leaflet



Obsah

Seznam obrázků.....	10
Seznam zdrojových kódů.....	10
Seznam zkratk.....	11
1 Úvod.....	12
1.1 Existující zařízení.....	12
1.2 Návrh systému.....	13
1.3 Požadavky na systém.....	14
2 Využitelné komponenty systému.....	16
2.1 Modul SIM.....	16
2.1.1 Vývojové přípravy.....	17
2.2 Mikrokontroler.....	17
2.3 Baterie.....	19
2.3.1 Nikl-metal hydridový akumulátor.....	19
2.3.2 Lithium-iontový akumulátor.....	19
2.3.3 Lithium-polymerový akumulátor.....	20
2.4 SMS brána.....	20
3 Bezdrátové signály.....	21
3.1 GSM.....	21
3.2 GNSS.....	21
3.3 Bluetooth.....	22
4 Analýza problému.....	23
5 Řešení.....	24
5.1 Výběr řídicích jednotek.....	26
5.1.1 Mikrokontroler.....	26
5.1.2 Modul SIM.....	27
5.2 Posílání dat.....	27
5.3 Výběr operátora.....	28
5.4 Návrh zapojení.....	29
5.4.1 Ochrana baterie.....	30
5.4.2 Nabíjecí obvod.....	31
5.4.3 Pohybové čidlo.....	32
5.4.4 Propojení řídicích jednotek.....	34
5.4.5 I/O periferie.....	34
5.4.6 Připojení SIM karty.....	35



5.5	Návrh desky	36
5.5.1	Výrobní technologie	37
5.5.2	Propojení prvků desky	37
5.5.3	Rozmístění součástek.....	38
5.6	Výroba a osazení DPS.....	39
5.7	Konfigurace mikrokontroleru.....	41
5.8	Program mikrokontroleru.....	43
5.9	Paměťová optimalizace programu	43
5.10	SMS brána.....	44
5.10.1	Program pro Arduino	44
5.10.2	Program pro PC	45
5.11	Webová aplikace	47
5.12	Krabička pro zařízení	51
5.12.1	Návrh krabičky	52
5.12.2	Výroba krabičky	53
6	Testování.....	54
6.1	Test obvodů.....	54
6.2	Test antén	54
6.3	Testování zasílání dat	55
6.4	Testování baterie	55
7	Výsledné zařízení.....	57
8	Plánované rozšíření.....	59
9	Shrnutí práce	60
	Použitá literatura	61
	Příloha na CD.....	65

Seznam obrázků

Obrázek 1: Schéma systému	14
Obrázek 2: Blokové schéma zařízení.....	25
Obrázek 3: Schéma ochrany baterie	30
Obrázek 4: Schéma pro nabíjení baterie	31
Obrázek 5: Schéma pohybového čidla.....	33
Obrázek 6: Schéma komunikace řídicích prvků	34
Obrázek 7: Schéma I/O periférií	35
Obrázek 8: Schéma připojení SIM karty	36
Obrázek 9: Vrstvy DPS.....	38
Obrázek 10: Vygenerovaná DPS	40
Obrázek 11: Zapojení MCU pro vypálení zavaděče.....	42
Obrázek 12: Nahrávání programu do MCU	42
Obrázek 13: Aplikace SMS brány	46
Obrázek 14: Úvodní stránka webu.....	48
Obrázek 15: Stránka se seznamem souřadnic GPS	49
Obrázek 16: Stránka sledování webu.....	50
Obrázek 17: Návrh krabičky pro 3D tisk.....	52
Obrázek 18: Výsledné zařízení	57

Seznam zdrojových kódů

Zdrojový kód 1: Ukázka ukládání dat do paměti programu	43
Zdrojový kód 2: Získání informace o nové zprávě.....	44
Zdrojový kód 3: Přeposílání nepřečtené zprávy do PC	45
Zdrojový kód 4: Otevření sériové komunikace na PC.....	46
Zdrojový kód 5: Získání zprávy SMS z brány GSM	47
Zdrojový kód 6: Připojení k databázi a uložení záznamu.....	51

Seznam zkratek

- DPS — Deska plošných spojů
- GNSS — Global Navigation Satellite System
- GPIO — General-purpose input/output
- GPS — Global positioning system
- GSM — Groupe Spécial Mobile
- HTTP — Hypertext Transfer Protocol
- LED — Light-Emitting Diode
- MCU — Mikrokontroler
- SIM — Subscriber identity module
- SMD — Surface mount device
- SMS — Short message service
- THT — Through-hole technology
- UART — Universal asynchronous receiver-transmitter
- USB — Universal Serial Bus
- WDT — Watch Dog Timer

1 Úvod

Z policejních statistik kriminality [1] vyplývá, že za rok 2019 bylo odcizeno 5 106 jízdních kol v hodnotě 108 405 000 Kč a k listopadu roku 2020 jich bylo odcizeno 5 054 v hodnotě 127 872 000 Kč. Cílem zlodějů jsou především dražší kola, avšak nezabezpečená kola na volném prostranství jsou kradena bez ohledu na jejich kvalitu a cenu. Z tohoto důvodu majitel jízdního kola často investuje další peníze do zařízení, které umožňuje kolo uchránit. Může to být například zámek s řetězem nebo rámový zámek, dále je možné si kolo označit identifikačním číslem pomocí takzvaného „neviditelného fixu“ nebo je možno použít GPS (Global positioning system) lokátor, který majitel uplatní po odcizení kola, jelikož zařízení informuje o své aktuální pozici. Cílem práce je vytvořit zařízení, které majitel vloží do svého kola a v případě jeho krádeže, umožní odcizené kolo najít.

1.1 Existující zařízení

Zařízení pro střežení kola se dají rozdělit do tří skupin dle jejich funkčnosti. Do nejlevnější a nejzákladnější kategorie spadají systémy určené k ochranně a nalezení jízdního kola, popřípadě jakýchkoli předmětů. Zařízení využívají pouze standardu Bluetooth, jehož prostřednictvím si uživatel propojí zařízení se svým mobilním telefonem. Pokud uživatel nemůže nalézt svou věc, ke které je toto zařízení připevněno, spustí uživatel prostřednictvím mobilní aplikace zvukový signál. V případě odcizení věci se zařízení vzdaluje od mobilního telefonu uživatele a spustí se stejný zvukový signál pro upozornění na krádež. Mezi takto pracující produkty se řadí Smart Mini GPS Tracker od firmy Chodosimee [2] a Mini Tracker Locator od firmy CarPrie [3]. Některé zařízení mohou navíc disponovat pohybovým senzorem, který při detekci pohybu zkontroluje, zda je uživatel poblíž a pokud ne, zašle notifikaci na mobilní telefon. Takový produkt vyrábí firma FIXED s názvem Smile Motion [4].

Dalším typem zařízení jsou GPS lokátory, který využívají standardu GSM (Groupe Spécial Mobile) a pro jejich funkčnost je zapotřebí SIM karty, popřípadě využívají bezdrátových sítí jako je Sigfox, LoRaWAN nebo NB-IoT. Tato zařízení pouze čekají na příchozí zprávu SMS a posléze odpovídají svou geografickou polohou na telefonní číslo z příchozí zprávy. Mezi tyto zařízení se řadí lokátory GPS, prodávané čínskou firmou TedGem, jako je GF-07 [5], Remora2 a Oyster2 od firmy Digital Matter [6]. Některá zařízení mohou mít navíc mobilní aplikaci, která usnadňuje uživateli ovládání.

Zařízení stále komunikuje prostřednictvím SMS nebo mobilních dat. Jedním z takových zařízení je zařízení TK102B [7]. Zařízení může být také maskováno jako odrazka, světlo, či držák na pití. Takovýmto zařízením je například GPS lokátor TK906 od firmy ChangSha MUXAN Technology [8] nebo Helmer LK 514 od firmy Helmer [9]. Tato zařízení jsou pro uživatele lehká ovladatelná s až několikaměsíční výdrží baterie. Avšak majitel může krádež kola registrovat příliš pozdě a snížit tak šanci na nalezení kola.

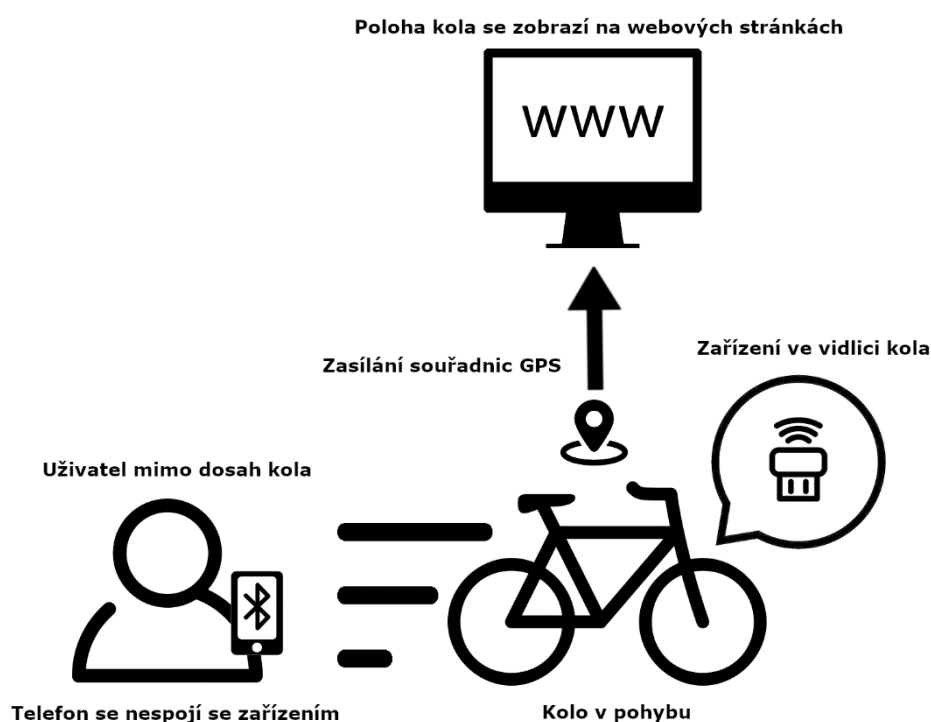
Další možností je využít dražších bezpečnostních systémů vybavených pohybovým čidlem, které je schopné po uzamčení kola zaznamenat neoprávněnou manipulaci s jízdním kolem. Tato zařízení jsou po dobu jízdy neaktivní a v případě, že uživatel chce od kola odejít, musí tento systém aktivovat prostřednictvím zprávy SMS nebo mobilní aplikace. Cena takového zabezpečovacího systému je několik tisíc korun a poté se platí roční poplatek, aby služba byla déle aktivní. Mezi tyto produkty se řadí například výrobek SEE.SENSE AIR od firmy SEE.SENSE [10] Invoxia GPS Tracker od firmy Invoxia [11] či Trackito Bike od firmy Trackito Technology [12], jehož funkčnost je podobná zařízením vytvářeným v rámci této práce.

Pro ochranu jízdního kola za nepřítomnosti majitele je nutné Trackito Bike „uzamknout“. Poté, pokud dojde k pohybu je zapnuta indikace krádeže a poslána notifikace na mobilní telefon uživatele. Zároveň začne zařízení zasílat svou polohu, kterou uživatel vidí v mobilní aplikaci. Pokud je zařízení „odemknuté“, vyvolaný pohyb je ignorován. Systém vždy v pravidelných intervalech zasílá svou polohu uživateli prostřednictvím mobilních dat. Zařízení nahrazuje šroub do představce s průměrem 23 mm a délkou 156 mm. Výdrž baterie je až 6 měsíců, avšak je ovlivňována četností pohybu kola.

1.2 Návrh systému

Ačkoli systému pro hlídání jízdního kola je mnoho, komplexnější systémy jsou drahé a pro levnější kola mohou být tedy nevýhodné. Cílem práce je vytvořit systém o nízkých nákladech na výrobu, nízkou cenou na provoz a se snadnou ovladatelností. Aby nebylo nutné systém ovládat při využívání kola je zapotřebí automatického ověření přítomnosti majitele. Pro detekci krádeže je nutné použít otřesové čidlo indikující pohyb jízdního kola, avšak pohyb může zapříčinit i majitel, který na kole jede, či s kolem jinak manipuluje. Z tohoto důvodu systém musí rozpoznat, kým byl pohyb vyvolán.

Přítomnost majitele lze zjišťovat využitím standardu Bluetooth, jehož prostřednictvím si majitel spáruje své mobilní zařízení se systémem. Poté v případě detekce pohybu se bezpečnostní systém pokusí spojit se zařízením vlastníka. Pokud se spojení naváže je majitel poblíž svého kola, a tedy pohyb je vyhodnocen jako manipulace majitelem. V opačném případě se pohyb vyhodnotí jako neautorizovaný a zařízení zahájí posílání svých souřadnic na webový server, kde se majiteli jízdního kola zobrazí na mapě. Zasílat souřadnice na server je možné prostřednictvím zpráv SMS (Short message service) nebo mobilních dat v závislosti na požadavku uživatele. Hlavní princip funkčnosti systému je znázorněn na obrázku 1.



Obrázek 1: Schéma systému

1.3 Požadavky na systém

Je zapotřebí aby baterie byla schopna napájet zařízení dostatečně dlouho pro nalezení jízdního kola. Jelikož kolo nemusí být odcizeno s plně nabitou baterií je nutné hlídat stav baterie a upozornění majitele, aby baterii nabil. Tato hranice stavu baterie je odvozena od její celkové kapacity a doby, po kterou má zařízení fungovat po odcizení kola. Jako dostatečnou dobu výdrže baterie lze považovat alespoň měsíc při nepoužívání jízdního kola. V případě odcizení kola lze uvažovat o týdnu pro jeho opětovné nalezení. Aby zařízení vydrželo na baterii týden, postačí pouze část celkové kapacity a pod tuto hranici se baterie nesmí vybít.

Pro ovládání systému uživatelem je vhodné využít zprávy SMS. Je zapotřebí uživateli umožnit nastavení telefonního čísla pro zaslání upozornění, zapínání a vypínání dodatečných funkcí, mezi které se řadí zaslání aktuálních souřadnic GPS, požadavek o párování s mobilním telefonem apod. Je vhodné, aby tyto funkce nebyly zapotřebí pro hlavní funkčnost zařízení.

Ze signálu GPS lze určit polohu kola s přesností na jednotky metrů. Je vhodné umožnit majiteli dohledat jízdní kolo, pokud není přímo viditelné. K tomuto účelu lze využít sirénu, kterou majitel může zapnout zavoláním na telefonní číslo zařízení.

Pro dosažení nízké ceny výroby je zapotřebí optimalizovat návrh zařízení. Jedná se především o použité součástky, baterii, rozměry a výrobce DPS (desky plošných spojů). Provozní náklady závisí na operátorovi, od kterého uživatel použije SIM kartu (Subscriber identity module) a výhodný tarif pro využití zařízení.

2 Využitelné komponenty systému

2.1 Modul SIM

Pro použití bezdrátových technologií v zařízení je zapotřebí modulu, který podporuje potřebné standardy. Jelikož v rámci práce jsou zapotřebí standardy GSM, GPS a Bluetooth je vhodné použít modul disponující všemi technologiemi. Jedním z takovýchto modulů je například MC60 od firmy Quectel [13], či modul SIM vyráběn firmou SIMCom [14], která je součástí SIM Technology Group Ltd. Firma SIMCom poskytuje zařízení pro bezdrátovou komunikaci. Jedná se o SMD (Surface mount device) čipy, které umožňují připojení k mobilním sítím všech generací. V závislosti na typu je modul SIM schopen poskytovat služby jako je GPS, Bluetooth, mikrofon a další.

Tento čip lze programovat pouze prostřednictvím příkazů AT, což jsou textové řetězce začínající vždy „AT+“. Tyto příkazy určují, instrukci k vykonání, jako je zapnutí antén, získání informací GPS, poslání zprávy SMS apod. Textové řetězce získává modul prostřednictvím sériové sběrnice UART (Universal asynchronous receiver-transmitter), a po vykonání operace zašle odpověď nebo chybovou hlášku v případě selhání daného příkazu.

Moduly lze tedy rozdělit podle poskytovaných periférií, podle rychlosti komunikace na sériové sběrnici UART a také podle velikosti samotného čipu. Všechny moduly pracují na napětí 3,7 V, což je ideální pro bateriový provoz.

Série modulů SIM se dají rozdělit dle standardů, kterými disponují. Všechny moduly SIM disponují GPIO (General-purpose input/output) piny, sériovým rozhraním, režimy spánku atd. Liší se hlavně ve standardech a technologiích, které jednotlivé série podporují. Moduly SIM800x a SIM900 umožňují připojení k síti 2G a využívají standard Bluetooth. Moduly SIM808 a SIM868 navíc umožňují využití GNSS (Global Navigation Satellite System). Pouze službou GNSS disponují moduly SIM28, SMI33 a SIM68, které nemají možnost připojení antény Bluetooth a GSM. Firma nabízí také moduly SIM7100, SIM7500 a Sim7600 využívající technologii LTE.

2.1.1 Vývojové přípravky

Na trhu jsou k dispozici přípravky, které jsou určeny pro otestování konkrétních čipů SIM. Na desce jsou piny, na nich jsou vyvedeny periferie modulu, jako je mikrofon, sérová sběrnice, jednotlivé antény a podobně. Také jsou na tyto piny vyvedeny ovládací signály, jejichž pomocí lze nastavit modul do konkrétních módů, popřípadě získat signály pro přerušení mikroprocesoru. Tyto desky mohou obsahovat různé typy modulu SIM a vývojář si tedy může vyzkoušet všechny potřebné funkce pro svou aplikaci a zjistit tak, zda je daný modul použitelný.

Vývojové přípravky umožňují ladit program potřebný pro funkčnost žádaného zařízení, ale jelikož jejich součástí je stabilizátor vstupního napětí, několik LED (Light-Emitting Diode) pro indikaci stavu modulu apod., nelze z přípravků určit celkovou spotřebu, která by odpovídala výslednému zařízení, proto určení doby výdrže zařízení na baterii lze jen odhadnout z produktového listu.

2.2 Mikrokontroler

Jelikož moduly SIM lze ovládat pouze pomocí AT příkazů, je zapotřebí tyto příkazy generovat a zároveň ovládat zařízení. Z tohoto důvodu je nutné použít mikrokontroler, kterých je k dispozici nepřeberné množství. Výběr vhodného mikrokontroleru popisuje článek *An Overview of Microcontroller Unit: From Proper Selection to Specific Application* [15].

Mikrokontrolery (dále MCU) lze dělit dle jejich architektury na několik rodin. Jedná se například o rodinu 8051 vyvinutou firmou Intel, jejímž členem je 8bitový MCU 8051 se 40 piny, 4 kB ROM a 128 B paměti RAM. Dále čip obsahuje 12 MHz integrovaný oscilátor, dva 16bitové časovače a pět zdrojů přerušení (sériový port, dva časovače, dva zdroje externího přerušení). Dalším členem této rodiny je MCU 8052, který má navíc třetí časovač a dvojnásobnou velikost paměti RAM. Do této rodiny spadají další MCU, například série AT89 od firmy Atmel, které jsou vyráběny v mnoha verzích lišících se typy a velikostí paměti programu a paměti RAM.

Další návrh MCU je Peripheral Interface Controller (PIC) od firmy Microchip Technology. Dělí se na několik rodin, lišících se šířkou sběrnice, počtem instrukcí apod. MCU se vyrábí ve dvou verzích: C s pamětí EPROM a F s pamětí flash. Jednou z rodin je například 12/14bitová 12Cxxx s 1 kB pamětí programu, 64 B pamětí RAM a 128 B pamětí EEPROM a 20 MHz oscilátorem. Další rodinou je 16CFxx se 14bitovou šířkou

operace a s 35 instrukcemi. Jedním z často používaným MCU této rodiny je například PIC16877A s 358 B paměti SRAM, 256 byty paměti EEPROM a 20 MHz oscilátorem. PIC32 je rodiny 32bitových MCU, které disponují vyšším DMIPS/MHz (Million Instructions Per Second na MHz) než ostatní rodiny, interním oscilátorem s 80 MHz, 256 B cache a flash pre-fetch modulem, prioritami přerušeni atd.

Rodina mikrokontrolerů AVR od firmy Atmel (nyní vlastněno firmou Microchip Technology) využívá 8bitovou sběrnici a flash paměť pro ukládání programu. Dá se rozdělit na podskupiny, jako je například tinyAVR s až 32 kB paměti programu, 6 až 40 vývody a omezenými periferiemi. Druhou skupinou jsou MCU megaAVR (ATmega) s až 256 kB paměti programu, rozšířenou instrukční sadou a až 100 piny. Všechny MCU mají zabudovanou až 4 kB paměť EEPROM a paměť SRAM o velikosti až 16 kB pro ukládání proměnných, rozhraní USART, SPI, WDT (Watch Dog Timer), vnitřním oscilátorem s frekvencí 8 až 20 MHz atd. V roce 2006 vyvinul Atmel 32bitový MCU, který je postaven na architektuře ARM.

Mikroprocesory rodiny ARM jsou navrženy firmou Arm Holdings, jež tyto čipy pouze navrhuje a předává licenci dalším společnostem, které na jejich základě navrhují své mikrokontrolery. Jedná se o 32bitovou architekturu se 44 základními instrukcemi. Mikroprocesory rodiny STM32 jsou rozšířené a vyrábějí se v sériích F0, L0, G0 atd. Těchto sérií je 14 a nemá smysl zde rozepisovat všechny. Následující parametry jsou vybrány napříč všemi sériemi, které poskytují paměť SRAM od 4 do 96 kB, kde výkonnější MCU mohou mít až 640 kB. Paměť flash do 2048 kB, oscilátor s frekvencí 8 až 64 MHz.

Zařízení pro střežení kola musí být nízkoenergetické, tudíž je důležité využívat režimy spánku. Výsledné zařízení není náročné na výpočetní výkon, přesnost signálů a výpočtů. Z těchto důvodů je dostačující použít i osmibitový mikroprocesor disponující režimem spánku a s nízkou frekvencí oscilátoru. Mikroprocesor musí mít dostatečné množství GPIO pinů pro připojení veškerých periférií potřebných pro střežení kola. Jelikož výsledný kód může být rozsáhlý, je zapotřebí i dostatečné paměti programu a paměti SRAM pro ukládání proměnných. Dále musí umožňovat komunikaci po sériové lince a musí být schopen provozu na bateriovém napájení. Pro úsporu energie by měl MCU po dobu nečinnosti být v režimu spánku, z něhož se přepne zpět do provozu pouze pomocí přerušeni, které zachytává signál z pinu GPIO.

2.3 Baterie

Typy použitelných baterií závisí na prvcích zařízení. Každý čip má jiné napájecí napětí, které bývá zadáno v rozmezí několika voltů. Nejmenším obvodům stačí knoflíková baterie o napětí 1,5 V s kapacitou baterie 220 mAh. Ve větších zařízeních, kde je zapotřebí napájet několik čipů s dalšími periferiemi najednou, je odběr proudu podstatně vyšší a bývá zapotřebí napájet zařízení akumulátorem.

Podle požadavků zařízení na napětí, maximální proud, výdrž baterie apod. lze vybrat správný typ baterie. Některé periferie mohou požadovat proudový impuls o velikosti několika ampér, který je schopný dodat článek NiMH či baterie Li-Ion. V případě potřeby vyššího napětí a dodávání vyšších proudů lze stejný druh článku kombinovat v sérioparalelním zapojení.

2.3.1 Nikl-metal hydridový akumulátor

Nikl-metal hydridový akumulátor je druh galvanického článku, který je schopný dodávat vysoké proudy. Tento typ baterií je levný a disponuje větší kapacitou než jeho předchůdce nikl-kadmiový akumulátor. Jmenovité napětí je 1,2 V. Nevýhodou této baterie je vysoká úroveň samovybití a náchylnost na nízké teploty, kdy klesá spolehlivost. Z těchto důvodů je tato baterie málo používaná v zařízeních umístěných ve venkovních prostorách a v zařízeních, která nelze často dobíjet.

2.3.2 Lithium-iontový akumulátor

Jedná se o akumulátor s vysokou hustotou energie. Baterie Li-Ion jsou běžně používané v přenosných zařízeních pro svou nízkou cenu a možnost výroby různých tvarů pouzdra. Jmenovité napětí je 3,7 V a životnost jednoho článku je kolem 1000 nabíjecích cyklů. Pro prodloužení životnosti by se baterie neměla maximálně nabíjet a vybíjet kvůli snížení počtu cyklů, jelikož tento proces snižuje celkovou kapacitu. Článek by neměl být vystavován extrémním teplotám a vystavován přímému slunečnímu záření. Se vzrůstající teplotou klesá životnost baterie. Nevýhodou je riziko výbuchu při špatném zacházení s akumulátorem. Je tedy zapotřebí článek chránit obvody zabraňujícími přebíjení, vybití a zkratu.

2.3.3 Lithium-polymerový akumulátor

Lithium-polymerový akumulátor vychází z baterií Li-Ion a využívá polymerový elektrolyt. Napětí nabitého článku je 4,2 V. K poškození akumulátoru může dojít ve stejných případech jako baterie Li-Ion, tedy když napětí klesne pod 2,7 V, při případném přebití, podbití, zkratu a při poškození pouzdra baterie. Tento typ akumulátoru proto vyžaduje ochranné obvody, aby se zabránilo poškození článku a zařízení. Výhodou těchto článků je nízké samovybití, které je přibližně 5 % za měsíc a vysoký vybíjecí proud. Nevýhodou je pořizovací cena baterie, klesající kapacita s nepoužíváním článku a zvyšující se tlak uvnitř baterie v průběhu času.

2.4 SMS brána

Pro získávání informací o poloze prostřednictvím zprávy SMS je zapotřebí využít SMS bránu. Jedná se o zařízení propojující dvě sítě o různých komunikačních protokolech. Brána je prostřednictvím SIM karty připojena do sítě GSM a využitím například síťové karty komunikuje s internetovou sítí. SMS brána pracuje na aplikační vrstvě modelu ISO/OSI. SMS brána přijímá zprávy SMS z mnoha telefonních čísel a prostřednictvím například sériové linky je propojena s počítačem, který zprávy SMS dál zpracovává. Komunikace může probíhat i opačným směrem, kdy na základě síťových příkazů, například e-mailem, lze SMS branou rozeslat zprávy na telefonní čísla uložená na serveru či jiném paměťovém zařízení.

SMS brány lze volně koupit na trhu. Komerční produkty umožňují zasílání zpráv SMS, přenos zvuku prostřednictvím VoIP SIP, monitorování ISDN (Integrated Services Digital Network) linek atd. V síti komunikují protokoly IP, TCP, UDP, HTTP atd. Spravují se prostřednictvím webového rozhraní a AT příkazy. Cena takovýchto zařízení může být až desetitisíce korun.

3 Bezdrátové signály

Pro bezdrátový přenos dat se využívají antény, které vytváří elektromagnetické vlny z elektrické energie v případě vysílání, a v případě přijímání informací se z vln tvoří elektrická energie. Konstrukce antény je založena na principu rezonance [16]. Antény se dělí na aktivní a pasivní, kde aktivní antény obsahují zesilovač signálu. Důležitými parametry při výběru antén je zisk, šířka pásma a impedance antény [17]. Šířka pásma je rozsah kmitočtů, ve kterém zisk antény neklesne více než o 3 dB. Jelikož je anténa rezonanční obvod, je největší účinnost při rezonanční frekvenci, která je dána volbou indukčního a kapacitního prvku.

3.1 GSM

GSM je standard popisující protokol pro mobilní síť. Zařízení se k síti připojuje prostřednictvím nejbližší stanice, která pokrývá oblast v rozmezí stovek metrů až desítek kilometrů v závislosti na typu antény. GSM využívá frekvence 900 MHz a 1 800 MHz pro standard druhé generace (2G) umožňující zaslání zpráv SMS, datové přenosy, využití hlasové schránky apod. s rychlostí 236 kbit/s. Síť GSM je komplexní a její funkčnost je popsána v knize [18]. Důležitou součástí sítě je tzv. SIM karta využívaná k přihlášení uživatele. Tato karta je identifikovatelná podle čísla IMSI (International Mobile Subscriber Identity), které je jedinečné pro celý svět. GSM využívá GPRS (General Packet Radio Service) pro přenos IP paketů do externích sítí, jako je internet.

3.2 GNSS

Globální družicový polohovací systém (Global Navigation Satellite System) je služba pro určování polohy, která se vypočítává z rádiových vln družic [19]. Mezi GNSS systémy patří americký GPS, ruský GLONAS a evropský Galileo. Přesná poloha se vypočítává na základě časových značek a známé pozice vysílačů, které přijímač dekóduje spolu s polohou dané družice. Tedy podle rozdílu času odeslání a přijetí zprávy a rychlosti signálu lze dopočítat, jak daleko se družice od přijímače nachází. Ze znalosti vzdálenosti se následně určuje poloha přijímače. Pro určení přesné polohy je zapotřebí alespoň čtyř satelitů, avšak z důvodů odchylek vypočteného času cesty signálu ze satelitu je v praxi zapotřebí informací z dalších družic. Přesnost polohy v České republice je pět až deset metrů.

Signál GPS využívá několik frekvenčních pásem pro šíření signálu. Pásmo L1 má frekvenci 1 575,42 MHz a je určeno pro civilní účely. Pásmo L2 o frekvenci 1 227,62 MHz využívají autorizovaní uživatelé jako je armáda Spojených států.

Pro rychlejší určení polohy se využívá metoda A-GPS (Assisted GPS), která získává údaje o poloze družic (efemeridy) komunikací se systémem základnových stanic a přijímač nemusí tato data získávat z přímo družic, což může trvat až 10 minut. Tímto způsobem lze rychleji určit polohu zařízení po delší neaktivitě GPS přijímače.

3.3 Bluetooth

Bluetooth je definován standardem IEEE 802.15.1 [20] určeným pro výměnu dat na krátké vzdálenosti na pásmu ISM ve frekvencích 2,4 GHz až 2,48 GHz. Data jsou posílána v paketech po jednom ze 79 kanálů o šířce 1 MHz. Ve verzi 4.0 byl integrován Bluetooth Low Energy s menšími energetickými nároky, jehož šířka kanálu je 2 MHz, tedy počet kanálů je 40. Standard Bluetooth využívá pro přenos dat metodu FHSS (Frequency-hopping spread spectrum), měnící frekvenci přenosu dat pro minimalizaci rušení signálu.

Pro používání Bluetooth je zapotřebí definovat tzv. profil, který popisuje typ komunikace mezi zařízeními. Profil Bluetooth zahrnuje nastavení parametrů pro řízení komunikace a není nutné tyto informace posílat. Dosah signálu Bluetooth závisí na používané verzi. Zatímco verze 1.0 až 3.0 mají dosah signálu kolem deseti metrů, signál verze 5.0 dosahuje na vzdálenost stovek metrů. Síla signálu, a i dosah také závisí na použité anténě.

4 Analýza problému

Pro získání geografických souřadnic lze využít službu GNSS pro posílání GPS souřadnic. Zařízení musí tyto informace získat prostřednictvím antény GPS a následně je využitím standardu GSM poslat na server pro uložení dat do databáze. Získané souřadnice ze zařízení se odesílají na server, který data uloží a následně je zobrazí jako body na mapě.

V první fázi návrhu zařízení je nutné vybrat konkrétní MCU, aby odpovídal požadavkům na systém. Dále se musí určit modul pro bezdrátovou komunikaci, který bude použit. Programování jednotlivých čipů se neliší, avšak jednotlivé typy mají různé periferie. V části návrhu obvodů je nutné si rozmyslet, jaký typ čidla použít, aby nebylo energeticky náročné, ale bylo spolehlivé a snímaný pohyb bylo možné detekovat pomocí MCU.

Vybrané části systému je zapotřebí nejprve otestovat na nepájivém poli pro ověření návrhu schématu a funkčnosti zapojení, jelikož MCU nemusí být schopen poskytovat dostatečný proud na svých výstupech nebo napěťové úrovně modulu SIM a MCU budou odlišné a bude nutné upravit schéma apod.

Je zapotřebí schéma vytvořit v některém z programů pro vývoj DPS, jako je Altium Designer od firmy Altium Limited, OrCAD PCB Designer od firmy OrCAD, PADS od firmy PADS Mentor Graphics, Eagle od firmy Autodesk či CADSTAR od firmy Zuken Inc. Tyto programy vytvoří ze schématu návrh desky obsahující vodivé cesty s ploškami pro součástky, podle jejich rozmístění uživatelem. Vytvořený návrh je zapotřebí pro následnou výrobu DPS. Dle použitých součástek a složitosti návrhu se vybere potřebná technologie pro osazení.

Je nutné vybrat nebo navrhnout správný kryt pro zařízení, aby bylo možné bezpečně uchytit baterii a umožnit uživateli ovládání zařízení, které by mělo být umístěno v konstrukci jízdního kola. Je důležité vzít v potaz otřesy způsobené jízdou, aby neovlivňovaly funkčnost zařízení. Pro návrh krabičky pro zařízení lze využít programy určené ke 3D modelování. Jedná se například o Tincercad a FreeCAD s bezplatnou licencí Autodesk Inventor od firmy Autodesk, Creo od firmy Parametric Technology či SolidWorks od firmy SOLIDWORKS Corporation.

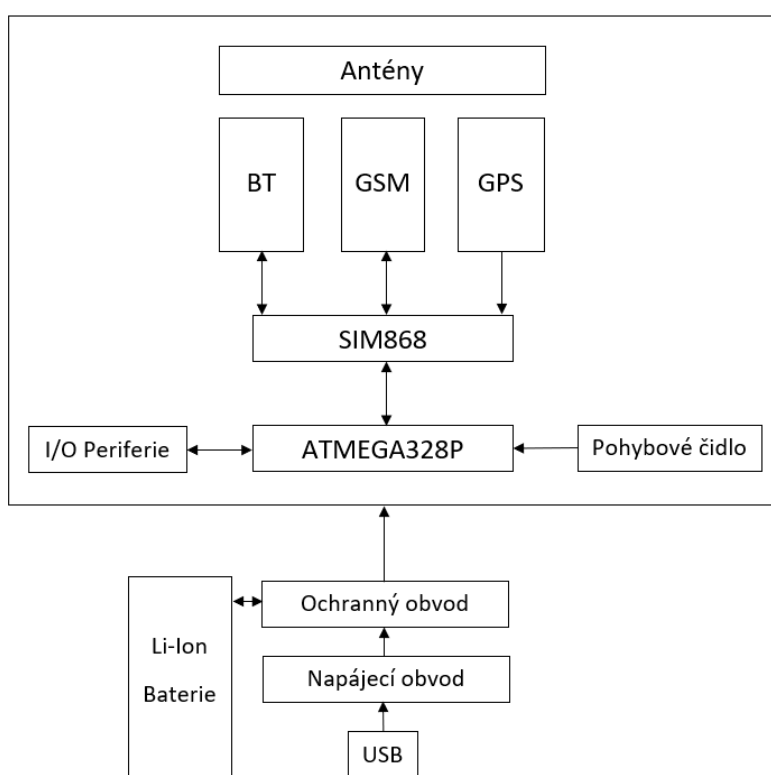
5 Řešení

Vypracované řešení této práce navazuje na můj stejnojmenný semestrální projekt [21] (příloha na CD), ve kterém jsem se seznámil s modulem SIM800 a zhodnotil jeho využití pro zařízení s nízkou spotřebou využívající standardy GPS, GSM a Bluetooth. V rámci projektu jsem vytvořil prototyp zařízení využitím vývojových přípravků SIM808 EVB-V3.2.2 a Arduino Uno. Posílání souřadnic GPS bylo umožněno pouze prostřednictvím mobilních dat a pro příjem polohy jsem vytvořil jednoduché webové stránky, které jsou s několika modifikacemi využity i v této práci.

Pro určení umístění zařízení v jízdním kole, což ovlivňuje maximální možnou velikost DPS a tím i velikost některých součástí, je na výběr je ze dvou možností. První možnost je namontovat zařízení na kolo v podobě nějakého doplňku, jako je odrazka, držák na pití, brašna a podobně, což přináší výhodu snadného přístupu a manipulace se zařízením pro dobíjení baterie. Takovéto umístění je nenáročné na velikosti desky a antény GSM, GPS a Bluetooth by měly silný signál. Snadný přístup k zařízení je však i nevýhodou, jelikož zloděj kola může lehce tyto doplňky odmontovat, což je častou praktikou zlodějů. Druhou možností je namontovat zařízení přímo do konstrukce kola, například do sedlové tyče, řídítek či vidlice. Toto umístění může silně ovlivnit příjem antén, avšak takto umístěné zařízení není viditelné, což snižuje pravděpodobnost jeho odstranění.

Z tohoto důvodu jsem se rozhodl umístit zařízení do konstrukce kola. Zařízení umístěné v sedlové tyči bude při jízdě v neustálém třesu, což může mít velký vliv na signál antén. Například anténa GPS nemusí snímat přesnou geografickou polohu v důsledku silných vibrací. U řídítkové tyče jsou otřesy tlumeny odpružením vidlice, avšak lze narazit na problém malých rozměrů, jelikož vnitřní průměr bývá pouze 18 mm, což může být komplikace pro použití modulu SIM, jehož čip má podobné rozměry. Vidlice jsou často odpruženy a mají větší vnitřní průměr než řídítkové tyče. Vnitřní průměr je standardizován na 25,4 mm, avšak vyskytují se i jiné průměry. Nevýhodou tohoto řešení je nutnost odmontování předního kola pro vložení a vyjmutí zařízení a pravděpodobnost slabého signálu pro jednotlivé antény, které by v případě nespolehlivosti musely být vyvedeny vně vidlice. Můj cíl byl navrhnout co nejmenší desku a následně promyslet způsob uchycení ve vidlici, popřípadě v sedlové tyči.

Rozložení jednotlivých prvků zařízení znázorňuje blokové schéma na obrázku 2. Šipky ve schématu znázorňují směr komunikace. MCU generuje příkazy AT a ty poté posílá modulu SIM, který dle příkazu použije připojené antény, vykoná určitou operaci a po sběrnici UART vrátí MCU výsledek. Pro ovládání systému uživatelem jsem použil tlačítko a LED indikující aktuální režim systému společně s ovládáním přes zprávy SMS. Pohybové čidlo generuje impulz, který je přiveden na vstup MCU. K bateriovému článku jsem připojil ochranný obvod, přes který je zapojen nabíjecí obvod připojený k vnějšímu zdroji prostřednictvím kabelu USB (Universal Serial Bus).



Obrázek 2: Blokové schéma zařízení

5.1 Výběr řídicích jednotek

Mezi řídicí jednotky patří MCU a modul SIM. Tyto jednotky musí mezi sebou komunikovat a ovládat další části systému. Jelikož zařízení bude napájeno z jednoho článku baterie, ovlivní nominální napětí výběr vhodného MCU. Modul SIM je optimální napájet z baterie Li-Ion o napětí 3,7 V, zatímco napájecí napětí MCU se liší.

5.1.1 Mikrokontroler

Jako ovládací prvek zařízení je nutné použít MCU. Při výběru vhodného MCU je zapotřebí vzít v potaz spotřebu, napěťové úrovně, rozměry, frekvenci oscilátoru, počet pinů GPIO, možnosti použití přerušování, režimy spánku atd.

Základní dělení MCU je dle šířky slova. Ačkoli 32bitové MCU mají větší číselný rozsah, větší paměť, pracují na větších frekvencích atd., jsou také energeticky náročnější než 16 nebo 8bitové MCU. Jelikož v této aplikaci není zapotřebí vysoké přesnosti a rychlosti výpočtů postačí 8bitový MCU i navzdory menší paměti SRAM pro ukládání proměnných. Výhodou 8bitových MCU je jejich cenová dostupnost a nižší spotřeba, což je důležitý faktor při výběru MCU pro tuto aplikaci.

Existuje mnoho výrobců a hodně typů čipů na trhu lišících se ve vlastnostech. Pro tuto aplikaci je zapotřebí, aby MCU měl mód režimu spánku s nízkou spotřebou, možnost komunikace po sériové lince a větší množství GPIO pinů. Některé produkty jako je například používaný ATtiny od firmy Atmel mají pouze pět programovatelných pinů. Samozřejmě existuje mnoho variant a některé mají i větší počty GPIO. Dále je vhodné, aby daný čip měl interní oscilátor s nízkou frekvencí pro další možnou úsporu energie.

Vhodné MCU jsou například ATtiny1616 a Atmega328P. Oba čipy mají 8bitovou sběrnici, 3 režimy běhu, možnost nastavení přerušování na konkrétní piny a přerušování z 16bitových časovačů, které mohou být využity pro časování probuzení zařízení. Dále mají vnitřní oscilátor o nižších frekvencích, čímž se prodlužuje doba operací, avšak snižuje se spotřeba energie. Mikrokontroler ATtiny má operační napětí od 1,5 V do 5,5 V a Atmega328P operuje v rozpětí 2,7 V do 5,5 V, což je dostatečné pro zvolený zdroj napětí.

Pro první prototyp zařízení jsem vybral mikrokontroler Atmega328P-PU [22], jelikož není drahý a disponuje režimem spánku s nízkou spotřebou. Tento MCU se vyrábí ve verzi SMD i THT (Through-hole technology), se kterou se dá lépe manipulovat za účelem přeprogramování. Čip se programuje v jazyce C a lze využít vývojové prostředí Arduino IDE, jelikož tento čip je často využíván v deskách Arduino. Toto prostředí zásadně zjednodušuje práci, protože umožňuje snadno vypálit zavaděč a konfiguraci pro využití vnitřních hodin namísto externího oscilátoru.

Mikrokontroler má k dispozici 32 kB paměti programu, 2 kB interní paměti SRAM, dva 8bitové a dva 16bitové časovače, programovatelnou sběrnici UART, možnost externího přerušení, vnitřní oscilátor a 23 programovatelných I/O pinů. V aktivním režimu je spotřeba mikrokontroleru 1,5 mA, zatímco v režimu spánku je spotřeba 1 μ A.

5.1.2 Modul SIM

Je nutné vybrat konkrétní typ modulu SIM, který disponuje potřebnými periferiemi. Moduly SIM se dělí na kategorie podle poskytovaných služeb daným čipem. Pouze řada 800 umožňuje použití všech potřebných antén. Vhodný je modul SIM808, avšak rozměry tohoto čipu jsou 24 mm \times 24 mm. Pokud vnitřní rozměr vidlice je 25,4 mm, tak není možné vytvořit DPS s dostatečně malými rozměry. Existuje však menší verze, a to modul SIM868, jehož rozměry jsou 15,7 mm \times 17,6 mm. Jedná se o jeden z nejmenších modulů SIM, tedy v případě DPS, která se musí vejít do vidlice kola, se jedná o jedinou možnost. Dle produktového listu [23] k modulu je nejvýhodnější využít baterii Li-Ion, jejíž nominální napětí je 3,7 V.

5.2 Posílání dat

Informace webovému serveru se dají posílat zprávou SMS nebo prostřednictvím mobilních dat. Výhodou mobilních dat je nižší cena za jednu poslanou zprávu, avšak balíčky mobilních dat nabízené operátory jsou pro potřeby zařízení zbytečně velké a tím i drahé. Dalším problémem je nutnost obnovování mobilních dat, jelikož jejich platnost je u operátora pouze měsíc. V případě posílání informací prostřednictvím mobilních dat postačí datový balíček o desítkách MB (kapitola 6.3). Někteří operátoři umožňují čerpat mobilní data přímo z kreditu bez nutnosti aktivace balíčku.

Posílání prostřednictvím SMS je sice dražší v závislosti na každé poslané zprávě, avšak každý operátor umožňuje odečítání ceny za SMS z kreditu, který má platnost jeden až dva roky. Jelikož obě možnosti mají své výhody, vyzkoušel jsem v rámci prototypu obojí.

5.3 Výběr operátora

Moduly SIM pro svou činnost potřebují mít připojenou SIM kartu. Při zapnutí modulu se automaticky pokouší kartu zaregistrovat do sítě, což může trvat několik sekund. Následně je modul připraven posílat zprávy SMS, přijímat hovory atd. Ve výsledném zařízení si SIM kartu kupuje uživatel od libovolného mobilního operátora.

Operátor O2 nabízí přímo SIM karty pro chytrá zařízení. Tyto karty mají tarif 10 MB (56 Kč/měsíc) nebo limit 120 SMS (69 Kč/měsíc), popřípadě 100 MB (110 Kč/měsíc) v závislosti na typu SIM karty. Takovéto balíčky jsou množstvím poskytovaných dat a zpráv SMS ideální, avšak musí se platit měsíčně, což v případě mobilních dat není neobvyklé, ale u SMS zpráv je to nevýhodné.

Operátor T-Mobile nabízí pouze tarify o jednotkách GB, což je vhodné pro mobilní telefony. Nejmenší poskytovaný balíček je 1,5 GB s neomezenými SMS zprávami za 525 Kč/měsíc. Je zde možnost sestavit si vlastní tarif, avšak minimální množství dat je 1,5 GB.

Firma Vodafone nabízí tarify o minimálně 15 GB mobilních dat a neomezené zprávy SMS za 799 Kč/měsíc. Dále poskytují předplacenou SIM kartu, fungující na dobíjení kreditu pro SMS zprávy a doplacení balíčků mobilních dat o alespoň 500 MB. Výhodou této karty je, že pokud uživatel za den utratí více než 30 Kč, dobije se mu na kartu 300 MB mobilních dat a neomezené SMS a volání. Počáteční cena na je 3 Kč za jednu minutu volání nebo jednu zprávu SMS nebo 10 MB dat. Při posílání informací ze zařízení prostřednictvím mobilních dat nebo SMS je tato karta vhodná, jelikož ke krádeži kola nedochází často a není potřeba posílání dat na server. Tedy uživatel nebude čerpat kredit do doby, než dojde ke krádeži kola, poté se začne čerpat kredit a zdarma se mu navýší limit na daný den.

Mobilní operátor Kaktus od společnosti T-Mobile umožňuje uživateli kupovat balíčky podle potřeby. Po přihlášení na účet si lze vybrat, jak velký balíček dat a SMS zpráv si uživatel chce koupit a peníze se mu odečtou z kreditu, či balíčky zaplatí prostřednictvím platební karty. Kaktus nabízí za 50 Kč 40 SMS a také za 50 Kč 80 MB mobilních dat.

Balíčky se dají koupit jednorázově, či nechat každý měsíc obnovit. V tom případě se cena balíčku odečítá z kreditu. Výhodou této karty je možnost dobíjení dat po 80 MB. Pokud uživatel nemá nakoupen žádný balíček, platí 1,5 Kč za SMS a 1 Kč za 1 MB dat.

Operátor SAZKAmobil nabízí balíčky dat od 150 MB na měsíc s cenou 150 Kč až po 1 GB za 350 Kč. Navíc umožňuje zakoupení datového balíčku na den o 25 MB za 20 Kč. Dále je možné zakoupit balíčky pro zprávy SMS a volání za 200 Kč se 100 zprávami SMS a 100 minutami volání, popřípadě 200 zpráv SMS a 200 minut volání za 400 Kč.

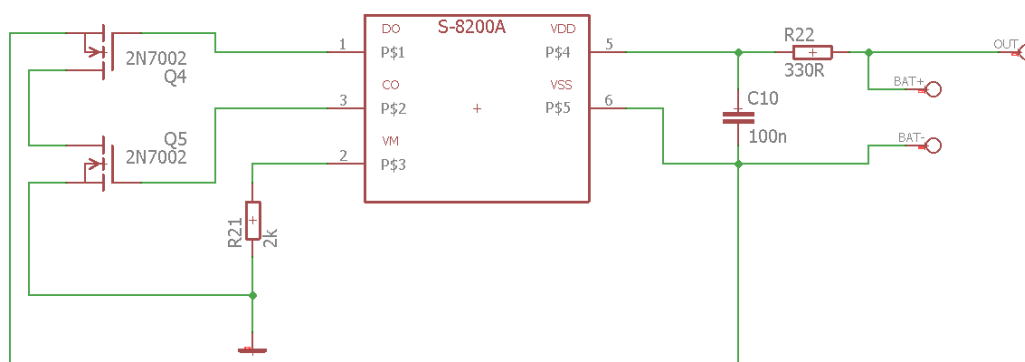
Pro testování prototypu jsem využil SIM karty od operátora Kaktus, která umožňuje dobíjet data a SMS dle potřeby, tedy dle testování zařízení a poskytuje nízkou cenu za mobilní data. Také jsem vyzkoušel SIM kartu od SAZKAmobilu, jelikož poskytuje balíček mobilních dat na jeden den.

5.4 Návrh zapojení

Desku zařízení lze rozdělit do několika částí, pro které jsem navrhl obvody. Ty jsem následně samostatně otestoval a poté propojit mezi sebou. Pro baterii bylo zapotřebí navrhnout ochranný a nabíjecí obvod. Pro párování zařízení s mobilním telefonem bylo zapotřebí tlačítka a indikace pomocí světelné diody. Způsob propojení MCU s modulem SIM je popsán v katalogovém listu, kde lze také nalézt potřebné obvody pro připojení antén, zapínání modulu a podobně. Jelikož zařízení napájí baterie o napětí 3,7 V, musely být všechny součástky navrženy pro toto napětí.

5.4.1 Ochrana baterie

Při použití baterie Li-Ion hrozí nebezpečí výbuchu či vznícení, pokud je s baterií zacházeno nevhodně. Jedná se o možnost přehřetí nad svou maximální kapacitu nebo zkratování. Dalším stavem snižující životnost baterie je podbití, kdy napětí klesne pod 2,8 V. Článek ztrácí svou kapacitu nehledě na to, zda je používána nebo ne. Vyšší vybíjecí proudy a vysoké teploty urychlují ztrátu kapacity. Je potřeba hlídat maximální proud poskytovaný baterií a vyvarovat se zkratu. Z toho důvodu jsem navrhl obvod, který bude akumulátor chránit a zároveň nebude příliš ovlivňovat spotřebu. Je výhodné použít integrovaný obvod, který s minimálním množstvím externích součástek dokáže zabránit výše uvedeným rizikům. Další výhodou jsou malé rozměry zapojení. Integrovaných obvodů určených k ochraně jednoho článku baterie Li-Ion je mnoho, avšak většina funguje na stejném principu využívající dvou tranzistorů MOSFET pro ovládání proudu. Mezi tyto integrované obvody patří R5463, FS326, BQ29700, S-8200A atd. Vybral jsem obvod S-8200A [24], jelikož je jako jediný dostupný na českém trhu a charakteristikou odpovídá požadavkům pro aplikaci a nepotřebuje mnoho externích součástek.



Obrázek 3: Schéma ochrany baterie

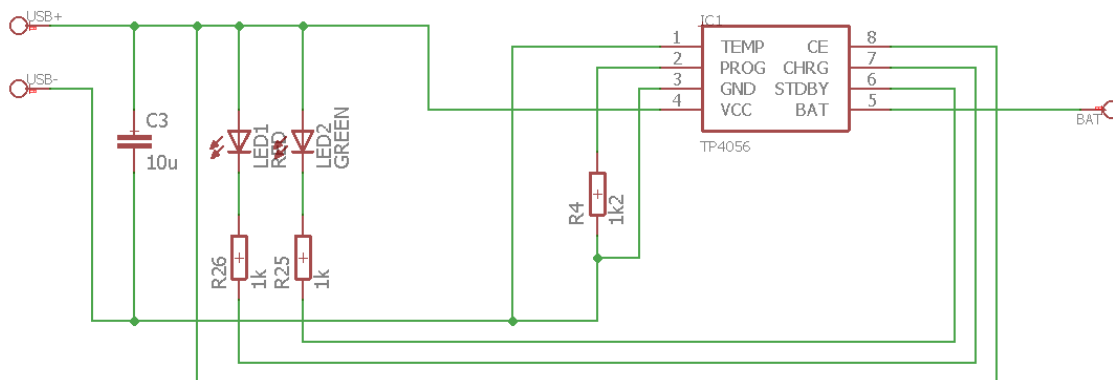
Tento integrovaný obvod má spotřebu 2,8 μA . Dle produktového listu lze sestavit doporučený ochranný obvod (obrázek 3). Na schématu jsou dva tranzistory MOSFET připojeny k integrovanému obvodu. Tranzistor Q5 se vypne (přestane propouštět), pokud napětí na článku baterie je příliš vysoké, avšak baterie se stále může vybíjet, jelikož proud může téci přes diody tranzistoru Q5 a přes tranzistor Q4. Pokud se článek vybíjí příliš rychle nebo se napětí sníží pod definovanou úroveň 2 V, tranzistor Q4 se vypne. Pro ochranu baterie před přepólováním jsem využil usměrňovací diodu zapojenou v propustném směru. Diodu jsem umístil do bateriového boxu na vodič záporné polarity článku, aby obvod při přepólování nebyl uzavřen.

5.4.2 Nabíjecí obvod

Jelikož modul SIM868, na rozdíl od jiných typů modulu, neobsahuje obvod pro nabíjení akumulátoru, bylo třeba tento obvod navrhnout. Pro nízkou spotřebu energie a úsporu místa je vhodné použít integrovaný obvod. Výběr konkrétního obvodu závisí na typu nabíjení, přesněji na velikosti napájecího napětí. Ideální způsob nabíjení článku je prostřednictvím USB. Napájecí napětí je 5 V a velikost poskytovaného proudu závisí na konkrétním zdroji. V případě nabíjení přes jiné zařízení je velikost proudu omezena na 500 mA pro USB 2.0 a 900 mA pro USB 3.0. Při využití nabíjecího adaptéru je velikost proudu v rozmezí 1,5 A až 3 A. Poté závisí na typu kabelu USB, který je připojen k zařízení. V případě moderních adaptérů s funkcí rychlého nabíjení je možné dosáhnout nabíjecího proudu 3 A s využitím kabelu USB-C.

Jedním z hlavních kritérií pro výběr nabíjecího obvodu je maximální možný proud nabíjení, který bývá v rozmezí 500 mA až 2 A. Integrované obvody umožňují připojení LED pro indikaci nabíjení a termistoru pro regulaci nabíjecího proudu na základě teploty baterie. Mezi často využívané čipy patří MCP738xx, RT9536, TP4056, MP26xx atd.

Pro tuto aplikaci jsem vybral obvod TP4056 [25], jelikož s ním již mám zkušenosti. Umožňuje nabíjet baterii Li-Ion proudem 1 A. Čip má interní MOSFET zabraňující negativnímu nabíjecímu proudu, tudíž není zapotřebí blokovací diody. Proces nabíjení se dá rozdělit do tří částí. V první části se sníží nabíjecí proud z důvodu ochrany článku a minimalizování tepelných ztrát. V druhé fázi nabíjení se zvedne proud na konstantní úroveň do doby, než baterie dosáhne napětí 4,2 V. V poslední fázi poklesne nabíjecí proud a zůstává konstantní napětí, což indikuje nabití baterie.



Obrázek 4: Schéma pro nabíjení baterie

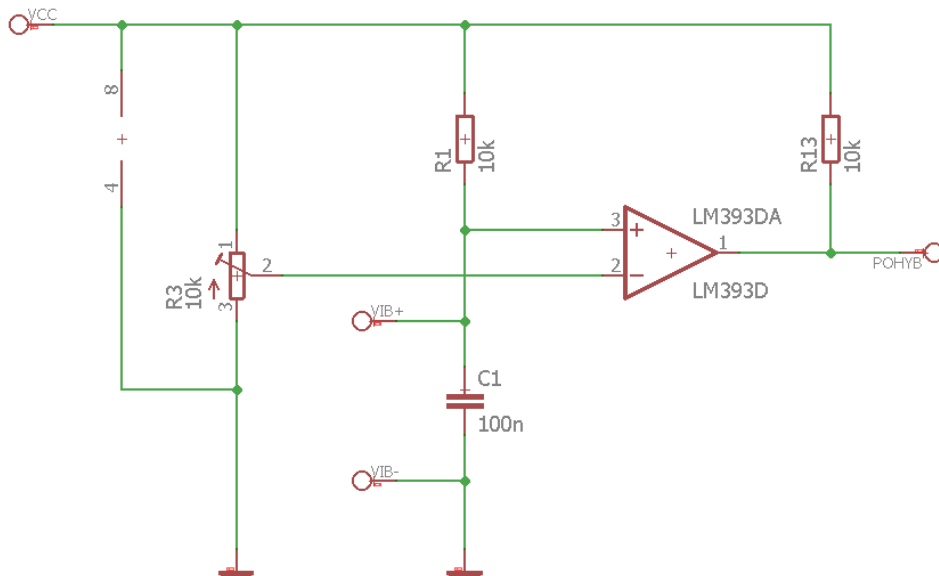
Integrovaný obvod (obrázek 4) má výstupy STDBY a CHRG pro připojení LED k indikaci stavu nabíjení a nabití baterie. Vstupní pin CE slouží k přepínání zapnutí a vypnutí nabíjení. Pokud je pin uzemněn, je možnost nabíjení vypnuta. Pin PROG slouží k nastavení konstantního proudu nabíjení a následně jeho monitorování, které je nastaveno připojením odporu R4. Pin TEMP slouží k monitorování teploty baterie pomocí termálního odporu NTC měřením napětí mezi pinem TEMP a V_{CC}, pokud není zapotřebí nebo nelze hlídat teplotu baterie, je nutné připojit tento pin na zem.

Vstupní napětí nabíjecího obvodu je v rozmezí 4,5 V až 5,5 V a maximální nabíjecí proud je 1 A. Zvolená baterie do zařízení pro sledování kola bude záviset na času, po který je systém schopen spolehlivě fungovat. Jelikož největší spotřebu bude mít zařízení při monitorování geografické polohy, je zapotřebí, aby baterie měla dostatek energie po probuzení systému z režimu spánku alespoň na jeden týden aktivního sledování. Spotřeba energie také závisí na frekvenci odesílání GPS souřadnic.

5.4.3 Pohybové čidlo

Detekci pohybu lze zprostředkovat několika způsoby. Je možné použít již hotová čidla v podobě integrovaných obvodů. Tato čidla jsou komplexní a poskytují mnoho informací. Především se jedná o analogová čidla obsahující akcelerometr měřící zrychlení ve třech osách. Na výstupu čidla je napětí, jehož velikost indikuje sílu akcelerace. Pro probuzení systému z režimu spánku je zapotřebí napěťový impulz, který lze napojit na digitální vstup MCU nastavený na externí přerušení. Pro získání takového impulzu postačí vibrační čidlo, například senzor 185232, SW-18010P nebo SQ-SEN200. Jedná se o součástku fungující jako přepínač (normally open) obsahující pružinku jako jeden kontakt a vodič umístěn uvnitř pružinky jako druhý kontakt. V důsledku otřesů se pružinka rozkmitá, spojí se s druhým vodičem a tím uzavře obvod.

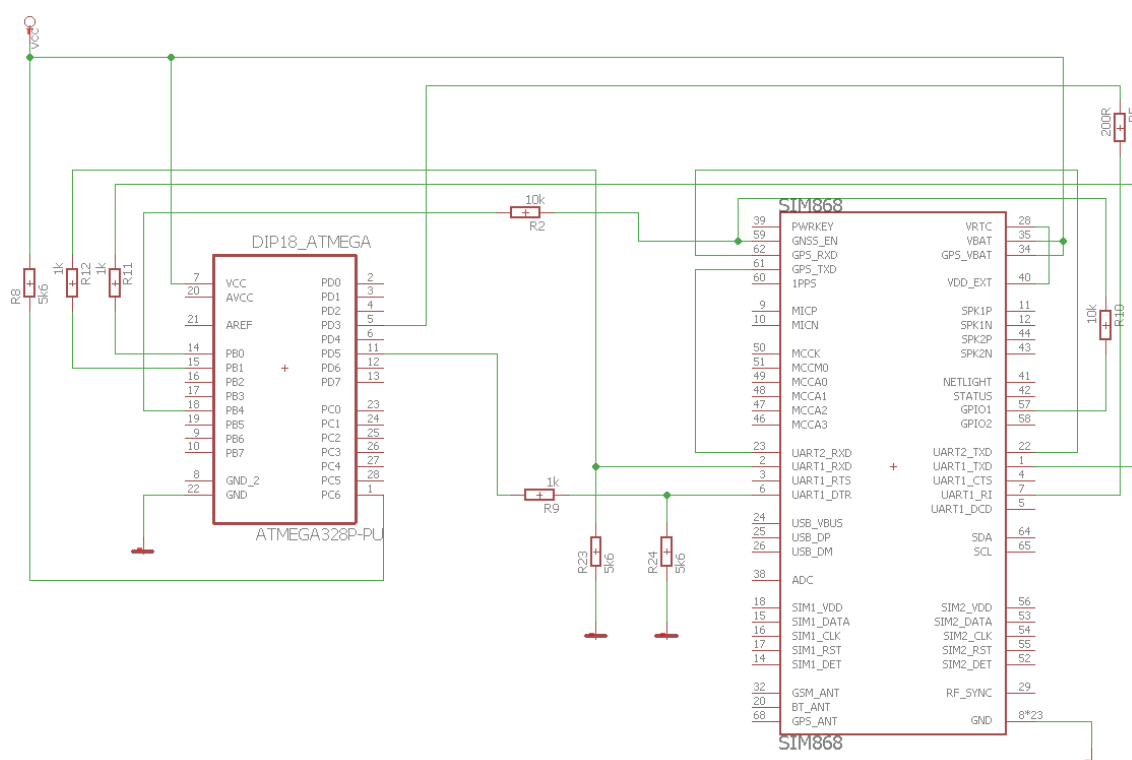
Testováním obvodu jsem zjistil, že výstupní napětí z otřesového čidla je nedostatečné pro rozeznání impulsu MCU. Z toho důvodu jsem k vibračnímu senzoru připojil operační zesilovač LM393 (obrázek 5). Užitím rozdílového zapojení zesilovače je možné pomocí změny odporu trimru nastavit citlivost pro detekci pohybu. Výstupní napětí připojené na MCU je poté dostatečně vysoké a impuls dostatečně dlouhý pro spuštěné rutiny přerušování.



Obrázek 5: Schéma pohybového čidla

5.4.4 Propojení řídicích jednotek

Komunikace mezi MCU a modulem SIM je zprostředkována sběrnicí UART. K zaslání informací jsou zapotřebí vodiče RXD a TXD zapojené mezi modulem a MCU křížem. Pro lepší synchronizaci komunikace a zajištění spolehlivosti se využívají signály RTS, CTS, DTR, DCD. Způsob připojení UART sběrnice k modulu se liší na základě operačního napětí MCU. V případě napájení 3,7 V z baterie Li-Ion je zapojení znázorněno na obrázku 6.

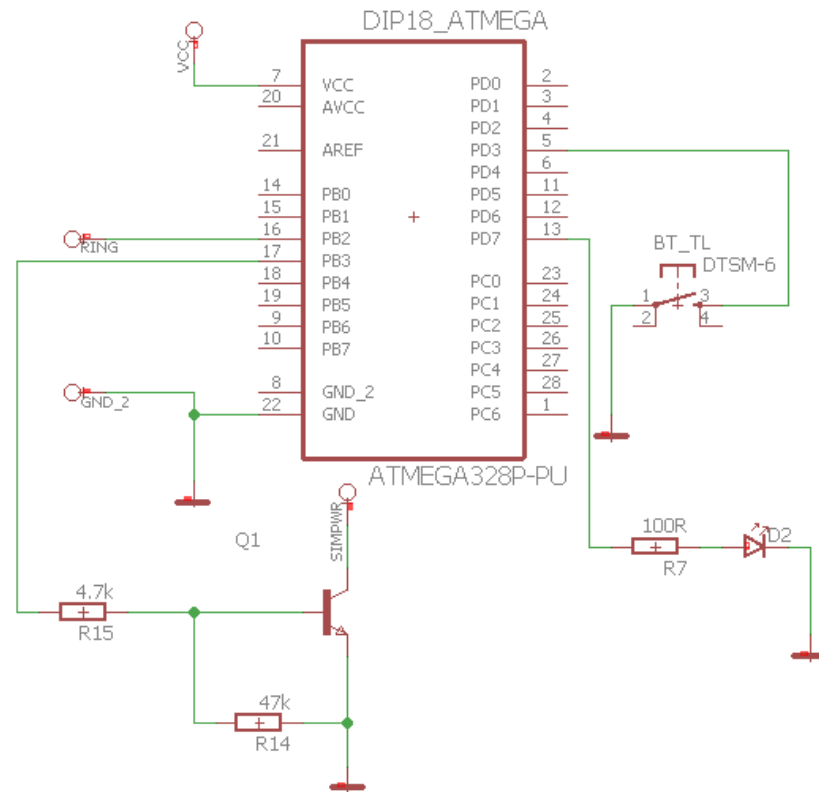


Obrázek 6: Schéma komunikace řídicích prvků

5.4.5 I/O periférie

Mezi tyto obvody patří ovládání zařízení, především možnost spárování mobilního zařízení majitele se systémem. Pro zapnutí Bluetooth a zahájení čekání na požadavek o párování je zapotřebí zaslat sadu příkazů AT modulu. Zahájit proces párování lze vyřešit zasláním zprávy SMS na telefonní číslo zařízení nebo pomocí tlačítka. Párování proběhne pouze jednou při konfiguraci a uživatel tedy nemusí zařízení z kola vyjmát. V případě potřeby přidat další zařízení lze zasláním zprávy SMS zahájit párování bez nutnosti rozebírání kola. Tlačítko je připojeno na pin GPIO společně s pull-up odporem a výstupním pinem RI z modulu SIM, který slouží jako indikace při přijetí SMS zprávy

nebo hovoru. Daný vstup MCU je nastaven na přerušení MCU a na dalším pinu GPIO je připojena LED pro indikaci funkčnosti párovacího procesu. Zapojení I/O prvků je znázorněno na obrázku 7.



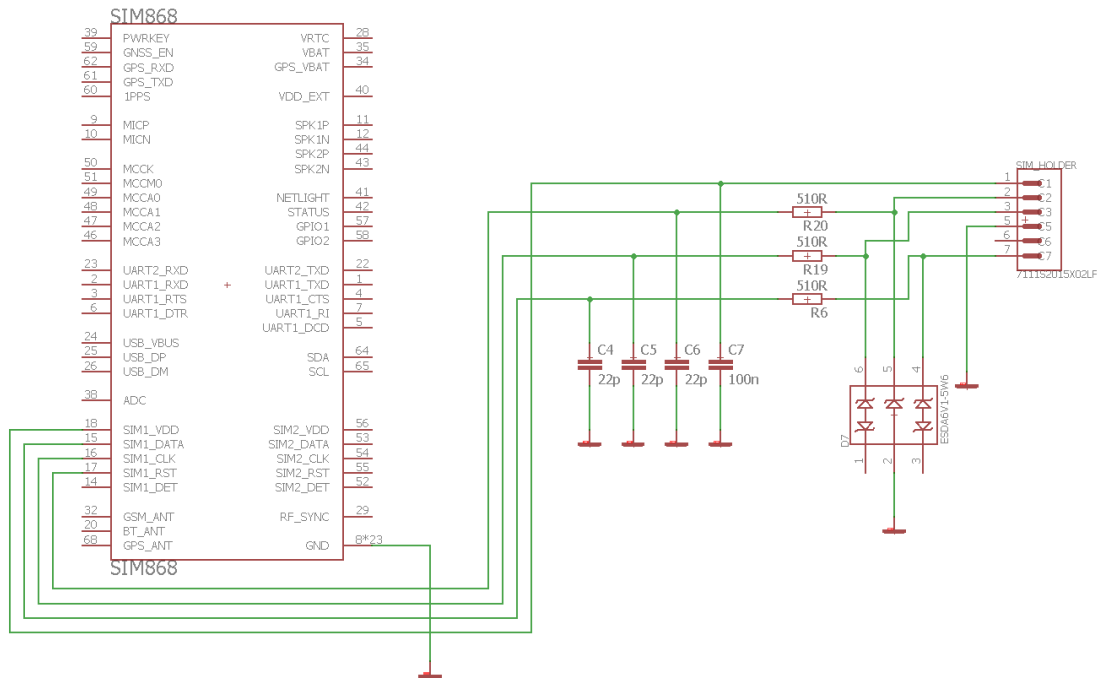
Obrázek 7: Schéma I/O periférií

Pro ladění a případné rozšíření systému jsem vyvedl svorky z GPIO pinů MCU. Z těchto svorek jsem vyvedl signál pro reproduktor, který slouží jako pomůcka při hledání jízdního kola

5.4.6 Připojení SIM karty

Zasílání informací na webový server probíhá prostřednictvím SIM karty připojené k modulu SIM. Aby bylo možné kartu připojit do obvodu je zapotřebí držák na SIM kartu. Tyto součástky se vyrábějí s 6 nebo 8 piny. Karty s 8 piny jsou s 6pinovými zaměnitelné, takže lze využít i držáky těchto karet. Rozdíl mezi těmito dvěma provedeními je pin SIM_PRESENCE, což je pin detekující přítomnost SIM karty. Mezi 6 pinů patří napájení, uzemnění, reset, hodinový signál, data a VPP, což je pin umožňující naprogramování či mazání dat z nevolatilní interní paměti SIM karty.

Doporučené zapojení držáku SIM karty je uvedeno v datovém listu pro modul SIM868 (obrázek 8). Dle těchto informací jsem k držáku připojil ochranu proti elektrostatickému výboji v podobě diodového pole ESDA6V1.



Obrázek 8: Schéma připojení SIM karty

5.5 Návrh desky

Pro návrh DPS jsem zvolil program Eagle od firmy Autodesk, jelikož s ním mám zkušenosti. Po překreslení schématu program vygeneruje samotnou desku a pouzdra součástek, které jsou zakresleny ve schématu. Propojení součástek je znázorněno žlutými tenkými čarami. Je nutné postupně nahrazovat skutečnými cestami, které budou vyleptány na DPS.

Z důvodu nedostatku místa okolo modulu SIM jsem využil i třetí vrstvu desky. Pro osazení součástek jsem využil vrchní i spodní stranu desku, jelikož větší součástky, jako je právě modul SIM, MCU a držák SIM karty, se nevejdou na jednu stranu.

5.5.1 Výrobní technologie

Jelikož vícevrstvou desku není možné na Technické univerzitě v Liberci vyrobit, bylo zapotřebí pro výrobu najít externí firmu. Vybrat firmu pro výrobu desky bylo zapotřebí před samotným návrhem, jelikož každá firma disponuje jinými technologickými možnostmi pro výrobu. Jedná se o šířku cest, vzdálenost mezi cestami, minimálním průměrem prokovů. Vícevrstvou desku je schopna vyrobit řada českých firem. Například Mesit pcb, Gatema nebo Safiral. Firma Mesit pcb je schopna vrtat otvory minimálně o průměru 0,3 mm, zatímco firma Gatema a Safiral už od 0,1 mm. Minimální šířku cest mají všechny firmy od 0,1 mm, což se dá využít u řídicích signálů, avšak pro cesty, kterými prochází vyšší proudy, je potřeba použít co nejširší cesty. Zároveň je možné nechat si desku vyrobit a popřípadě i osadit v zahraničí (v Číně), kde výroba desky může být podstatně levnější. Jsou to firmy jako AllPCB, JLCPCB, PCBgogo, NextPCB apod. Tyto firmy mají podobné technologické možnosti jako české firmy, avšak nižší ceny. Z tohoto důvodu jsem vybral čínskou firmu JLCPCB (JiaLiChuang Co., Limited) [26], jejíž technologické možnosti dokáží vrtat prokovy o průměru 0,2 mm, vyleptat cesty o šířce 0,2 mm s rozestupem 0,2 mm. Do konfigurace desky v programu Eagle jsem poté nastavil limity návrhu dle technologií firmy.

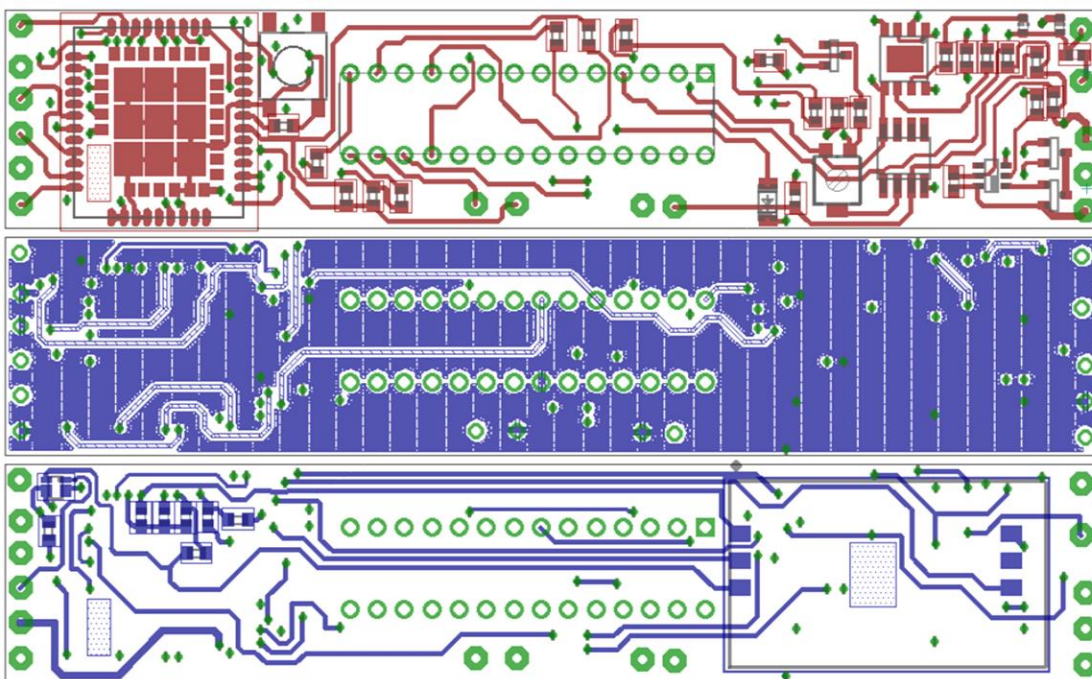
5.5.2 Propojení prvků desky

Program Eagle má funkci autoroute, která pro rozmístěné součástky v návrhu propočítává možné cesty dle nastavené konfigurace a dané cesty vytvoří. Pokud se cesta nedá vést na stejné vrstvě desky jako je součástka, ze které cesta vychází, vede se cesta po jiné vrstvě prostřednictvím propojek (prokovů). Tato funkce je pro návrháře velkým ulehčením, ale výsledek nemusí splňovat požadavky zapojení. Výkonové vodivé cesty nebudou dostatečně široké, cesty mezi blokovacími kondenzátory a signály mohou být dlouhé a proto nefunkční apod. Z těchto důvodů jsem tuto funkci nevyužil.

Všechny součástky zařízení jsou typu SMD, výjimkou je MCU, respektive patice pro MCU je typu THT. Tento typ jsem zvolil, navzdory mnohem větším rozměrům oproti SMD, kvůli jednoduchému vyjmutí čipu. Jelikož se jedná o prototyp, je třeba často upravovat program MCU, což s THT součástkami lze snáze. Vzhledem malému počtu součástek není použití takového MCU problém.

5.5.3 Rozmístění součástek

Na obrázku 9 jsou vyobrazeny jednotlivé vrstvy desky. Vrchní vrstva (top) má cesty červené barvy. Prostřední vrstva má cesty přerušovanou modrou čarou a spodní vrstva (bottom) má cesty modré. Na vrchní vrstvu jsou umístěny obvody pro napájení společně se svorkami pro baterii a USB kabel. Indikační LED jsou umístěny blíže ke středu desky, což může bránit v identifikaci stavu nabíjení baterie uživatelem. Jelikož v celém zařízení při nabíjení svítí pouze jedna LED, tak dané světlo alespoň z části prosvítá ven. Tento problém lze vyřešit vyvedením LED mimo desku. Pod indikačními diodami je obvod pohybového čidla, jehož senzor SW-520D je na svorkách VIB+ a VIB-. Do středu desky je umístěna patice pro MCU, jelikož se jedná o THT součástku, ovlivňuje všechny vrstvy. Pod paticí je LED pro indikaci připojování Bluetooth. Svorky RING a GND vedle těchto diod slouží pro připojení bzučáku. Vlevo od patice je tlačítko pro ovládání systému uživatelem. Na levé straně desky je umístěn modul SIM868 a jeho vývody se svorkami na antény.



Obrázek 9: Vrstvy DPS

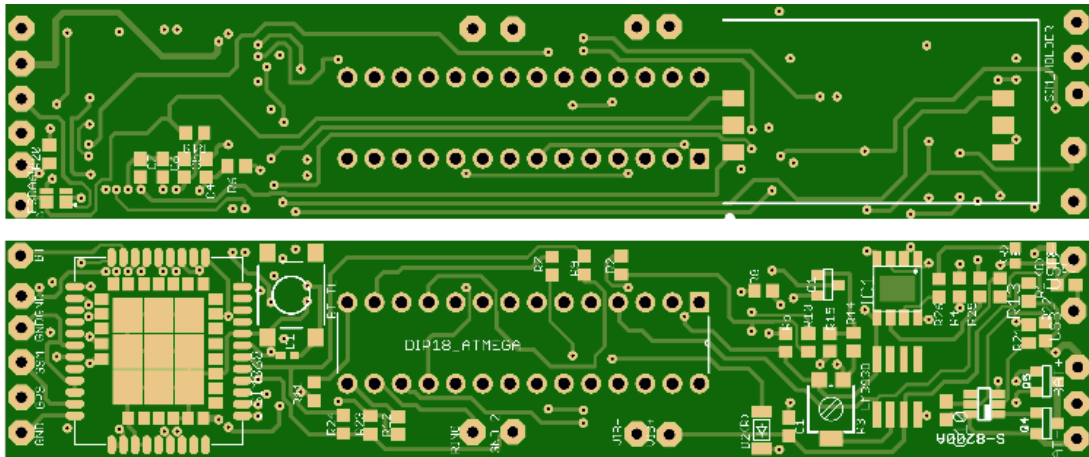
Spodní strana desky obsahuje mnohem méně součástek. Na pravé straně desky je umístěn držák pro SIM kartu, jejíž signály by měly být co nejdále od antén kvůli rušení. Vpravo od držáku je výše zmíněná patice. Na opačné straně, než je modul SIM868, jsou umístěny blokovací kondenzátory a pomocí prokůvů jsou připojeny k vývodům modulu. Vlevo do těchto kondenzátorů je diodové pole ESDA6V1 pro ochranu SIM karty proti elektrostatickému výboji.

Pro vytvoření všech potřebných cest bylo třeba přidat třetí vrstvu, která obsahuje pouze několik propojek mezi součástkami a rozlitou měď, která je slouží jako GND. Bez této vrstvy nelze korektně propojit veškeré součástky dle schématu. Obzvláště jednotlivé piny modulu SIM, jelikož jako nejširší součástka, udává šířku celé desky.

Výsledná deska je široká 20,3 mm a dlouhá 102 mm bez baterie, jejíž pouzdro ICR14500 je dlouhé 50 mm. Konektor pro nabíjení baterie je vyveden zespodu zařízení, aby nebylo nutné vyndávat z vidlice. Svorky pro antény jsou na opačné straně zařízení. Na tyto svorky jsou připojeny kabely jednotlivých antén, které vedou nad zařízení ve vidlici.

5.6 Výroba a osazení DPS

Firmy vyrábějící DPS požadují pro výrobu desek soubory gerber. Tato data jsou standardním vstupním formátem pro výrobu plošných spojů a generují se z návrhu desky v programu Eagle. Pro každou vrstvu je potřeba vytvořit jeden soubor gerber. Pro výrobu mé desky jich je potřeba šest, respektive pět. Jeden pro vrchní stranu desky a druhý pro sítotisk vrchní strany, který umožňuje mít na desce popisy jednotlivých svorek, součástek a podobně, aniž by text zasahoval do vyleptaných cest na dané straně desky. Stejně tak je zapotřebí dvou souborů pro spodní stranu desky. Poslední dva soubory gerber je zapotřebí pro vnitřní vrstvy DPS. Při výrobách DPS se vrstvy vyrábějí po dvojicích. Tedy pokud má DPS pouze tři vrstvy, stejně je zaúčtována i čtvrtá vrstva. Z tohoto důvodu je zapotřebí šesti souborů gerber, ačkoli druhá vnitřní vrstva je prázdná.



Obrázek 10: Vygenerovaná DPS

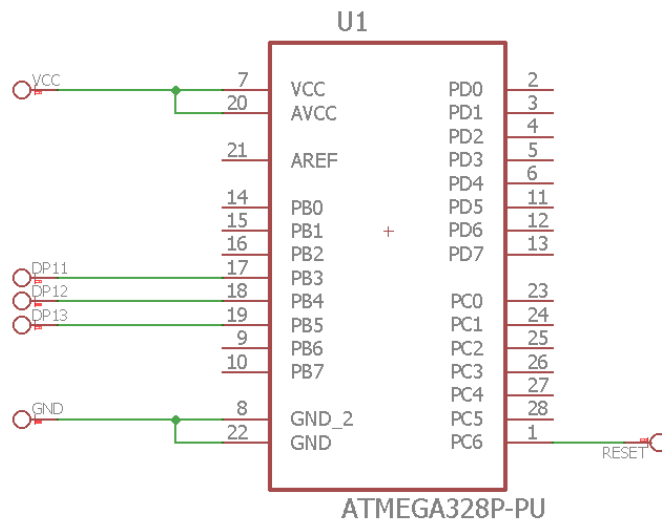
Po nahrání souborů gerber na webové stránky firmy JLCPCB byla vygenerován předběžný vzhled desky (obrázek 10). Cena výroby DPS byla 40 USD za 5 desek, po bližším přezkoumání parametrů výroby jsem zjistil, že velký vliv na cenu má rozměr desky. DPS o rozměrech menších než 100 mm v obou směrech mají cenu výroby 7 USD. Z tohoto důvodu bylo zapotřebí návrh DPS upravit. Kvůli snížení délky bylo nutné odstranit pájecí plošky pro antény a nahradit je otvory a přiblížit k sobě tlačítko s MCU tak, že může být nepříjemné tlačítko stisknout. Větší rozměr DPS je především kvůli použití MCU verze THT, který při výrobě další desky bude nahrazen verzí SMD s rozměry 9×9 mm.

Osazení součástek se poté dělí na několik částí: příprava pro osazení, příprava tisku pasty a samotné osazení. Osazení DPS vyrobené touto firmou je zdarma s tím, že součástky buď obstará firma (pokud je má), nebo je zašle zákazník. Firma JLCPCB nemá modul SIM868 a bylo by nutné jej shánět od jiného dodavatele v Číně a nechat přeposlat do firmy pro osazení. Pro rychlejší osazení desky byla osazena na univerzitě panem Ing. Leošem Petržílkou, který se specializuje na návrh a výrobu plošných spojů. Z firmy JLCPCB jsem si nechal vyrobit k desce ještě šablonu pro osazení součástek na obou stranách desky za 7,03 USD. Poštovné z Číny bylo počítáno na váhu a činilo 23,57 USD. Celkově v přepočtu tedy 920 Kč.

Součástky jsem nakupoval v elektronickém obchodě Transfer Multisort Elektronik (TME), ve kterém jsem kontroloval dostupnost součástek v průběhu návrhu. Nejdražšími součástkami jsou modul SIM868 a mikrokontroler Atmega328P. Modul v České republice lze sehnat za 344 Kč na www.tme.eu. Stejný čip lze z Číny sehnat za 4 USD, což je v přepočtu 87 Kč. Mikrokontroler Atmega328p ve verzi THT lze zakoupit ze stejného obchodu za 45 Kč a z Číny za 1,2 USD neboli 27 Kč. Další čipy pro řízení napájení, ochranu baterie, operační zesilovač a ochranné diody lze zakoupit v ceně 20 Kč za kus. Ostatní součástky jako jsou odpory, LED, kondenzátory atd. se kupují ve větším množství a přepočítávání ceny za kus nemá smysl.

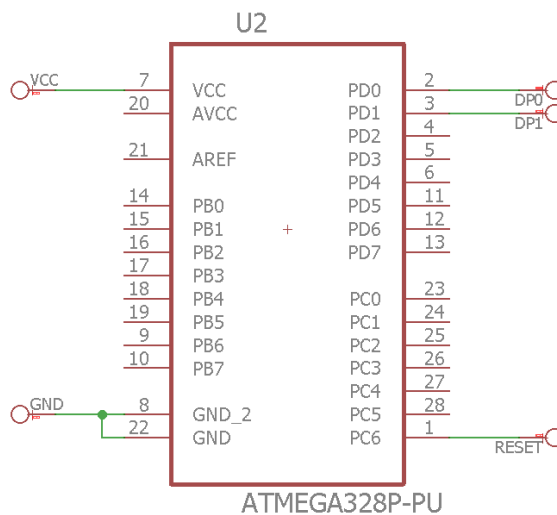
5.7 Konfigurace mikrokontroleru

Aby bylo možné do paměti MCU nahrát program skrz sériové rozhraní z programu Arduino IDE, bylo zapotřebí nejprve vypálit do paměti programu zavaděč (bootloader) [27]. Vývojové prostředí Arduino IDE umožňuje lehce zavaděč vypálit za pomoci desky Arduino Uno. Nejprve je však zapotřebí nakonfigurovat hardware MCU tak, aby využíval vnitřní 8 MHz oscilátor namísto externího, což je popsáno v návodech pro Arduino [28]. Pro vypálení zavaděče, je nutné nejprve nahrát program ArduinoISP do MCU desky Arduino Uno. Tento program nastavuje digitální piny 11, 12 a 13 desky na signály MISO, MOSI a CLK. Po nahrání kódu je MCU na desce nastaven jako programátor a je možné jeho prostřednictvím vypálit zavaděč do paměti MCU při správném zapojení (obrázek 11). Poté už jen stačí v prostředí Arduino IDE nastavit cílový MCU s frekvencí 8 MHz, upřesnit, že deska Arduino Uno je nakonfigurována jako AVRISP a vypálit zavaděč.



Obrázek 11: Zapojení MCU pro vypálení zavaděče

Následné programování probíhá stále přes desku Arduino Uno, avšak bez přítomnosti MCU na desce. Pouze dle schématu (obrázek 12) je deska připojena k cílovému MCU a poté je možné nahrávat program přímo z prostředí Arduino IDE. Tento postup nahrávání nepotřebuje desku Arduino Uno při použití alternativního zdroje napětí, což je mým cílem u další verze zařízení, kde nahrávání kódu bude přes rozhraní USB a vlastní aplikaci.



Obrázek 12: Nahrávání programu do MCU

5.8 Program mikrokontroleru

V příloze *Technický popis funkce zařízení* (příloha na CD) je uveden program MCU s ukázkami zdrojového kódu. Příloha popisuje způsob přepnutí zařízení do režimu spánku, využití jednotlivých přerušení a časovačů. Dále je zde popsán způsob komunikace mezi modulem SIM a MCU. Jsou zde uvedeny jednotlivé odpovědi modulu SIM na příkazy AT a jejich následné zpracování. Dostupné příkazy k využívání standardu Bluetooth modulu SIM jsou popsány v dokumentu [29]. Součástí je popis párování mobilního zařízení a možnost ovládání zařízení majitelem prostřednictvím zpráv SMS. Dále je zde popsán způsob posílání souřadnic GPS na webový server. Příkazy určené k používání standardu GPS jsou sepsány v dokumentu [30]. Nakonec je zde probíráno nastavení konfiguračních dat a jejich uložení v paměti.

5.9 Paměťová optimalizace programu

Paměť SRAM pro ukládání programu umožňuje uložit 4 kB dat. Do této paměti ukládá MCU statické textové řetězce, které jsou posílány sběrnici UART. Jedná se především o odpovědi na zprávy SMS a příkazy AT. Tyto řetězce se při kompilaci dopředu ukládají do paměti jako globální proměnné, ačkoli je posílání řetězce po sběrnici vykonáno v metodě, která se provede pouze jednou. Celkově tyto řetězce zabírají více jak 4 kB místa v paměti.

Jelikož tyto řetězce jsou statické, lze je definovat na začátku programu, ale s použitím jiné paměti, aby v paměti SRAM bylo možné uložit lokální proměnné metod. Je tedy vhodné, tato data uložit do paměti flash, kde je zároveň uložen program. Pro tyto účely lze využít knihovnu `pgmspace.h`, jejíž součástí je definice datového typu `PROGMEM`. Toto klíčové slovo říká kompilátoru, aby uložil hodnotu proměnné do paměti programu (zdrojový kód 1).

```
const char command_0[] PROGMEM = "AT+SAPBR=0,1";
const char command_1[] PROGMEM = "AT+CGATT=0";
const char *const message_table[] PROGMEM = { command_0, command_1};
```

Zdrojový kód 1: Ukázka ukládání dat do paměti programu

Jelikož řetězec je uložen jako pole znaků a pro každou zprávu a příkaz je definováno jedno pole, je nutné použít dvourozměrné pole, respektive pole, přes které pomocí indexů lze přistupovat k jednotlivým řetězcům. Toto pole `message_table` musí mít také použito klíčové slovo `PROGMEM`.

5.10 SMS brána

Aby bylo možné přeposlat zprávu SMS webovému serveru, je zapotřebí SMS brány. Takovéto zařízení se dá na trhu koupit, avšak pro potřeby prototypu jsem se rozhodl vytvořit vlastní. Pro příjem zpráv jsem využil vývojový přípravek s modulem SIM868 a desku Arduino Uno pro předávání zpráv po sériové lince prostřednictvím kabelu USB do počítače. Aplikace pro počítač je naprogramována v jazyce C#. Tato aplikace přijme data z Arduino Uno a přepošle je na webový server, kde se uloží do databáze.

5.10.1 Program pro Arduino

Arduino Uno se programuje v jazyce C v prostředí Arduino IDE. Pro tento program je nutné nadefinovat dvě sériové linky. Jedna slouží ke komunikaci s modulem SIM a druhá posílá data do počítače kabelem USB. Nejprve je zapotřebí nastavit modul do textového režimu SMS. Jelikož SMS brána je napájena 5 V z počítače prostřednictvím USB, lze využít pro jednoduchost metodu `loop`, která se bude neustále vykonávat. Zde je volána metoda `Serial_is_live` (zdrojový kód 2) podmíněná příchozí zprávou po sběrnici UART od modulu SIM.

```
void Serial_is_live()
{
    short ind = 0;
    short message_index = 0;
    char response[INPUT_SIZE+1];
    while(mySerial.available())
    {
        char c = mySerial.read();
        response[ind]=c;
        ind++;
    }
    GetMessage("AT+CMGL=\\"REC UNREAD\\\"", 1000, DEBUG);
}
```

Zdrojový kód 2: Získání informace o nové zprávě

Modul po přijetí zprávy posílá informaci MCU, proto po přijetí oznámení je zaslán příkaz `AT+CMGL=REC UNREAD` pro získání všech nepřečtených zpráv SMS. Jelikož se tato operace opakuje po každé přijaté zprávě, je vždy v seznamu pouze jedna nepřečtená zpráva. Následně je volána metoda `Get_message` (zdrojový kód 3), která zprávu SMS zpracuje a po přijetí koncového znaku „\r“ zprávy zašle data po sériové lince počítači.

```

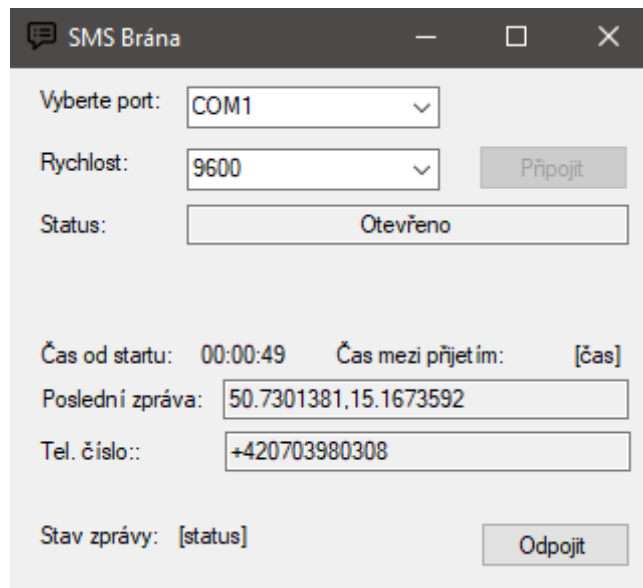
void GetMessage(char command[], const int timeout, bool debug)
{
    long int time = millis();
    short ind = 0;
    char response[INPUT_SIZE+1];
    while( (time+timeout) > millis())
    {
        while(mySerial.available())
        {
            char c = mySerial.read();
            response[ind]=c;
            ind++;
        }
    }
    if(debug)
    {
        for(int i=0;i<ind;i++)
        {
            if(response[i] == '\r' ) Serial.write(response[i]);
        }
    }
}

```

Zdrojový kód 3: Přeposílání nepřečtené zprávy do PC

5.10.2 Program pro PC

Tato část SMS brány je naprogramována v jazyce C# v prostředí Visual Studio 2019. Jedná se o WindowForms aplikaci (obrázek 13). Po spuštění programu je na výběr ze sedmi přenosových rychlostí od 2 400 do 115 200 Bd. Využitím třídy `SerialPort` je umožněno vybrat správný port COM, na kterém je připojeno Arduino. Následně stisknutím tlačítka „Připojit“ je volána metoda `ReadSerial` (zdrojový kód 4) v novém vlákně, aby aplikace dále reagovala na příkazy uživatele.



Obrázek 13: Aplikace SMS brány

```
private void ReadSerial()
{
    this.Invoke((MethodInvoker)delegate {
        string port = c_port.SelectedItem.ToString();
        sp = new SerialPort(port, Int32.Parse(speed.SelectedItem
        sp.Open();
        t_status.Text = "Otevřeno";
        b_disconn.Enabled = true;
        timeMessage = DateTime.Now;
        HandleData();
    });
}
```

Zdrojový kód 4: Otevření sériové komunikace na PC

V metodě `ReadSerial` se otevírá sériový port a volá asynchronní metoda `HandleData` (zdrojový kód 5), kde se čeká na zprávu a ta se následně zpracuje v metodě `ManageMessage`, jelikož zpráva obsahuje informace o telefonním čísle, ze kterého byla zpráva přijata a GPS souřadnice. Poté jsou jednotlivé části zprávy vypsané do okna aplikace jako záznam poslední zprávy a další asynchronní metodou `TransferDataAsync` se získané geografické souřadnice zasílají pomocí HTTP klienta na webový server prostřednictvím parametrů v řetězci URL.

```
private async void HandleData ()
{
    string data = "";
    using (var reader = new StreamReader(sp.BaseStream))
    {
        while (sp.IsOpen)
        {
            string x = await reader.ReadLineAsync();
            data = (x);
            ManageMessage(data);
        }
    }
}
```

Zdrojový kód 5: Získání zprávy SMS z brány GSM

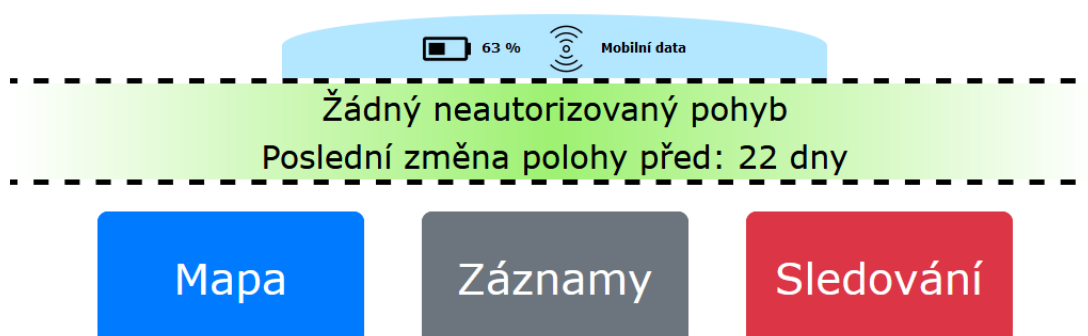
5.11 Webová aplikace

Je zapotřebí získané souřadnice ze zařízení zobrazit uživateli. majitel kola měl k těmto datům přístup odkudkoli, jsou využity webové stránky. V rámci mého semestrálního projektu jsem vytvořil jednoduchý web obsahující mapu se souřadnicemi GPS. Tato webová aplikace byla následně rozšířena o vizualizaci dodatečných informací ze zařízení, rozšíření databáze pro uložení těchto dat a úpravu funkčního kódu získávání a ukládání dat do databáze. Vzhled a princip webu zůstal stejný. Tato kapitola popisuje funkčnost celé webové aplikace

Pro ukládání dat je využita databáze MySQL [31]. Ačkoli použití databáze je zbytečné, bude výhodné v rozšiřování aplikace, kdy se velikost schématu databáze bude zvětšovat. Návrh databáze je jednoduchý, jelikož v potřebném základu se skládá ze dvou tabulek. Jedna je pro ukládání souřadnic GPS s časem, který se generuje automaticky při vložení dat. Druhá obsahuje informace o telefonním čísle, stavu baterie a metodě zasílání dat serveru. Jak se bude aplikace spolu s databází rozšiřovat je napsáno v kapitole 8.

Webová aplikace je naprogramována v jazyce PHP s využitím javascriptové knihovny JQuery. Webová aplikace se skládá ze šesti souborů. Hlavní stránka (`index.php`) zobrazuje základní informace o jízdním kole a možných dalších akcích (obrázek 14). Je zde napsáno, zda je kolo ukradené či nikoli a před jakou dobou byl získán poslední záznam o poloze kola. Je zde zobrazena informace o nastaveném způsobu posílání dat z modulu (SMS/mobilní data) a pokud jsou využívána mobilní data, je zobrazen aktuální stav baterie v procentech. V případě využívání zpráv SMS pro zasílání dat je namísto hodnoty stavu baterie napsáno „??“ značící neznámou hodnotu. Dále jsou zde tři tlačítka umožňující uživateli zobrazit si uložené souřadnice v tabulce nebo všechny na mapě.

Sledování kola



Obrázek 14: Úvodní stránka webu

Stránka *Záznamy* vypisuje veškerá data z databáze a zobrazuje je v tabulce, kterou jsem vytvořil využitím javascriptové knihovny DataTables [32]. Tato stránka (obrázek 15) uživateli poskytne informaci o počtu zaslaných zpráv, intervalech mezi jednotlivými zprávami. Tabulka umožňuje filtrování dat a vyhledávání.



Show 10 entries

Search:

#	Čas	Zeměpisná šířka	Zeměpisná délka
1641	24.11.2020 16:49:42	50.729892	15.16817
1642	24.11.2020 16:59:06	50.730012	15.168238
1643	24.11.2020 17:03:09	50.730013	15.168233
1644	24.11.2020 17:03:45	50.73001	15.168232
1645	24.11.2020 17:09:25	50.730067	15.16824
1646	24.11.2020 17:10:22	50.730067	15.16824
1647	24.11.2020 17:21:23	50.73001	15.168275
1648	24.11.2020 17:21:58	50.730012	15.168265
1649	24.11.2020 17:28:30	50.730092	15.168243
1650	24.11.2020 17:29:42	50.73007	15.168262

Showing 1,641 to 1,650 of 1,655 entries

[Previous](#) [1](#) ... [162](#) [163](#) [164](#) [165](#) [166](#) [Next](#)

Obrázek 15: Stránka se seznamem souřadnic GPS

Stránka *Mapa* vykresluje získané souřadnice na mapě. Je použita javascriptovou knihovna Leaflet [33] pro vykreslení mapy. Jako mapový podklad je využit OpenStreetMap [34]. Na mapu se vykreslují veškeré souřadnice GPS uložené v databázi jako posloupnost bodů, kde první a poslední pozice je znázorněna markerem. V případě malé vzdálenosti mezi dvěma po sobě jdoucími body, se jeden bod nevykreslí. Vzdálenost mezi body určuje rozdíl mezi danými dvěma souřadnicemi. Záznamy z databáze jsou rozděleny do sad bodů, které jsou určeny časovými intervaly mezi dvěma po sobě jdoucími body. Poslední bod uložený v databázi je zvýrazněn červeným markerem na mapě. U každého bodu lze kliknutím na bod zjistit přesnou dobu, kdy byly získány dané souřadnice pomocí pop-up zprávy.

Stránka *Sledování* slouží pro jednoduché a přehledné zobrazení aktuální polohy kola v případě krádeže. Na mapu se zde vykreslují pouze poslední tři body spojenými čarou a naposledy přidaný záznam je označen červeným markerem (obrázek 16). Nad mapou je umístěna tabulka obsahující zobrazené tři poslední body a jejich adresy, které jsou získávány prostřednictvím pluginu Geocoder pro Leaflet. Aby nebyla nutnost aktualizovat celou webovou stránku pro zobrazení nově přidaných bodů, je využita funkce AJAX knihovny jQuery. Tato funkce asynchronně v intervalu deseti sekund volá soubor `posledni.php`, který vrací nové souřadnice. Záznam je vždy maximálně jeden a vkládá se do tabulky nad mapu, jejíž záznamy se v důsledku této akce posunují a poslední se zahazuje. Následně je celá mapa překreslena s novými body.

<
Všechny záznamy

#	Čas	Zeměpisná šířka	Zeměpisná délka	Adresa
1	24.11.2020 17:43:17	50.729997	15.168325	Petra Bezruč 3633/60, 466 01, Jablonec nad Nisou, Liberecký kraj
2	24.11.2020 17:39:48	50.729985	15.168315	Petra Bezruč 3633/60, 466 01, Jablonec nad Nisou, Liberecký kraj
3	24.11.2020 17:35:07	50.73	15.168355	Antonína Dvořáka, 466 01, Jablonec nad Nisou, Liberecký kraj

Obrázek 16: Stránka sledování webu

Pro připojení k databázi MySQL je použito rozšíření třídy `mysqli` (zdrojový kód 6), kde se předávají přihlašovací údaje k databázi jako argumenty konstruktoru. Ukládání dat do databáze je vyřešeno v souboru `vlozit.php`, kde z adresy URL jsou získány parametry `lon` a `lat`, následně se zkontroluje, zda odpovídají struktuře souřadnic GPS a poté jsou vloženy do tabulky databáze MySQL příkazem `INSERT`. V tabulce se poté k přidanému záznamu připiše čas vložení.

```

class mojeMysql extends mysqli
{
    function __construct($adresa,$login,$heslo,$db)
    {
        parent::__construct($adresa,$login,$heslo,$db);
        $this->set_charset('utf8');
    }
}
...

$lon = $_GET['lon'];
$lat = $_GET['lat'];
$this->mojeMySQL-
>query("INSERT INTO zaznam (lon, lat) VALUES ($lon, $lat)");
$this->mojeMySQL->Close();

```

Zdrojový kód 6: Připojení k databázi a uložení záznamu

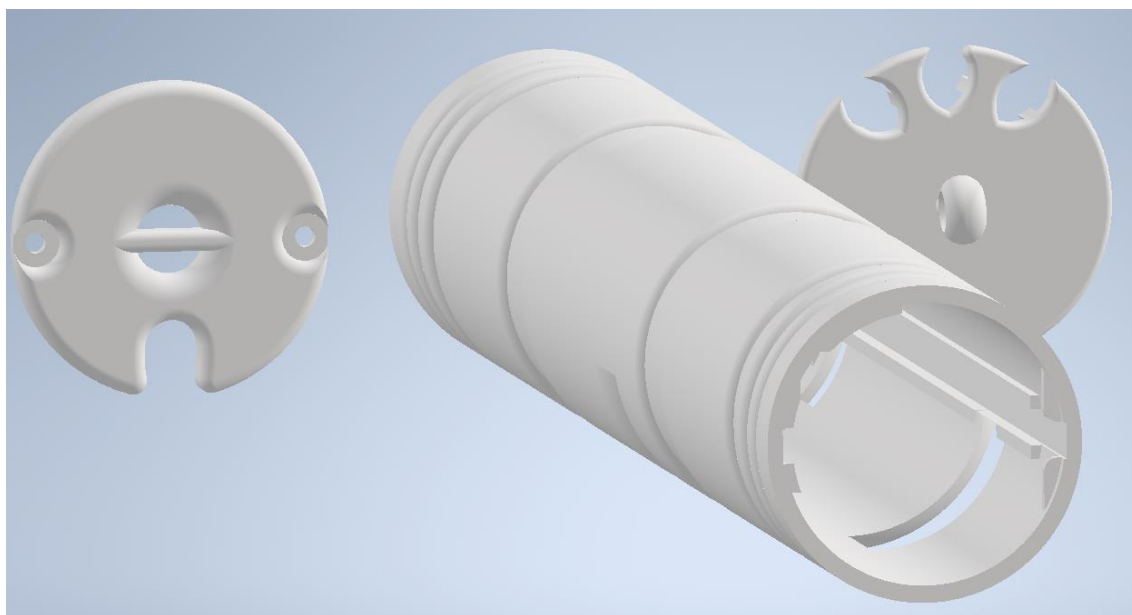
Výsledná webová aplikace musí být nahrána na přístupném serveru. Pro otestování prototypu je využít server poskytující webhosting i s doménou zdarma. Takovýchto služeb je mnoho a liší se v podporovaných technologiích, velikosti úložného prostoru a dostupnosti serveru. Využil jsem hosting 000webhost [35], který poskytuje potřebnou funkcionalitu, úložiště o 1 GB a uspokojivou dostupnost stránek a databáze.

5.12 Krabíčka pro zařízení

Aby zařízení bylo možné umístit do konstrukce kola, je zapotřebí krabíčky, která zamezí pohybu DPS a baterie. Krabíčka musí být válcová o vnitřním průměru šířky desky (20,3 mm) a co nejmenším vnějším průměru. Dále musí být možnost umístit do válce i baterii a vyvést antény, aby v případě slabého signálu mohly být vyvedeny mimo konstrukci kola. Jelikož sehnat již vyrobenou krabíčku odpovídající těmto požadavkům je téměř nemožné, krabíčku jsem navrhnul a nechal vytisknout na 3D tiskárně.

5.12.1 Návrh krabičky

Pro návrh modelu krabičky jsem použil program Autodesk Inventor Professional 2021 [36], jelikož Technická univerzita v Liberci poskytuje studentům licenci zdarma. Samotný návrh desky je rozdělen na jednotlivé součásti a ty se posléze spojí v sestavě, ze které se vytvoří soubor s příponou *stl* pro tisk na 3D tiskárně. Na obrázku 17 je sestava krabičky z těla a dvou vík.



Obrázek 17: Návrh krabičky pro 3D tisk

Hlavní součástí je tělo krabičky. Horní polovina slouží pro umístění DPS. Pro zamezení otáčení desky jsou po stranách vodící lišty. Mezi spodní a dolní částí každé z lišt je 1,8 mm místa na 1,6 mm silnou desku. V místech, kde je na desce umístěno tlačítko a LED, jsou v krabičce otvory pro umožnění přístupu k těmto periferiím. Spodní část je určena k umístění baterie s bateriovým držákem pro pouzdro ICR14500. Prostor je vyplněn tak, aby se do této části vešel pouze držák a nabíjecí kabel USB. Zároveň výplň slouží jako zarážka pro DPS a tím zamezení jakéhokoli pohybu desky v krabičce. Z vnější strany jsou na obou koncích válce 3 zářezy o síle 1, 2 a 3 mm pro umístění gumových těsnících kroužků pro upevnění krabičky uvnitř vidlice nebo sedlové tyče o větším vnitřním průměru než 23 mm. Pro případ většího rozdílu než jednotek milimetrů, jsem umístil další dva zářezy o šířce 10 mm z každé strany umožňující přidání širšího materiálu.

Aby bylo možné desku s baterií pohodlně vložit do krabičky, jsou oba konce válce krabičky odmontovatelné. Spodní víko je uchyceno dvěma šroubky o průměru 2 mm, zároveň je uprostřed víka díra s příčkou sloužící jako pomůcka pro vytažení krabičky z konstrukce kola. Na kraji víka je další díra sloužící pro vývod napájecího kabelu.

Uprostřed horního víka je háček umožňující vytáhnout krabičku se zařízením z konstrukce kola v případě vložení krabičky opačnou stranou. Víko má tři otvory pro vyvedení antén, které poté mohou být umístěny vně konstrukce. Horní víko lze připevnit k hlavní části prostřednictvím 1 mm silné lišty po obvodu víka rozdělenou na tři části. Uvnitř hlavní části je stejná lišta ve třech částech na stejných místech. Pro pevné uchycení víka je nutné víko nasadit a poté pootočit o zhruba 45°. Tím se lišta víka uchytí pod lištou hlavní části a zarazí se o výstupek na koncích částí lišty.

5.12.2 Výroba krabičky

Soubor s příponou *stl* je možné vytisknout na 3D tiskárně. Využil jsem tiskárnu Prusa i3 MK3S od české firmy Prusa Research [37]. Pracovní plocha tiskárny v osách X, Y, Z je 250, 210, 210 mm, což je dostačující, jelikož délka krabičky je 170 mm s vnějším průměrem 23 mm. Důležitou vlastností pro návrh modelu je přesnost tiskárny. Dle vlastností tiskárny poskytnutých výrobcem je přesnost tolerance při tisku 0,1 mm na ose Z a 0,3 mm na osách X a Y. Pokud je provedena kalibrace multiplikátoru Extruze a korelace linearity extruderu, může se snížit až na 0,05 mm. Dalším faktorem, s vlivem na přesnost tolerance, je materiál, který se může při ochlazování smršťovat a filamenty nízké kvality s nerovnoměrným průměrem způsobí nerovnoměrnou extruzi. Pro tisk krabičky byl využit materiál PETG, který při ochlazení nemá tendenci se smršťovat.

6 Testování

Zařízení a jeho části bylo zapotřebí testovat v průběhu celé práce. Nejprve byly testovány obvody, poté program zařízení a následně antény. Nakonec byla testována spotřeba mobilních dat při posílání souřadnic GPS na webový server.

6.1 Test obvodů

V rané fázi práce, bylo vhodné testovat všechny navržené a doporučené obvody na nepájivém poli. Pro otestování modulu SIM868 bylo využito vývojového přípravku, který má veškeré potřebné periferie zapojeny se všemi obvody pro správnou funkci zařízení. Pro otestování MCU byla využita vývojová deska Arduino Uno. Po připojení komunikace mezi těmito deskami a sériovou linkou k počítači bylo možné ladit příkazy AT a zjišťovat, jak správně zpracovávat odpovědi modulu.

6.2 Test antén

Uzavřenost zařízení v konstrukci kola nejvíce ovlivňuje anténu GPS, avšak i když je umístěna uvnitř vidlice, stále je schopna na volném prostranství zachytit stabilní signál během několika sekund v případě „warm“ startu s přesností na 15 metrů v nejhorším případě. Připojení k mobilnímu zařízení prostřednictvím standardu Bluetooth lze na vzdálenost 20 metrů. Posílání dat využitím antény GSM probíhalo bez problému.

6.3 Testování zasílání dat

Zasílat informace lze buď prostřednictvím mobilních dat, či SMS zprávami. Rozdíl v těchto alternativách je cena a spolehlivost. Ačkoli pokrytí České republiky technologií 2G je 99 %, může se stát, že zařízení nebude mít dostatečný signál pro posílání souřadnic přes mobilní data. Z tohoto důvodu program zařízení kontroluje sílu signálu a pokud je příliš slabý, informuje majitele prostřednictvím zprávy SMS. Při využití mobilních dat zabírá jedna zpráva přibližně 1 kB. Při krádeži kola se posílají souřadnice GPS nejprve každých 8 sekund. Tento interval může trvat zhruba 2 až 3 hodiny, což je až 1350 zaslaných zpráv. Spotřebuje se tedy 1,35 MB dat. V případě využití tarifu je potřeba data každý měsíc dokupovat a nabízené balíčky jsou po stovkách MB, tedy v daný měsíc by bylo využito méně než 10 % zakoupených dat. Pokud by stejné množství zpráv bylo odesíláno prostřednictvím SMS zpráv, byla by celková cena, bez zakoupeného balíčku, při 1,50 Kč za SMS 2 025 Kč. Z tohoto důvodu by bylo vhodné umožnit uživateli nastavit si intervaly zasílání dat, jelikož může mít zakoupený tarif s neomezenými zprávami SMS.

6.4 Testování baterie

Z časových důvodů byla výdrž baterie testována měřením odebíraného proudu. Bylo zapotřebí změřit velikost proudu ve všech módech, které mohou při běžném používání nastat. Ze znalosti kapacity použité baterie a odhadu doby trvání jednotlivých odběrů proudu lze propočítat, jak dlouho by mohla baterie vydržet napájet obvod.

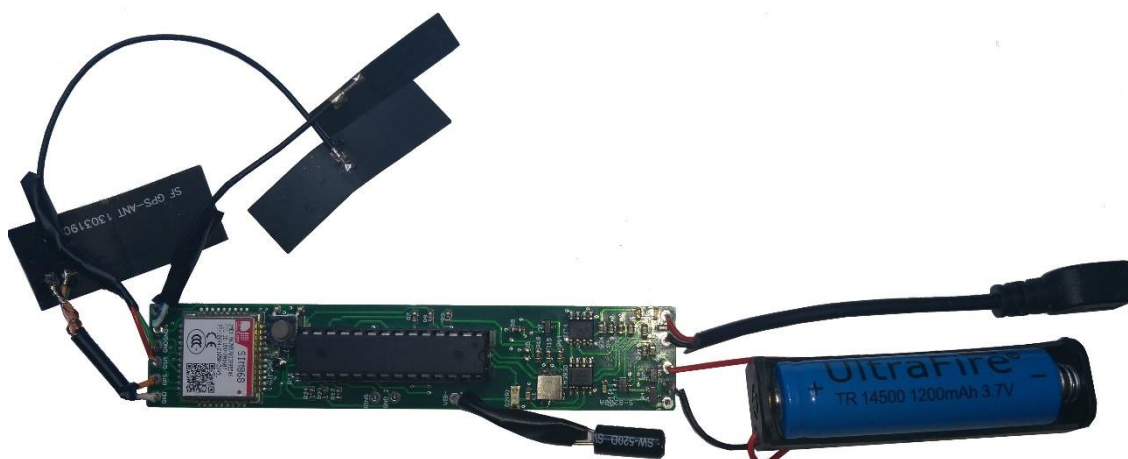
Pro měření proudu byl využit rezistor pro snímání proudu (shunt) o velikosti 150 m Ω , na kterém bylo měřeno napětí a pomocí Ohmova zákona přepočítán na proud. Nejprve byl měřen proud v režimu spánku jak MCU, tak modulu SIM. V tomto stavu odebírá zařízení 2,2 mA. Jedná se o režim, ve kterém zařízení bude většinu času (nepoužívání kola nebo zastavení během jízdy). Při usnutí pouze MCU a modulu SIM, připojenému k mobilnímu telefonu majitele prostřednictvím Bluetooth, což nastává při probíhající jízdě vždy na osm sekund, je spotřeba zařízení 8,4 mA. V dalším stavu jsou aktivní všechny prvky systému s aktivní anténou Bluetooth nebo GPS a zařízení odebírá 27,6 mA. Tento stav trvá po dobu vykonání jednoho úkonu (čekání na signál GPS, posílání souřadnic, zpracování SMS, připojování k mobilu majitele nebo párování). Při aktivaci antény modulu SIM dojde ke krátkému odběru proudu až 2 A. Doba trvání tohoto impulsu se mi nepodařila změřit a tento odběr není součástí odhadu výdrže baterie.

Pokud je použita baterie o kapacitě 1 200 mAh, lze se očekávat, že zařízení bude funkční 23 dní v případě nepoužívání kola. Pokud je baterie plně nabitá a systém zaznamená krádež, odběr proudu z baterie se skládá ze všech stavů zmíněných výše. Pokud uvažujeme pohyb kola po dobu 3 hodin od krádeže, a následné uschování jízdního kola (nepohybuje se) po zbytek času, vydrží zařízení na baterii zhruba 18 dní, než modul SIM zaznamená nedostatečné napětí a vypne se.

Při znalosti doby výdrže baterie se stále musí brát v potaz, že po krádeži kola uživatel nemá možnost baterii nabít a výdrž baterie by měla být alespoň týden v režimu spánku a posílání souřadnic GPS. Proto je nutné informovat uživatele zprávou SMS o hraniční hodnotě stavu baterie (pod 40 %), kdy v případě krádeže kola už nemusí zařízení fungovat dostatečně dlouho a je proto nutné baterii nabít.

7 Výsledné zařízení

Při používání výsledného zařízení (obrázek 18) musí uživatel nejprve vložit SIM kartu do slotu na desce. Následně připojí napájení (odstraní izolační pásek z baterie), zařízení vloží do krabičky a tu do konstrukce svého kola. Systém nebude funkční, dokud uživatel nespáruje se zařízením alespoň jeden mobilní telefon. Po úspěšném párování pošle zprávu SMS pro nastavení svého telefonního čísla, na které chce zasílat upozornění a v případě potřeby změni způsob posílání souřadnic GPS. Ve výchozím nastavení se souřadnice posílají prostřednictvím zpráv SMS. Po konfiguraci se už o zařízení nemusí starat a nechá ho zapnuté ve svém jízdním kole. Pokud uživatel chce rychlou reakci na případnou krádež, umístí kolo do otevřeného prostoru a zašle zprávu SMS na SIM kartu v zařízení pro jednorázové získání souřadnic, čímž urychlí příští hledání signálu GPS.



Obrázek 18: Výsledné zařízení

Zařízení po párování s mobilním telefonem připojí přerušeni z pinu otřesového čidla a celý systém se přepne do režimu spánku. V případě zaregistrování pohybu se systém probudí přerušením. Přerušeni pohybem se odpojí, a následně se zařízení pokusí připojit k alespoň jednomu ze spárovaných zařízení majitele prostřednictvím Bluetooth. Pokud se připojení podaří, zapne MCU časovač WDT s nastaveným přerušením každých 8 sekund a pouze MCU se přepne do režimu spánku, zatímco modul SIM je stále připojen k mobilnímu telefonu uživatele. Po 8sekundách, co WDT vyvolá přerušeni, se opět připojí přerušeni vyvolávané pohybem. Pokud je jízdní kolo stále v pohybu, kontroluje se jednou za 8 sekund přítomnost majitele. V případě, že po vyvolání přerušeni WDT nedojde k pohybu kola, tak systém počítá, kolik cyklů přerušeni WDT

nedošlo k aktivaci pohybem. Jakmile třikrát po sobě přeteče WDT a nedojde k pohybu kola (tedy po 24sekundách), uspí se navíc i modul SIM, časovač WDT se deaktivuje a zůstane pouze přerušeni pohybem a pinem RI. Pokud dojde k opětovnému pohybu, celý proces se opakuje.

V případě, že se nepodaří ověřit přítomnost majitele, zašle se informační zpráva SMS o detekci pohybu a inicializuje se GPS. Po nalezení signálu se na základě konfigurace systému zašle první souřadnice GPS na webový server. Intervaly zasílání souřadnic fungují na stejném principu jako ověřování majitele. Každých 8 sekund se začne kontrolovat pohyb, a pokud k němu dojde, zašle se další souřadnice. Pokud k pohybu nedojde po dobu 24 sekund, celý systém se uspí a čeká na další přerušeni pohybem. Tímto způsobem lze zasílat souřadnice GPS pouze, když je kolo v pohybu. Jakmile je někde uschováno, systém se uspí a tím prodlouží výdrž baterie.

Pokud už je uživatel na místě, kde se nachází jeho kolo bez přímé viditelnosti, může zaslat zprávu SMS pro zapnutí vyzvánění a následně zavolat na telefonní číslo zařízení, čímž aktivuje bzučák. Ve chvíli, kdy kolo má uživatel opět u sebe zašle zprávu SMS se žádostí o vypnutí indikace krádeže anebo stiskne tlačítko na zařízení. Následně se systém pokusí připojit k mobilnímu zařízení majitele a po úspěšném připojení se indikace krádeže kola vypne. Tím se přestanou posílat souřadnice na webový server a systém se vrátí do režimu spánku s kontrolou přítomnosti mobilního telefonu majitele při detekci pohybu.

Během jakékoliv situace lze modulu zasílat zprávy SMS se žádostmi o změnu nastavení či zaslání informace o stavu zařízení. V případě obdrženi zprávy SMS se prodlouží doba mezi zasláním dalších souřadnic GPS na server o dobu potřebnou pro vyřízení žádosti ze zprávy. Po vyvolaném libovolném přerušeni se vždy kontroluje stav baterie a v případě nastavení možnosti posílání informací prostřednictvím mobilních dat se změna zbývajících procent baterie zašle na webový server. Pokud dojde k poklesu baterie pod 40 %, zašle systém informaci majiteli o slabé baterii na telefonní číslo uložené v paměti EEPROM.

8 Plánované rozšíření

Prototyp systému má spoustu nedostatků a postupným vývojem jsem přicházel na další možné způsoby, jak jednotlivé části práce řešit nebo vylepšit. Zařízení jsem vypracoval tak, aby vše fungovalo a dalo se otestovat v provozu, avšak způsob ovládání zařízení a zpracování některých způsobů řešení není ideální.

Pro možnost registrace více uživatelů je zapotřebí přidat registraci a správu uživatelů do webové aplikace. Uživatelé musí být umožněno uložit telefonní číslo SIM karty, kterou vložil do zařízení pro identifikaci příchozích zpráv. Dalším doplňkem by měla být možnost ovládat zařízení prostřednictvím webových stránek, a ne pouze zprávami SMS.

Posíláním zpráv o poloze pouze se souřadnicemi GPS je úsporné na velikost, avšak problémem vkládání času až v databázi je nemožnost určit, kdy zpráva byla ze zařízení odeslána. V ojedinělých případech se může stát, že zpráva na server nedorazí ve stejný čas vlivem okolního prostředí jízdního kola či výpadkem signálu. Z tohoto důvodu by bylo vhodné přidat informaci o čase odeslání k odesílané zprávě. Tento čas by se pak dal porovnat s časem vložení souřadnic do databáze, což by mohlo informovat uživatele, že se jedná o opožděnou zprávu.

Posílání GPS souřadnic je v tomto řešení nezabezpečené, jelikož kdokoli může vkládat data do databáze bez jakéhokoliv ověření. Během testování prototypu tato metoda zasílání dat postačuje, ale je zapotřebí k získaným datům ze zařízení přidat ověření, čímž by se kontrolovalo, zda souřadnice byly poslány ze zařízení či ne. Při posílání souřadnic přes SMS zprávy stačí ověřit, zda dané telefonní číslo je registrováno jako zařízení pro střežení kola. U posílání souřadnic prostřednictvím mobilních dat bude potřeba využít nějakého klíče pro ověření.

9 Shrnutí práce

Vytvoření zařízení dle zadání se skládá z výběru řídicích jednotek (kapitola 5.1) sestavení jednotlivých obvodů (kapitola 5.4), návrhu DPS (kapitola 5.5) a naprogramování mikrokontroleru (kapitola 5.8) tak, aby funkčnost zařízení umožnila najít ztracené či ukradené kolo. Pro zajištění plné funkčnosti systému byly vytvořeny webové stránky s databází pro ukládání a následné zobrazení souřadnic GPS na mapě (kapitola 5.11). Pro možnost zasílání těchto informací prostřednictvím zpráv bylo zapotřebí vytvořit jednoduchou SMS bránu (kapitola 5.10), která přijímá zprávy ze zařízení a přeposílá je na webový server. Pro umožnění změny konfigurace zařízení byla přidána možnost zasílání zpráv SMS o předem daných řetězcích, které je možné posílat z jakéhokoliv telefonního čísla. Aby bylo možné zařízení umístit bezpečně do konstrukce jízdního kola, bylo zapotřebí navrhnout model válcové krabičky (kapitola 5.12) umožňující vyvedení antén a pevného uchycení DPS a baterie.

Cílem této práce bylo vytvoření zařízení umožňujícího nalezení jízdního kola v případě krádeže. Jelikož GPS lokátorů je na trhu velké množství, bylo vhodné toto zařízení odlišit a doplnit dalšími funkcemi. Na rozdíl od ostatních zařízení pro střežení kola, která fungují na stejném principu využitím otřesového čidla, vyniká jednoduchostí a snadnou ovladatelností. Zároveň byl kladen důraz na nízké výrobní náklady v případě sériové výroby a levný provoz zařízení. Zatímco u již na trhu dostupných zařízení musí uživatel zamykat a odemykat prostřednictvím mobilní aplikace a platit roční poplatky za aktivní službu, pro funkčnost zařízení z této práce uživatel pouze hlídá stav kreditu na SIM kartě. Produkty tohoto typu lze v České republice zakoupit za několik tisíc korun. Cena výroby jednoho zařízení (prototypu) je 450 Kč, když byla deska vyrobena v Číně. Cena je bez osazení součástkami, které stejná firma může provést za 190 Kč. Zároveň do výsledné částky 640 Kč není započítáno poštovního a placení cla. Pro plánovanou komercializaci bude, při sériové výrobě sto kusů stejných desek, cena na jedno zařízení podstatně nižší.

Testováním výsledného zařízení jsem zjistil, jak datově náročné je zasílání informací prostřednictvím mobilních dat a jak se prodraží využívání pouze zpráv SMS. Dále jsem zjistil odběry proudu zařízení v jednotlivých funkčních stavech a vytvořil předpoklad doby výdrže baterie na jedno nabití. Zjistil jsem, že umístění antén uvnitř jízdního kola nijak znatelně neovlivňuje funkčnost zařízení.

Použitá literatura

- [1] Kriminalita - Policie České republiky. *Policie České republiky* [online]. Strojnická 27, 170 89 Praha 7, 2020 [cit. 2021-1-4]. Dostupné z: <https://www.policie.cz/statistiky-kriminalita.aspx>
- [2] Smart Mini GPS Tracker. *AliExpress* [online]. Chang-čou, Čína: Alibaba Group, 2020, 2020 [cit. 2020-6-27]. Dostupné z: <https://www.aliexpress.com/item/4000389339848.html>
- [3] GPS Tracker. *AliExpress* [online]. Chang-čou, Čína: Alibaba Group, 2020, 2020 [cit. 2020-6-27]. Dostupné z: <https://www.aliexpress.com/item/4000013608849.html>
- [4] Smile Motion: Smile by FIXED. *FIXED* [online]. frontio, c2020, 2020 [cit. 2020-6-27]. Dostupné z: <https://www.fixedsmile.com/cs/product/smile-motion/>
- [5] GPS GF-07. *Cameras / User manual* [online]. Org-Info.Mob, c2020, 2020 [cit. 2020-6-27]. Dostupné z: <https://org-info.mobi/manual/gf-07.htm>
- [6] *Digital Matter: GPS & IoT Tracking Device Manufacturers* [online]. Digital Matte, c2020 [cit. 2020-6-27]. Dostupné z: <https://www.digitalmatter.com/>
- [7] GPS Tracker TK102B. *Zabezpečovací zařízení* [online]. c2020 [cit. 2020-12-28]. Dostupné z: <https://www.zabezpecovaci-zarizeni.cz/vyhledavani-trasovani-osob-veci/bateriovy-gps-tracker-a-lokator-tk102b-s-gsm-modulem-%5Bw2863%5D>
- [8] TKSTAR GPS TRACKER. [*TKSTAR CAR TRACKER,TKSTAR PET TRACKER...*] [online]. c2020 [cit. 2020-6-28]. Dostupné z: <http://www.tkstargps.com/ProductShow.asp?ID=189>
- [9] Helmer LK514. *Helmer-europe* [online]. Helmer-Europe, c2018 [cit. 2020-6-31]. Dostupné z: <https://www.helmer-europe.cz/gps-lokatory/helmer-lk514#product-description>
- [10] See.Sence AIR. *See.Sense* [online]. c2020 [cit. 2020-6-28]. Dostupné z: <https://seesense.cc/pages/see-sense-air>
- [11] Invoxia GPS Tracker: GPS Tracker without SIM card. *See.Sense* [online]. c2020 [cit. 2020-6-28]. Dostupné z: <https://www.invoxia.com/sk/gps-tracker>
- [12] TRACKITO - zabezpečení vašeho majetku. *Trackito* [online]. c2020 [cit. 2020-6-28]. Dostupné z: <https://www.trackito.com/cs>

- [13] Quectel GSM/GPRS/GNSS MC60. *Quectell Wireless Solutions* [online]. c2020 [cit. 2020-8-15]. Dostupné z: <https://www.quectel.com/product/mc60.htm>
- [14] *SIMCom Wireless Solutions* [online]. SIMCom Wireless Solutions Limited, c2018-2020 [cit. 2020-8-15]. Dostupné z: <https://www.simcom.com/>
- [15] PARAI, Manas, Banasree DAS a Gautam DAS. An Overview of Microcontroller Unit: From Proper Selection to Specific Application. *International Journal of Soft Computing and Engineering (IJSCE)*. 2013, (2), 228 - 231. ISSN 2231-2307.
- [16] SLICHTER, Charles, CARDONA, Mananuel, Klaus VON KLITZING, Hans-Joachim QUEISSER a Peter FULDE, ed. *Principles of Magnetic Resonance*. 3rd. Department of Physics, University of Illinois: Springer-Verlag Berlin Heidelberg New York, 1990. ISBN 978-3-642-08069-2.
- [17] ELFERGANI, Issa, Abubakar S. HUSSAINI, Jonathan RODRIGUEZ a Raed ABD-ALHAMEED. *Antenna Fundamentals for Legacy Mobile Applications and Beyond*. Cham, Switzerland: Springer International Publishing, 2018. ISBN 978-3-319-63966-6.
- [18] HALONEN, Timo, Javier ROMERO a Juan MELERO, ed. *GSM, GPRS and EDGE Performance: Evolution Towards 3G/UMTS*. 2nd. London: John Wiley, 2003. ISBN 0-470-86694-2.
- [19] HOFMANN-WELLENHOF, Bernhard, Herbert LICHTENEGGER a Elmar WASLE. *GNSS – Global Navigation Satellite Systems: GPS, GLONASS, Galileo, and more*. Austria: SpringerWienNewYork, 2008. ISBN 978-3-211-73012-6.
- [20] HUNN, Nick, Herbert LICHTENEGGER a Elmar WASLE. *Essentials of Short-Range Wireless*. Cambridge: Cambridge University Press, 2010. ISBN 978-0-521-76069-0.
- [21] HÁJEK, Vojtěch. *Zařízení pro střežení jízdního kola*. Liberec, 2019. Semestrální projekt. Technická univerzita v Liberci. Vedoucí práce Mgr. Kamil Nešetřil, Ph.D.
- [22] BARNETT, Richard H., Sarah COX a Larry O'CULL. *Embedded C programming and the Atmel AVR*. 2nd ed. Clifton Park: Thomson, c2007. ISBN 14-180-3959-4.

- [23] SIM868_Series_Hardware_Design_V1.07. *MT System* [online]. c2020, 18. 1. 2018 [cit. 2020-10-7]. Dostupné z: http://mt-system.ru/sites/default/files/documents/sim868_series_hardware_design_v1.07.pdf
- [24] S-8200A Series: BATTERY PROTECTION IC FOR 1-CELL PACK. *Ablic Inc.* [online]. c2016-2020 [cit. 2020-10-17]. Dostupné z: https://www.ablic.com/en/doc/datasheet/battery_protection/S8200A_E.pdf
- [25] TP4056: A Standalone Linear Li-Ion Battery Charger. *TP4056 / Datasheet* [online]. 2020, 2020 [cit. 2020-10-17]. Dostupné z: <http://www.tp4056.com/d/tp4056.pdf>
- [26] PCB Prototype. *PCB Prototype & PCB Fabrication Manufacturer* [online]. JLCPCB.COM, c2020, 2020 [cit. 2020-11-2]. Dostupné z: <https://cart.jlpcb.com/quote>
- [27] Bootloaders. HUGHES, J. M. *Arduino The Technical Reference: Handbook for Technicians* Sebastopol, California: O'Reilly Media, 2016, 92 - 94. ISBN 978-1-491-92176-0.
- [28] From Arduino to a Microcontroller on a Breadboard. *Arduino* [online]. Arduino, 2020, 05, 2018 [cit. 2020-10-17]. Dostupné z: <https://www.arduino.cc/en/Tutorial/BuiltInExamples/ArduinoToBreadboard>
- [29] SIM800 Series _Bluetooth_ Application Note_V1.07. *SIMCom* [online]. SIMCom, 2020, 31.10. 2017 [cit. 2020-11-2]. Dostupné z: https://simcom.ee/documents/SIM800x/SIM800%20Series_Bluetooth_Application%20Note_V1.07.pdf
- [30] SIM800 Series_GNSS_Application Note. *SIMCom* [online]. SIMCom, 2020, 10.4. 2015 [cit. 2020-11-2]. Dostupné z: https://www.elecrow.com/download/SIM800%20Series_GNSS_Application%20Note%20V1.00.pdf
- [31] *MySQL* [online]. Oracle Corporation, 2020 [cit. 2020-11-26]. Dostupné z: <https://www.mysql.com/>
- [32] *DataTables: Table plug-in for jQuery* [online]. Scotland: SpryMedia, c2007–2020 [cit. 2020-11-26]. Dostupné z: <https://datatables.net/>
- [33] Leaflet: an open-source JavaScript library [online]. Vladimir Agafonkin, 2019 [cit.2020-12-15]. Dostupné z: <https://leafletjs.com/>

- [34] *OpenStreetMap* [online]. Oracle Corporation, c2020 [cit. 2020-12-15].
Dostupné z: <https://www.openstreetmap.org>
- [35] *Bezplatný web hosting* [online]. webhost.com, c2007–2020 [cit. 2020-12-15].
Dostupné z: <https://cz.000webhost.com/>
- [36] Inventor: Software pro strojírenské návrhy a 3D CAD. *Autodesk: Software pro 3D navrhování, projektování a zábavu* [online]. Autodesk, c2020, 2020 [cit. 2020-12-15]. Dostupné z:
<https://www.autodesk.cz/products/inventor/overview>
- [37] Stavebnice 3D tiskárny Original Prusa i3 MK3S+. *Prusa3D: 3D tisk a 3D tiskárny od Josefa Průši* [online]. <https://www.prusa3d.cz/>: Prusa Research, c2020, 2020 [cit. 2020-12-15]. Dostupné z: <https://shop.prusa3d.com/cs/3d-tiskarny/180-stavebnice-3d-tiskarny-original-prusa-i3-mk3s.html>

Příloha na CD

- Text diplomové práce
 - diplomova_prace_2021_Vojtech_Hajek.pdf
 - diplomova_prace_2021_Vojtech_Hajek.docx
- Přílohy textu práce
 - technický popis funkce zařízení.pdf
 - semestrální_projekt_2019_Vojtech_Hajek.pdf
- Zdrojový kód systému
 - program mikrokontroleru (v jazyce C)
 - program SMS brány (v jazyce C, C#)
 - program webových stránek (v jazyce PHP, JavaScript, CSS)
 - obrázky
- Návrh DPS
 - schéma
 - deska
 - soubory gerber
- Návrh modelu krabičky
 - jednotlivé části
 - sestava