

Univerzita Pardubice
Dopravní fakulta Jana Pernera

Návrh vozidlové jednotky pro monitorovací systém využitelný v podmínkách
amatérské automobilové rallye

Petr Bílek

Diplomová práce

2016

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Bc. Petr Bílek**
Osobní číslo: **D14003**
Studijní program: **N3708 Dopravní inženýrství a spoje**
Studijní obory: **Elektrotechnické a elektronické systémy v dopravě**
Elektrotechnické a elektronické systémy v dopravě
Název tématu: **Návrh vozidlové jednotky pro monitorovací systém využitelný v podmínkách amatérské automobilové rally**
Zadávací katedra: **Katedra elektrotechniky, elektroniky a zabezpečovací techniky v dopr**

Z á s a d y p r o v y p r a c o v á n í :

Cílem práce je navrhnout a realizovat prototyp (HW + dílčí firmware) monitorovacího systému využitelného pro amatérskou automobilovou rally. Minimálním požadavkem je detekce aktuální polohy vozidla, systém detekce mimořádné události (nehody) a detekce průjezdu vozidla kontrolním bodem na trati.

Práce musí obsahovat:

- 1) Analýzu současné situace nabízených analogických řešení monitorovacích systémů amatérských závodů.
- 2) Analýzu potřebnosti přenosu dílčích informací o vozidlo a na vozidlo.
- 3) Návrh vhodných snímačů a dílčích jednotek systému.
- 4) Návrh technického řešení monitorovacího systému.
- 5) Hardwarová realizace monitorovacího systému včetně firmware.
- 6) Praktické ověření navrženého systému.

Rozsah grafických prací:

Rozsah pracovní zprávy:

Forma zpracování diplomové práce: **tištěná**

Seznam odborné literatury:

BY BROCK CRAFT. Arduino projects for dummies. Online-Ausg. Chichester: Wiley, 2013. ISBN 9781118551479.

MONK, Simon. Programming Arduino: getting started with sketches. New York: McGraw-Hill, c2012. ISBN 9780071784221.

STEWART, Becky. Adventures in Arduino. West Sussex, England: Wiley, 2015. ISBN 978-1-118-94845-3.

BANZI, Massimo. Getting started with Arduino. 1st ed. Make: Books / O'Reilly, 2009. ISBN 9780596155513.

Arduino. Arduino. 2016. Dostupné z: <https://www.arduino.cc>.

w3schools.com. SQL Tutorial. 2016. Dostupné z: <http://w3schools.com/sql>.

KERNIGHAN, Brian W. a Dennis M. RITCHIE. The C programming language. 2nd ed. Englewood Cliffs, N.J.: Prentice Hall, c1988. ISBN 0131103628.

STROUSTRUP, Bjarne. The C++ programming language. Fourth edition. Upper Saddle River, NJ: Addison-Wesley, 2013. ISBN 0321563840.

Vedoucí diplomové práce:

Ing. Zdeněk Mašek, Ph.D.

Katedra elektrotechniky, elektroniky a zabezpečovací techniky v dopravě

Datum zadání diplomové práce:

27. října 2016

Termín odevzdání diplomové práce:

2. prosince 2016



Ing. Michaela Ledvínová, Ph.D.
proděkanka pověřená řízením fakulty

L.S.



Ing. Dušan Čermák, Ph.D.
vedoucí katedry

V Pardubicích dne 21. listopadu 2016

Prohlašuji:

Tuto práci jsem vypracoval samostatně. Veškeré literární prameny a informace, které jsem v práci využil, jsou uvedeny v seznamu použité literatury.

Byl jsem seznámen s tím, že se na moji práci vztahují práva a povinnosti vyplývající ze zákona č. 121/2000 Sb., autorský zákon, zejména se skutečností, že Univerzita Pardubice má právo na uzavření licenční smlouvy o užití této práce jako školního díla podle § 60 odst. 1 autorského zákona, a s tím, že pokud dojde k užití této práce mnou nebo bude poskytnuta licence o užití jinému subjektu, je Univerzita Pardubice oprávněna ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které na vytvoření díla vynaložila, a to podle okolností až do jejich skutečné výše.

Souhlasím s prezenčním zpřístupněním své práce v Univerzitní knihovně.

V Pardubicích dne 2. 12. 2016

Petr Bílek

Rád bych poděkoval především nejmenovaným spolužákům za pomoc při tvorbě rozsáhlého projektu, dále pak prvnímu vedoucímu diplomové práce panu Doc. Ing. Ondřeji Černému Ph.D. a následně pak druhému vedoucímu této diplomové práce panu Ing. Zdeňku Maškovi Ph.D.

V poslední řadě děkuji Mgr. Ivanu Panuškovi za podnět k tomuto projektu.

ANOTACE

Práce se zabývá návrhem zařízení, které by vyhovovalo požadavkům závodů amatérské rallye. Nároky jsou kladeny především na bezpečný průběh závodů, manuální či automatickou identifikaci nehody a včasné varování účastníků na trati, před havarovaným vozem. Nadstavbou navrhovaného systému je měření časů závodníků.

System má stavebnicovou strukturu a skládá se ze dvou druhů velice podobných zařízení, kterými jsou traťový modul a mobilní modul.

Základem zařízení je programovatelná základní deska DUE od společnosti Arduino. Obslužný software komunikuje po sériové lince.

KLÍČOVÁ SLOVA

amatérská rallye, komunikace, senzor, Arduino

TITLE

Design of car unit for the monitoring system applicable for amateur rally

ANNOTATION

The thesis is focused on the design of a device that would cover the requirements for the security of amateur rally racing. Requirements are primarily based on the safe process of the race, manual or automatic identification of accident and early warning of other participants approaching the crashed car. An extra component of the system is a measurement of racers' results.

The system is modular and consists of two very similar devices which are track module and mobile module.

The core of this equipment is a programmable board DUE from the Arduino community. The communication is based on serial line.

KEYWORDS

amateur rally, communication, sensor, Arduino

OBSAH

ÚVOD.....	10
1 AMATERSKÉ RALLYE, VSTUPNÍ POŽADAVKY NA ZAŘÍZENÍ A ANALÝZA	
SOUČASNÉ SITUACE	11
1.1 Amatérská rallye	11
1.2 Současný stav sledování vozů a měření času.....	12
1.2.1 ONI systém.....	12
1.2.2 Současný stav	13
1.3 Požadavky na nový systém	13
1.3.1 Časomíra.....	13
1.3.2 Bezpečnost.....	14
1.3.3 Komunikace.....	14
1.3.4 Technické zabezpečení	15
1.3.5 Option - služba pro týmy za poplatek.....	15
1.4 Nabídka trhu.....	15
1.4.1 Alfano	16
1.4.2 Magneti Marelli S. p. A.....	18
1.4.3 BOSCH Online Telemetry System.....	20
1.4.4 MoTeC Europe Ltd.....	23
2 KOMUNIKAČNÍ PROTOKOLY A ANALÝZA PŘENOSU DAT	27
2.1 Použité komunikační systémy a protokoly	27
2.1.1 Simplexní IR komunikace	28
2.1.2 Sériová linka UART	28
2.1.3 Universal Serial Bus	29
2.1.4 Sériová linka a sběrnice I ² C	29
2.1.5 Global Position System a protokol NMEA	30
2.1.6 Protokol AX.25, APRS.....	30
2.1.7 Síť GSM a její generace	31
2.1.8 Analýza dostupnosti signálu GSM	31
2.1.9 Opatření při nedostatečném pokrytí a rušivé vlivy.....	33
2.2 Analýza přenosu dat	34
2.3 Příklad počtu přenášených dat	35
3 NÁVRH TECHNICKÉHO ŘEŠENÍ MONITOROVACÍHO SYSTÉMU	39

3.1	Traťový modul	39
3.1.1	Tok dat z traťového modulu	40
3.1.2	Vnitřní struktura traťového modulu	41
3.1.3	Napájecí blok	42
3.1.4	Vstupní měřicí blok	44
3.1.5	Výpočetní blok	45
3.1.6	Komunikační blok	45
3.1.7	Signalizační blok	46
3.2	Mobilní modul.....	46
3.2.1	Tok dat z mobilního modulu	47
3.2.2	Vnitřní struktura mobilního modulu.....	47
3.2.3	Vstupní měřicí blok	49
3.2.4	Komunikační blok	49
3.2.5	Signalizační blok	49
3.3	Zavrnutí některých prvotních požadavků.....	50
3.3.1	Hlasový přenos v závodním voze.....	50
3.3.2	Nezávislost na komerčních přenosových sítích.....	50
3.3.3	Bezdrátový přenos dat	51
4	HARDWAROVÁ REALIZACE	52
4.1	Použité komponenty navrhovaného zařízení	52
4.1.1	Arduino DUE.....	52
4.1.2	GSM modul	53
4.1.3	GPS modul.....	54
4.1.4	Akcelerometr	56
4.1.5	Měnič napětí	56
4.1.6	Záložní akumulátor energie	57
4.1.7	Optická brána.....	57
4.1.8	Nouzové tlačítko a signalizace volnosti trati.....	59
4.1.9	Vysílač infračerveného záření	60
4.1.10	Přijímač infračerveného záření.....	60
4.2	Základní předpoklady mobilního modulu.....	61
4.3	Základní předpoklady traťového modulu.....	61
4.4	Návrh zařízení	62
4.5	Stavba zařízení	62

4.6	Kalkulace nákladů	63
5	FIRMWARE	65
5.1	Datové typy v jazyce C užívané pro program Arduino	65
5.2	Užívané základní funkce Arduino	67
5.3	Často používané funkce Arduino a použitých knihoven.....	67
5.4	Hlavní funkce traťového modulu	70
5.5	Hlavní funkce mobilního modulu	75
5.6	Vedlejší funkce.....	81
5.7	Knihovny.....	84
6	PRAKTICKÉ OVĚŘENÍ NAVRŽENÉHO SYSTÉMU	85
6.1	Poznámky z reálného testování.....	85
6.1.1	Signál GPS.....	86
6.1.2	Dosah IR signálu	86
6.1.3	Výstupní zpráva.....	87
6.1.4	Výdrž akumulátoru	88
6.2	Možnosti dalšího vylepšení.....	89
	ZÁVĚR	90
	POUŽITÁ LITERATURA	91
	SEZNAM TABULEK	96
	SEZNAM OBRÁZKŮ.....	97
	SEZNAM PŘÍLOH.....	103

ÚVOD

Průběh amatérské rallye zajišťuje mnoho lidí, nejinak tomu je i u komerčně známějších druhů závodů, avšak tento druh sportu nedisponuje tak velkým kapitálem, aby bylo možná pořídit profesionální zařízení na sledování jednotlivých jezdců a zajištění vyšší bezpečnosti především jezdcům, popřípadě divákům.

Práce původně vznikla, jako projekt s návazností na závodníky amatérské rallye, od kterých jsem dostal přibližné požadavky na zařízení, které umožní hladší chod závodů a přispěje k vyšší bezpečnosti. Informace nabyté na zahraniční stáži mi pomohli s dalším průběhem, na které navazoval další vývoj projektu. Jmenovitě Ročníkový projekt I. a Ročníkový projekt II.

Zařízení pro zabezpečení chodu amatérské rallye je koncipováno jako modulová stavebnice. Lze ho tedy sestavit z libovolného množství prvků. V nejjednodušším případě je zapotřebí 4 komponent a to dva kusy průjezdních měřících bran pro start a cíl, jedno mobilní zařízení pro přenos dat ze závodního automobilu a dispečerské stanoviště pro zpracování získaných dat (které není součástí této diplomové práce).

Hlavním úkolem tohoto zařízení je záchranné složce co nejrychleji předat informaci o nehodě, jejím místě, počtu havarovaných vozidel... atd. Navrhované zařízení lze snadno modifikovat, jako doplňkovou informační službu o průběhu závodu – pro pořadatele, sponzory, diváky, jednotlivé stáje.

V úvodní kapitole popisují amatérskou rallye, její současný stav včetně principu měření časů a nabídku trhu. Druhá kapitola se zabývá analýzou přenosu dat a popisem použitých komunikačních protokolů. Kapitola třetí pojednává o návrhu technického řešení monitorovacího systému. Čtvrtá kapitola se zabývá hardwarovou částí realizace prototypu. Kapitola pátá se zabývá realizací firmaware prototypu. Závěrečná kapitola se věnuje testování hotového celku. Je zde zmíněna i finanční nákladnost.

Na tuto diplomovou práci navazuje další práce, ve které se její autor zabývá zpracováním traťových výpočtů a grafického rozhraní pomocí software Labview.

1 AMATERSKÉ RALLYE, VSTUPNÍ POŽADAVKY NA ZAŘÍZENÍ A ANALÝZA SOUČASNÉ SITUACE

Závody amatérské rallye sdružují závodníky, pro které není motoristická soutěž hlavním povoláním. Je to jakýsi koníček ve volných chvílích. Náročný nejen na čas, ale i na peníze. Na této myšlence stojí základ výroby popisovaného zařízení. Hlavním požadavkem je především bezpečný průběh závodu. Zařízení může sloužit jezdcům, divákům, záchranné službě či pořadatelům dle modifikace. Dalšími požadavky jsou časomíra, poloha, rychlost a provozní stav.

1.1 Amatérská rallye

V České Republice se v roce 2016 jelo několik různých pohárů v této motoristické soutěži, například GPD Rally (jejímž sponzorem je prodejce pneumatik GPD, a. s.) či Českomoravský Pohár Rally (dále jen ČMPR). Závody jsou pod záštitou Autoklubu České republiky. Tuto sezónu se jelo 7 závodů ČMPR a startovala až stovka závodníků. (ČMPR, 2016)

Autor dále uvádí, že každý závod je složen z několika etap, mezi kterými jsou servisní přestávky a přejezdy neměřených úseků. Každý pořadatel má vlastní zařízení na měření času jezdců, avšak princip je stejný. Před startem celého závodu obdrží všechny posádky registrační kartu. Zápisy do karty provádí vždy traťoví komisaři a to před a po etapě. Před etapou se zapisuje přesný reálný čas odjezdu. Posádky vyjíždí zpravidla v minutových intervalech. Traťový komisař má tedy minutu na zapsání startovního času a předání registrační kartě posádky. Startuje se na signál krátkého bílého světla, zákaz jízdy na trať je indikován červenou.

A dále autor uvádí, že v cíli etapy probíhá měření reálného času průjezdu pomocí optické brány. Nedostatečná odolnost proti rušení, zejména ve dnech s vysokou sluneční aktivitou, je zajištěna mechanickým tlačítkem, které ovládá traťový komisař. Obsluha může zareagovat alespoň pozdě, pokud zjistí, že vůz nebyl zaznamenán, či může mačkat tlačítko s každým vozem, aby vždy byla jistota záznamu o průjezdním čase. Zaznamenaný čas přepisuje obsluha z displeje zařízení do protokolu s mezičasy jednotlivých jezdců. Následně spustí komunikaci s posledním stanovištěm etapy, kde probíhá zápis času do registrační karty jezdce. Stanoviště leží zhruba 300 metrů za cílem etapy. Komunikace všech traťových komisařů probíhá zejména pomocí mobilních vysílaček na vzdálenost do několika kilometrů.

Pro eliminaci chyb přenosu opakuje přijímací strana celou přijatou zprávu, kterou následně vysílací strana potvrdí, jako rovnocennou s původní vyslanou zprávou.

Na základě osobní účasti závodu rallye v Hořovicích jsem zaznamenal, že se využilo záznamové zařízení domácí výroby napájené z 12 V zásuvky autozapalovače. Zařízení dále disponuje vstupem z mechanického tlačítka, a vstupem z optické brány, výstupní data lze i zpětně zobrazovat na LCD monochromatickém display 16x2 či vyčítat počítačem po sériové lince. V paměti se uchovává přesný čas na setiny sekundy a událost, která zpustila záznam času, tj. optická brána či mechanické tlačítko. Na následujícím obrázku je znázorněno konkrétní provedení záznamového zařízení.



Obrázek 1 Záznamové zařízení Rallye Hořovice, (Autor)

1.2 Současný stav sledování vozů a měření časů

Vznik rozsáhlého projektu byl založen na těchto požadavcích, které jsem získal od bývalého závodníka amatérské rallye, který si přál zůstat v anonymitě. Pro sledování vozidel se využívá zejména komerční produkt ONI systém. Ten je popsán v následující kapitole.

1.2.1 ONI systém

ONI Systém je komerční produkt sloužící k on-line sledování pohybu a stavu vozidel, vyvinutý zejména pro sledování firemních vozů. (ONI System, 2016)

Autor dále uvádí, že hardware tvoří jednotka, která obsahuje GPS přijímač, GSM modem, akcelerometr a radiový vysílač, který může být v autě umístěn různými způsoby, podle toho k jakému účelu slouží. Jednotka shromažďuje informace o aktuální pozici vozidla, začátku a konci jízdy, rychlosti a stavu různých vstupů, např. zamčení/odemčení dveří.

Po každé jízdě lze vyhodnotit styl jízdy řidiče a průměrnou spotřebu. Informace shromážděné v jednotce jsou odeslány do zabezpečeného technologického centra.

1.2.2 Současný stav

- Bezpečnostní ONI systém, který vozy sleduje je pouze pro dispečink a má výstup dat pro společnost, která provozuje webovou stránku s výsledky,
- Na startu se hlásí pro všechny rádio-body a cíl, že odstartoval vůz č. x v čase hh:mm,
- Jednotlivé rádio-body si v papírech odškrtávají průjezd vozů,
- V cíli se zaznamenává čas a hlásí se pro všechny, že vůz č. x projel cílem,
- Pokud nedojede k dalšímu rádiobodu, tak se začíná shánět systémem, že rádiobod hlásí vedoucímu rychlostní zkoušky (dále jen RZ), že auto neprojelo. Vedoucí RZ potom zjišťuje dotazem u předchozích rádiobodů, zdali auto u nich projelo,
- Komunikace pořadatelů se uskutečňuje pronajatými radiostanicemi a komunikace s vozem neexistuje,
- V případě nehody sice ONI systém vyhlásí poplach, ale není možno zjistit, o co jde, jak je to vážné.

1.3 Požadavky na nový systém

Přibližný popis prvotních požadavků na vznik nového systému jsem získal opět od bývalého závodníka amatérské rallye, který si přál zůstat v anonymitě. Primární požadavky na nově navrhovaný systém jsou popsány v následujících podkapitolách. Rozdělení je provedeno dle oblasti zařazení požadavku na části: časomíra, bezpečnost, komunikace, technické zabezpečení a služba pro týmy za poplatek.

1.3.1 Časomíra

- Každé auto by mělo transpondér pro identifikaci,
- Na startu při protnutí startovní čáry by se automaticky zapsal čas z GPS pro vůz č. x (dle informace z transpondéru),
- Zároveň by byla k dispozici informace, zdali nedošlo k předčasnému startu (nyní tam sedí člověk a hlídá to), resp. by byla k dispozici i informace, jak daný vůz reagoval na startu – doba mezi zeleným světlem a protnutím startu,
- Na každém rádiobodu (většinou 2-3 na jedné RZ) + cíl + příjezd/odjezd ze servisní zóny, by byl opět podobný systém jako na startu,
- Data z jednotlivých bodů by se přenášela k vedoucímu RZ a do dispečinku (radiový přenos),

- Průjezdy jednotlivými rádio-body by mohly být i jako mezičasy, které se nyní nesledují, případně by bylo možno sledovat i rychlost v tomto bodě,
- Zároveň by se tento systém mohl využít i jako Live-Timing pro zobrazení polohy vozu na mapě na internetu, který nyní neexistuje.

1.3.2 Bezpečnost

- Systém by vyhledával poplach pomocí čidla nárazu, funkce „mrtvý“ muž (vychýlení ze standardní polohy nebo nečinnost po dobu delší než), ručně tlačítkem atd.,
- Systém by fungoval automaticky, tzn. rozlišení stavů – přejezd / RZ / servis atd. by se nastavovalo samo,
- Vůz by byl sledován trvale, tzn. i mimo RZ – možnost vyhodnocení i rychlosti jízdy na běžných komunikacích – běžně se stává, že vozy nedodrží předepsanou rychlost a dochází k nehodám mimo RZ,
- Informaci o poplachu na RZ by dostával dispečink a vedoucí RZ, který by mohl okamžitě zastavit start dalšího vozu,
- Do dalších vozů na RZ by mohl být vyslán varovný signál – nebezpečí na trati nebo zrušení RZ (na jedné RZ může být více vozů najednou, startuje se v časových odstupech a nečeká se na dojetí do cíle předchozího vozu = pokud je nehoda na RZ, je možné, že následující vůz může do již havarovaného vozu narazit, nebo se na trati mohou pohybovat lidé,
- Systém by umožňoval mimo datové komunikace i hlasovou komunikaci, to znamená, že v případě vyhlášení poplachu by byla možnost okamžité komunikace s posádkou – propojení radiostanice do interkomu vozu / hlasitý reproduktor v prostoru vozu atd.,
- Záchrané složky by mohly být vybaveny navigačním systémem propojeným do komunikačního systému – v případě nehody, by mohlo být vysláno místo nehody jako cíl do navigace.

1.3.3 Komunikace

- Vzhledem k tomu, že systém by mohl být postaven na bázi radiového přenosu, je možno jej využít i pro hlasovou komunikaci pořadatelů,
- Systém by umožnil kompletní pokrytí signálem celé rallye, všech RZ, servisních zón, dispečink atd.,
- Dispečink, každá RZ a každá servisní zóna by byl jeden samostatný systém, které by byly vzájemně propojeny pomocí satelitního spojení,

- Konfigurací systému by bylo ošetřeno, kdo s kým a jak může mluvit – skupiny, samostatné stanice atd.,
- Možnost komunikace přímo s jednotlivými vozy.

1.3.4 Technické zabezpečení

- Celý systém by byl postaven na bázi digitálního radiového přenosu s několika podsystémy, které jsou propojeny pomocí satelitních spojů, s jedním dispečerským pracovištěm v dispečinku rallye a jedním dohledovým centrem,
- Jednotlivé podsystémy by byly tvořeny mobilními základnovými stanicemi, které by se přesouvaly mezi jednotlivými RZ,
- V jednotlivých vozech by byly radiostanice s propojením k elektronickému boxu a do interkomu vozu,
- Pořadatelé by byli vybaveni přenosnými radiostanicemi pro komunikaci,
- Systém by měl být soběstačný, nepotřeboval by pro svoji činnost žádné externí sítě – internet, GSM ani telefonní síť.

1.3.5 Option - služba pro týmy za poplatek

- Ve voze by mohl být displej s časomírou, která by se spouštěla automaticky na startu, na každém rádio-bodu by se zobrazoval mezičas a v cíli celkový čas,
- Mimo RZ by se na displeji mohl dále zobrazovat čas dalších časových kontrol,
- Dále by bylo možno na RZ zobrazovat časy, resp. +/- odstup od posádky, kterou si dané auto vybere (na startu celkový odstup případně v jednotlivých mezičasech a v cíli odstup na dané RZ).

1.4 Nabídka trhu

Trh nabízí několik variant řešení, žádné však nedisponuje komplexním zabezpečením, jež má nabízet vytvářené zařízení. Další nevýhodou doposud nabízených zařízení je cena. Lze tedy říct, že žádný z nabízených systémů není cenově dostupný pro účastníky amatérské rallye. Jedná se spíše o prvky pro jednotlivé závodníky – měření jednotlivých kol, grafické zobrazení rychlosti či informací o motoru apod.

Ke dni 6. 6. 2016 byl kurz Koruny české (Kč) k Euru 27.025. S tímto kurzem jsou přepočteny uváděné ceny, které nejsou ve zdrojích uvedeny primárně v Kč.

1.4.1 Alfano

Firma Alfano nabízí produkt A1020 PRO III EVO, který je možno doplnit jedním ze dvou GPS modulů uvedených v následujících podkapitolách.

A1020 PRO III EVO

Dle výrobce Alfano jsou parametry tohoto zařízení k datu 6. 6. 2016 následující:

- Cena 7 324 Kč - bez GPS externího modulu
- Funkce:
 - Přesné měření času okruhu,
 - Měření otáček motoru,
 - Dvojité měření teploty.
- Komunikace:
 - Rozhraní USB,
 - Možnost připojení GPS modulu (GPS1 nebo GPS4) pro získání informací o poloze a rychlosti sledovaného vozu,
 - Možnost připojení GSM modulu pro bezdrátovou komunikaci,
 - Možnost připojení čidla (IR, magnetické) pro určení počátku měření času.
- Vlastnosti:
 - Přesnost 1/100 s,
 - IP56,
 - Neobsahuje akcelerometr,
 - Možnost operovat s nashromážděnými daty (minimum, maximum, nejlepší čas atd.),
 - Rozměry displeje 75x45mm,
 - Velikost 133,5x90x28mm,
 - Váha 434g,
 - Napájení 2xAA. (Alfano, ©2016a)

Na následujícím obrázku je znázorněna zobrazovací jednotka od společnosti Alfano s. a..



Obrázek 2 A1020 PRO III EVO, (Alfano, ©2016a)

PRO III EVO modul GPS1

- Cena za dodatkový GPS modul 5 270 Kč
- Funkce:
 - Měření rychlosti vozidla,
 - Sledování dráhy vozidla,
 - Možnost vytvoření okruhu pomocí souřadnic GPS.
- Komunikace:
 - Rozhraní Bluetooth.

Následující obrázek znázorňuje přípojný GPS modul.



Obrázek 3 Modul GPS1, (Prespo, 2016)

PRO III EVO modul GPS4

- Cena za dodatkový GPS modul 5 940 Kč,
- Funkce:
 - Měření rychlosti vozidla,
 - Sledování dráhy vozidla,
 - Možnost vytvoření okruhu pomocí souřadnic GPS,
 - Sledování polohy vozidla díky 3 osovému akcelerometru,
 - Možnost přidání dalších 2 teplotních snímačů.

- Komunikace:
 - Rozhraní Bluetooth.

Na následujícím obrázku je zobrazen modul GPS4.



Obrázek 4 Modul GPS4, (Alfano, ©2016b)

1.4.2 Magneti Marelli S. p. A

Na webových stránkách společnosti Magneti Marelli S. p. A. jsou nabízeny dva produkty, DDU 210 a Optical Lap Trigger Receiver & Transmitter.

Produkt DDU 210

Dle výrobce Magneti Marelli S. p. A. má produkt k datu 6. 6. 2016 následující parametry:

- Cena od 21 080 Kč,
- Funkce:
 - Měření otáček a teploty motoru,
 - Měření teploty,
 - Měření rychlosti,
 - Nastavitelný časovač,
 - Dvou osový akcelerometr +/- 10 G.
- Komunikace:
 - Komunikace s vozidlem po CAN lince,
 - Konfigurace zařízení přes Ethernet.
- Vlastnosti:
 - Displej zobrazující naměřené hodnoty. (MAGNETI MARELLI S. p. A., ©2016a)

Na následujícím obrázku je ukázka zobrazovací jednotky DDU 210.



Obrázek 5 DDU 210, (MAGNETI MARELLI S. p. A., ©2016a)

Optical Lap Trigger Reciever & Transmitter

Dle výrobce Magneti Marelli S. p. A. má produkt k datu 6. 6 2016 následující parametry:

- Neuvedena cena ani u jednoho výrobku,
- Funkce:
 - Identifikace zařízení pomocí infračerveného kódu,
- Komunikace:
 - Programovatelné po CAN lince,
- Vlastnosti:
 - Nutné externí napájení,
 - Vysílač obsahuje 27 infračervených LED.

Na následujících obrázcích je zobrazen vysílač a přijímač optického signálu.



Obrázek 6 Optical Lap Trigger Reciever, (MAGNETI MARELLI S. p. A., ©2016b)



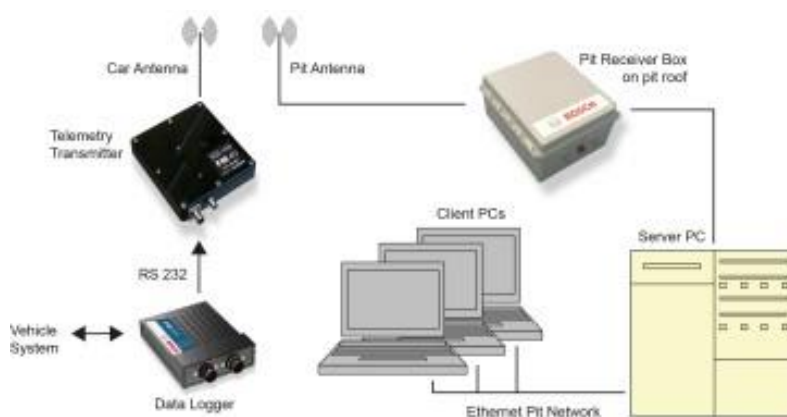
Obrázek 7 Optical Lap Trigger Transmitter, (MAGNETI MARELLI S. p. A., ©2016b)

1.4.3 BOSCH Online Telemetry System

Bosch s. r. o. nabízí komplexní stavebnicový systém pro sledování vozů. K datu 23. 10. 2016 má následující parametry:

- Funkce:
 - Komplexní systém pro sledování vozidel na trati,
- Komunikace:
 - Komunikace probíhá polo-duplexním rádiovým přenosem dat v reálném čase,
 - Podporované rozhraní RS232,
 - Datová rychlost 19.2 kbps (25 kHz kanál) nebo 9.6 kbps (12.5 kHz kanál),
- Vlastnosti:
 - Výrobce dodává i kompatibilní antény. (Motorsport system, ©2016)

Blokové schéma funkčnosti Online Telemetry Systému je znázorněno na následujícím obrázku.



Obrázek 8 Online Telemetry Systém, (Motorsport system., ©2016)

Data Logger C 60

- Cena 65 076 Kč,
- Funkce:
 - 6 až 24 analogových vstupů se vzorkovací frekvencí 1kHz,
 - 4 digitální vstupy pro měření otáček kol pomocí Hallových sond.
- Komunikace:
 - CAN linka,
 - Ethernet,
 - Možnost propojení s dalšími zařízeními.

- Vlastnosti:
 - Vnitřní 2 GB flash paměť,
 - Vnitřní akumulátor s výdrží deklarovanou na více než 6 hodin provozu,
 - Možnost externího napájení (8 V – 18V),
 - IP 54 případně IP 67. (Bosch motorsport., ©2016a)

Následující obrázek znázorňuje zařízení od společnosti Bosch s. r. o., které ukládá data a je součástí systému Online Telemetry.



Obrázek 9 Data Logger C 60, (Bosch motorsport., ©2016a)

Telemetry Unit FM 40 (Transmitter)

- Cena 29 106 Kč,
- Funkce:
 - Možnost vysílání telemetrických dat až od 4 aut zároveň.
- Vlastnosti:
 - Nastavitelný vysílací výkon od 1 W do 10 W. (Bosch motorsport., ©2016b)

Online komunikační jednotka je zobrazena na následujícím obrázku.



Obrázek 10 Telemetry Unit FM 40, (Bosch motorsport., ©2016b)

PIT Receiver Box

- Cena produktu je 405 375 Kč,
- Komunikace:
 - Možnost připojení až 2 zařízení přes Ethernet zároveň.
- Vlastnosti:
 - Citlivost antény je 115 dBm,
 - Napájení 48 V. (Bosch motorsport., ©2016c)

Následující obrázek znázorňuje PIT Receiver Box.



Obrázek 11 PIT Receiver Box, (Bosch motorsport., ©2016c)

Lap Trigger IR-02 Transmitter

- Cena 17 918 Kč,
- Vlastnosti:
 - Dosah 15 m. (Bosch motorsport., ©2016d)

Lap Trigger IR-02 Transmitter je znázorněn na následujícím obrázku.



Obrázek 12 Lap Trigger IR-02 Transmitter (Bosch motorsport., ©2016d)

Lap Trigger IR-02 Receiver

- Cena 13 972 Kč,
- Vlastnosti:
 - Dosah 15 m. (Bosch motorsport., ©2016e)

Následující obrázek znázorňuje Lap Trigger IR-02 Receiver.



Obrázek 13 Lap Trigger IR-02 Receiver, (Bosch motorsport., ©2016e)

1.4.4 MoTeC Europe Ltd

Firma MoTeC Europe Ltd nabízí komplexní řešení pro sledování důležitých veličin v závodních vozech. Jedná se například o měřicí záznamové zařízení, vysílací a přijímací zařízení.

Accident Data Recorder (ADR)

- Cena 43 254 Kč,
- Funkce:
 - Tří osový gyroskop s maximálním zrychlením až +/- 150 G (rozlišení 0,1 G),
 - Možnost nehodové funkce, která se spustí překročením nastaveného gravitačního limitu,
 - Záznam událostí 2 sec před nehodou a 10 sec po nehodě,
 - Možnost uložení zaznamenaných dat až z 10 nehod,
 - Logování až 10 předdefinovaných kanálů,
 - Logování až 10 uživatelských kanálů,
 - barevná LED indikace událostí.
- Komunikace:
 - CAN linka s možností připojení až 20 zařízení
 - Rx pin z RS232 pro připojení GPS modulu,
 - USB.

- Vlastnosti:
 - Naměřená data jsou stažitelná ve formátu csv,
 - Speciálně navržen pro specifikace FIA (Federation internationale de l'automobile). (MoTeC Europe Ltd, ©2016a)

Na následujícím obrázku je zobrazena záznamová jednotka ADR.



Obrázek 14 Accident Data Recorder, (MoTeC Europe Ltd, ©2016a)

BR2 Receiver

- Cena 18 756 Kč,
- Funkce:
 - Po zaznamenání signálu z vysílače, odešle přijatý kód po CAN lince.
- Komunikace:
 - Komunikace a konfigurace přes CAN linku.
- Vlastnosti:
 - Indikace pomocí LED,
 - Zařízení lze konfigurovat pomocí přiloženého softwaru. (MoTeC Europe Ltd.,©2016b)

Následující obrázek znázorňuje přijímač infračerveného záření BR2 Receiver.



Obrázek 15 BR2 Receiver, (MoTeC Europe Ltd., ©2016b)

BTX Transmitter

- Cena 21 350 Kč,
- Vlastnosti:
 - Infračervený laser,
 - Dosah 40 m,
 - Možnost uložení až 1000 rozdílných kódů. (MoTeC Europe Ltd., ©2016c)

Následující obrázek znázorňuje vysílač infračerveného záření BTX Transmitter.



Obrázek 16 BTX Transmitter, (MoTeC Europe Ltd., ©2016c)

C185

- Cena 145 665 Kč,
- Funkce:
 - Tří osový akcelerometr s rozlišením +/- 5G,
 - 10x analogový vstup,
 - 4x analogový vstup určen k měření teploty,
 - 4x digitální vstup,
 - 2x spínaný vstup,
 - 4x vstup určený pro měření otáček kol (rychlosti),
 - Rychlost snímání 1000 vzorků za sekundu.
- Komunikace:
 - Komunikace až po 4 CAN linkách,
 - 2 sériové linky RS232,
 - Stahování uložených dat po rozhraní Ethernet.
- Vlastnosti:
 - Interní paměť pro uložení zaznamenaných dat 250 MB nebo 500 MB,
 - Barevný TFT LCD displej o velikosti 5“ s měřenými veličinami,
 - Umožňuje rozšíření na telemetry kit. (MoTeC Europe Ltd., ©2016d)

Zařízení C 185 je zobrazeno na následujícím obrázku.



Obrázek 17 C185, (MoTeC Europe Ltd., ©2016d)

2 KOMUNIKAČNÍ PROTOKOLY A ANALÝZA PŘENOSU DAT

Idea celého systému je přesné sledování vozů na trati, jejich identifikace a informace o jejich stavu. Global Position System (dále jen GPS) není dostatečně přesný, nelze ho tedy použít, jako stěžejní pro získávání informací o přesné poloze závodního vozu. Použití průjezdných optických bran, je tedy nezbytné ke správné funkci. S jejich využitím lze detekovat přesný příjezd vozu či případný předčasný start. Na trati se tedy v místech začátku a cíle musí umístit zařízení, které disponuje optickou bránou. Aby bylo možné zautomatizování celého procesu, je nezbytné implementovat do traťového modulu komponentu, které rozpozná jednotlivé závodní vozy a následně jim přiřadí přesný čas protnutí brány.

Mobilní modul je umístěn v každém závodním voze. Jedním z jeho úkolů, je odesílat zprávy o svém stavu, poloze a rychlosti v definovaných intervalech. Definovaný interval je buď časový, nebo daný ujetou vzdáleností. Další důležitou funkcí mobilního modulu je rozpoznat nehodu a vyslat nehodovou zprávu, ve které je zakódována především zeměpisná poloha místa. Aby byla jistota, že se zpráva odeslala, je nezbytné vybavit zařízení akumulátorem energie, protože všechny závodní vozy disponují centrálním odpojovačem baterie od palubní sítě.

Nehodová zpráva může být vyslána automaticky a to pokud je překročené maximální gravitační zrychlení. Maximální gravitační zrychlení je nastaveno tak, aby zařízení nereagovalo na prudké brždění, ale reagovalo na např. na náraz do stromu. Druhou možností, jak vyslat nehodovou zprávu je stisknutí nouzového tlačítka v přední části mobilního modulu.

Opakem funkce, která zajišťuje odeslání nehodové zprávy, je funkce, která naopak přijímá nehodovou zprávu. Její vyhodnocení je závislé na tom, zda je platná pro celou závodní trať nebo pokud je platná, jen v určité oblasti či v konkrétním místě. Pokud mobilní modul obdrží nehodovou zprávu spojenou s konkrétním místem, sama ji vyhodnotí, zda je v její blízkosti (např. 500 m) a podle toho varuje posádku, zejména spolujezdce.

2.1 Použité komunikační systémy a protokoly

V následujících podkapitolách se nachází výčet komunikačních systémů a jejich protokolů, které by bylo možné použít, a které se týkají mobilního i traťového modulu navrhovaného zařízení.

2.1.1 Simplexní IR komunikace

Simplexní komunikace slouží k identifikaci konkrétního závodního vozidla před vjezdem do průjezdní brány. Následující tabulka porovnává možnosti, jakými lze tuto komunikaci uskutečnit.

Tabulka 1 Porovnání simplexní komunikace

Hardwarová metoda	IR LED	QR kód	VF technika	Indukční smyčka
Řádový dosah (m)	10	0,1-1	>1000	0,1
Odolnost vůči nečistotám	Dostatečná	Nízká	Irelevantní	Irelevantní
Přesnost	Dostatečná	Dostatečná	Nízká	Vynikající
Odolnost vůči elmag. rušení	Dobrá	Vysoká	Nízká	Nízká
Spolehlivost	Dostatečná	Dostatečná	Dostatečná	Dostatečná
Údržba	Bezúdržbové	Bezúdržbové	Bezúdržbové	Bezúdržbové
Řádová cena (Kč)	10	1000	100-1000	1000
Datový tok (kbps)	$\geq 2,4$	0,1	999	0,01
Flexibilita kódu	Lze modifikovat	Nelze modifikovat	Lze modifikovat	Lze modifikovat
Náročnost instalace	Nízká	Vysoká	Normální	Vysoká

Zdroj: Autor

Jako nejvýhodnější se jeví použití infračervených (IR) LED a IR přijímače. Princip funkce je nejlépe patrný na např. dálkovém ovladači k televizoru.

Vysílací Infračervené (IR) LED jsou součástí mobilního modulu. Nejen z tohoto důvodu je mobilní zařízení umístěné před spolujezdcem na palubní desce závodního vozu. Dostatečné bez-překážkové prostředí je spjato s dostatečným výhledem řidiče z vozu.

IR přijímač je umístěn v traťovém modulu, kolmo ke snímači optické brány, tak aby byl nejdříve zachycen identifikační signál příjíždějícího vozu a až následně byla protnuta optická brána.

2.1.2 Sériová linka UART

Sériová linka UART (Universal Asynchronous Receiver and Transmitter) umožňuje komunikaci mezi dvěma zařízeními. Přenos informací probíhá asynchronně, pomocí pevně nastavené přenosové rychlosti a synchronizace sestupnou hranou startovacího impulsu. Hladina napětí, kterou využívá Arduino DUE je 3,3 V pro logickou „1“, zatímco logická „0“ je indikována nulovým potenciálem.

Pořadí přenosu datových bitů je od nejméně významného bitu (Least Significant Bit - LSB) po bit nejvýznamnější (Most Significant Bit - MSB). Počet datových bitů je volitelný, obvykle se používá 8 bitů. Pro přenos dat stačí tři vodiče (příjem - RxD, vysílání - TxD a společná zem - GND). (Vývoj. hw, ©1997 – 2014)

2.1.3 Universal Serial Bus

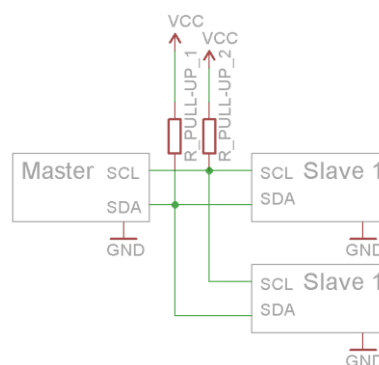
Univerzal Serial Bus (USB) je sběrnice z roku 1995, která masově nahrazovala předchozí sériovou sběrnici RS-232. V současné době je nejrozšířenější počítačovou sběrnici. Umožňuje připojení až 127 zařízení. Komunikace mezi zařízeními je typu master – slave.

USB slouží ke komunikaci mezi Arduinem DUE a počítačem, který zpracovává výstupní zprávy z mobilního i traťového zařízení. (Universal Serial Bus, 2016)

2.1.4 Sériová linka a sběrnice I²C

Protokol I²C (Internal Integrated Circuit Bus) byl vyvinut firmou Philips Semiconductor na konci 80. let. Hlavní výhodou této sběrnice je, že pro obousměrný poloduplexní přenos dat jsou potřebné pouze tři vodiče a to sériová data (SDA), synchronizace (SCL) a společná zem (GND). Protokol slouží pro připojení např. displeje s tekutými krystaly, pomalých A/D převodníků, snímačů teploty apod. Na jednu dvoudrátovou datovou linku lze připojit až 128 zařízení. Z hlediska řízení komunikace jsou implementovány dva druhy zařízení: řídicí (master) a řízené (slave). Master slouží ke generování synchronizačního signálu a k řízení komunikace – vysílá start bit a stop bit. Slave pouze odpovídá na dotazy mastera. V drtivě většině zapojení se využívá pouze jednoho mastera, avšak existují i zapojení s více mastery tzv. multi-master. (ROOT, © 1998 – 2016)

Dále autor uvádí, že maximální kmitočet synchronních pulzů bývá 100 kHz, avšak existují i vylepšení verze s kmitočty 400 kHz nebo 1 MHz. Datové kanály vyžadují implicitní nastavení v logické jedničce, což je zajištěno pull-up rezistory. Tento protokol je použitý mezi akcelerometrem a Arduinem DUE. Pull-up rezistory jsou zobrazeny na následujícím obrázku.



Obrázek 18 Pull-up rezistory, (Autor)

2.1.5 Global Position System a protokol NMEA

Global Position System (dále jen GPS) byl vyvinut pro účely armády Spojených Států; až v 90. letech se zpřístupnil veřejnosti po celém světě. Systém je tvořený 24 družicemi (z toho 3 záložní), které krouží v definovaném směru okolo zeměkoule ve výšce zhruba 20 000 km. Při příjmu signálu alespoň z 3 družic (maximální lze „vidět“ 12 družic), lze poměrně přesně zjistit zeměpisnou šířku, zeměpisnou délku, nadmořskou výšku, rychlost, směr, vzdáleností mezi dvěma body, Greenwichský čas, datum, informace o počtu satelitů, jejich poloze a kvalitě přijímaného signálu. (oXy Online s.r.o., ©2015)

Komunikaci mezi přijímačem a koncovým zařízením zajišťuje protokol NMEA (National Marine Electronics Association) s hardwarovými parametry obdobnými sériové lince. GPS přijímač posílá až 19 druhů vět, ve kterých jsou opakovaně zakódovány jednotlivé informace. Věty lze celkem jednoduše dekodovat a zjistit aktuálně požadovaná data. Všechny aktuálně používané věty (např. 6 opakujících se) jsou s definovanou periodou vysílány od přijímače GPS signálu ke koncovému zařízení. Koncovým zařízením může být přenosný počítač, fotoaparát nebo v našem případě pohyblivá základní deska Arduino. (National Marine Electronics Association, © 2008 – 2016)

2.1.6 Protokol AX.25, APRS

Automatic Position Reporting System (dále jen APRS) vychází z protokolu AX.25, který dále využívá při posílání zpráv. Základní jednotkou přenosu je jeden bit. Pro lepší přehlednost jsou bity seskupovány do bajtů. Několik za sebou jdoucích správně organizovaných bajtů tvoří tzv. rámec a několik rámců za sebou pak paket.

Protokol AX.25 rozlišuje 3 základní typy zpráv:

- Informační rámec – „Information frame“ (I frame),
- Dohlížející rámec – „Supervisory frame“ (S frame),
- Nečíslovaný rámec – „Unnumbered frame“ (U frame).

Každý druh zprávy obsahuje návěští, adresu, kontrolní součet, zabezpečovací posloupnost a opět návěští. Informační rámec navíc obsahuje i identifikační pole protokolu.

APRS umožňuje přenos dat rádiovou cestou na vzdálenosti i několik desítek km, v případě použití opakovacích téměř libovolně daleko. Pokud chce stanice vysílat, vyšle zprávu, kterou všichni přijmou a případně zopakují (pro zvýšení dosahu zprávy). Vyslaná data jsou přístupná všem uživatelům v dosahu vysílače. (APRS, 2016)

Autor dále uvádí, že přijatá či vyslaná zpráva může obsahovat informovat o pozice a stavu stanic či objektů, počasí, telemetrii, zaměřovacím úhlu a síle pole pro rychlé nalezení vysílače; dále také lze posílat krátké textové zprávy, oběžníky a oznámení. Systém umožňuje zakreslení všech stanic na mapě. Datová rychlost standardního přenosu je 1200 nebo 9600 baud.

A dále autor uvádí, že tento systém přenosu dat sice vyhovuje základnímu požadavku na nezávislost na komerčních systémech, ale hrubě nedostačuje kapacitou přenosového signálu. Další nevýhodou je například relativně malý dosah vyslané zprávy. Ten se může v hornatém terénu zkrátit až na jednotky kilometrů. Tento nedostatek lze odstranit použitím opakovaců, avšak ty přispějí k ještě značnějšímu zahlcení přenosového kanálu.

APRS tedy nelze použít pro přenos informací mezi jednotlivými mobilními či traťovými částmi.

2.1.7 Sít' GSM a její generace

První generace sítě GSM (Global System for Mobile Communication) byla spuštěna v Japonsku v roce 1979, poskytovala analogové mobilní přenosy a využívala frekvenční dělení. V České Republice byla síť zprovozněna v září 1991 společností Eurotel. Její provoz byl ukončen 30. června 2006. (Tech Target, © 2003 – 2016)

Autor dále uvádí, že druhá generace využívá technologie GSM. Generace dva a půl využívá technologie GPRS (General Packet Radio Service) s rychlostí přenosu dat až 52kbit/s. Generace dva a tři čtvrtě EDGE (Enhanced Data rates for GSM Evolution) umožňuje rychlost přenosu dat až 384 kbit/s. Technologie GPRS a EDGE jsou stěžejní pro komunikaci mezi jednotlivými částmi zařízení. Potřebné množství přenášených dat je zanedbatelně malé v porovnání s velikostí přenosového kanálu. V oblasti mobilních telefonů již tato generace není významná.

2.1.8 Analýza dostupnosti signálu GSM

Mobilní síť v České Republice provozují tři operátoři, O2 a.s., T-Mobile a.s. a Vodafone a.s.. Podle rychlosti komunikace se síť rozdělují do jednotlivých generací (1G, 2G, 3G, 4G). Technologický vývoj se však neřídil dle označení, vznikaly tedy i půl i čtvrtinové generace. Zde by tedy bylo přesnější označení podle způsobu přenosu či kódování (GPRS, EDGE, UMTS, HSDPA, LTE). Přenosové rychlosti zde uvádím pouze orientačně, protože se značně liší, rychlost stahování bývá až čtyřnásobná oproti rychlosti odesílání dat, v lokalitách s horší dostupností signálu či s velkým rušením se mění rozlišení vzorků či odstup signálu od šumu, rychlosti tedy také klesají a to až několika násobně. (ITU, ©2011)

Dostupnost signálu pro druhou generaci a generaci dvě a tři čtvrtě je však nyní (rok 2016) nejlepší a to u všech třech poskytovatelů v ČR. Následující obrázky znázorňují pokrytí signálem 2G u jednotlivých společností.



Obrázek 19 Mapa pokrytí signálem 2G, (T-Mobile a.s., ©2016)



Obrázek 20 Mapa pokrytí signálem 2G, (Vodafone a.s., ©2016)



Obrázek 21 Mapa pokrytí signálem 2G, 3G a 4G (O2 a.s., ©2016)

2.1.9 Opatření při nedostatečném pokrytí a rušivé vlivy

Mapy pokrytí jsou tvořeny matematickými modely, skutečné pokrytí závisí na mnoha faktorech, jako jsou například: profil terénu, zástavba či citlivost a směrovost přijímací antény. Reálný stav mapy pokrytí se tedy může měnit. Zvětšování plochy pokrytí signálem 2G se nedá předpokládat, jelikož se již budují sítě novějších generací.

Při detailním pohledu na mapy pokrytí lze konstatovat, že lze mobilní signál zachytit ve více než 98% naší republiky. Pokud se tedy námi měřený vůz dostane do míst se špatným signálem (což lze předpokládat, protože rallye se jezdí i v méně osídlených, hornatých oblastech) lze opět předpokládat, že se brzy opět dostane do míst, kde je již signál dostatečný. Pokud se nestihla odeslat celá zpráva nebo se nedešla vůbec, vysílací zařízení odešle kopii v momentě, kdy signál opět získá. Pokud bude v textu zprávy zakódovaný přesný čas, zpoždění byt' desítek sekund nevadí, protože dokážeme zpětně ze zprávy dekodovat přesný čas události. Doba zpoždění v přenosovém kanále neovlivní přesnost měření časů závodníků.

Obtížně řešitelná situace nastane v případě, že vozidlo havaruje v místě, kde není signál. Nehodovou informaci tedy nemůže odeslat. Tento případ je ošetřený v programu v databázi, který zobrazuje seznam vozů a čas od poslední komunikace, lze tedy varovat účastníky či obsluhu o problému na trati.

Vliv na špatný příjem signálu může mít fakt, že objekt se pohybuje. Z teoretického hlediska bych tento jev viděl, jako zanedbatelný. Rychlost vozu je maximálně 150 km/h (40 m/s), rychlost šíření světla ve vakuu je 300 000 km/s. Praxe však může být jiná.

Jako další zdroj rušení lze očekávat neodrušenou zapalovací soustavu zážehových motorů. Základní odrušení je povinné pro všechna motorová vozidla a požadavky na jeho účinnost jsou stanoveny mezinárodní dohodou, výrobce musí zaručit, že vozidlo není zdrojem rušení pro okolí. Což se nedá očekávat u vozů pro amatérskou rallye. Dalším zdrojem rušení mohou být například atmosférické výboje.

2.2 Analýza přenosu dat

Traťový modul odesílá tři druhy zpráv. První typ zprávy vysílá, pokud identifikuje závodní vůz pomocí IR kódu a vůz do stanovené doby protne optickou bránu. Zpráva obsahuje tyto data: konkrétní číslo traťového modulu, identifikační číslo závodního vozu, reálný čas přepočítaný do milisekund a stav, ve kterém se zařízení nachází, ten nesmí být poruchový. Druhý typ zprávy, kterou vysílá mobilní modul je poruchová. Traťové zařízení ji cyklicky vysílá, pokud je brána rozpojena na delší než definovanou dobu. Zpráva obsahuje: konkrétní číslo traťového zařízení, reálný čas přepočítaný do milisekund a stav, ve kterém se zařízení nachází – poruchový. Třetí typ zprávy se vyšle pouze jednou a to na začátku přenosu. V ní jsou zahrnuty tyto data: konkrétní číslo zařízení, zeměpisná šířka, zeměpisná délka, reálný čas přepočítaný do milisekund a stav, ve kterém se zařízení nachází. Na následující tabulce je detailní popis zprávy z traťového modulu.

Tabulka 2 Traťová zpráva

Přenášený prvek	Typ proměnné	Velikost	Výskyt v typu zprávy
Číslo traťového zařízení	Short	2 B	1, 2, 3
Číslo vozu	Short	2 B	1
Zeměpisná šířka	Double	8 B	3
Zeměpisná délka	Double	8 B	3
Reálný čas v milisekundách	Unsigned long	4 B	1, 2, 3
Stav traťového zařízení	Short	2 B	1, 2, 3
Počáteční a zakončovací znak	Char	2 B	1, 2, 3
Celkem		Velikost	Intenzita zpráv
1. typ zprávy – projel vůz		12 B	Dle počtu vozů
2. typ zprávy - porucha		10 B	Dle počtu poruchových stavů
3. typ zprávy - inicializace		26 B	Jednou za etapu

Zdroj: Arduino, ©2016a, upraveno autorem

Mobilní modul odesílá pouze jeden druh zprávy. Ta obsahuje: identifikační číslo závodního vozu, reálný čas v milisekundách, status vozu, aktuální rychlost vozu, zeměpisnou šířku a zeměpisnou délku. Následující tabulka znázorňuje detail z mobilní zprávy.

Tabulka 3 Mobilní zpráva

Přenášený prvek	Typ proměnné	Velikost
Číslo mobilního zařízení	Short	2 B
Reálný čas v milisekundách	Unsigned long	4 B
Stav mobilního zařízení	Short	2 B
Aktuální rychlost	Short	2 B
Zeměpisná šířka	Double	8 B
Zeměpisná délka	Double	8 B
Počáteční a zakončovací znak	Char	2 B
Celkem		Velikost
Zpráva z mobilního zařízení		28 B

Zdroj: Arduino, ©2016a, upraveno autorem

2.3 Příklad počtu přenášených dat

Ukázkový případ výpočtu množství přenášených dat. Trasa je použitá z Rallye Hořovice 2016 a týká se pouze dvou stejných rychlostních zkoušek, které se jedou ihned po sobě. Vozy jsou sledovány po celou dobu, tedy i mimo rychlostní etapu. Cesta ze servisní zóny a návrat zpět nejsou zahrnuty v celkové době dvou etap ani v celkových ujetých kilometrech. Počítají se pouze 2 stejné etapy a jeden přejezd mezi nimi.

- Startovní interval, $t_s = 60$ (s)
- Počet závodních vozů, $n = 78$ (-)
- Absolvovaná trasa Újezd – Záluží, $l_e = 3,1$ (km)
- Počet opakování etapy, $n_e = 2$ (-)
- Počet měřících bodů jedné etapy – start a cíl, $n_{mb} = 2$ (-)
- Průměrný čas jízdy etapy: 3 minuty 10 sekund, $t_e = 190$ (s)
- Průměrná rychlost závodního vozu je 58,7 km/h, $v_e = 16,3$ (m/s)
- Zpáteční trasa na start, $l_z = 2,9$ (km)
- Průměrná rychlost při zpáteční cestě na start je 40 km/h, $v_z = 11,1$ (m/s)
- Průměrný čas jízdy zpět na start 4 minuty 35 sekund, $t_z = 275$ (s)
- Celková doba obou etap,

$$t_{celk} = t_s \cdot n \cdot 2 + t_e = 60 \cdot 78 \cdot 2 + 190 = 9\,550 \text{ (s)} = 2 \text{ h } 40 \text{ min}$$

- Inicializace traťového modulu, $A_{ti} = 26$ (B)
- Zpráva traťového modulu s identifikací vozu, $A_{tz} = 12$ (B)
- Zpráva z mobilního modulu, $A_{mz} = 28$ (B)

Tabulka 2 a Tabulka 3 detailně popisují velikosti jednotlivých zpráv zmíněných v předešlém textu.

- Počet vyslaných zpráv z traťového modulu (bez inicializační zprávy),

$$n_{tbi} = n_{mb} \cdot n_e \cdot n = 2 \cdot 2 \cdot 78 = 312 (-)$$

- Velikost vyslaných zpráv z traťového modulu,

$$A_{tc} = n_{tbi} \cdot A_{tz} + A_{ti} = 312 \cdot 12 + 26 = 3\,770$$
 (B)

- Interval odeslání zprávy z mobilního modulu, $t_m = 5$ (s)

- Počet zpráv odeslaných z mobilního modulu z jednoho vozu,

$$n_{m1} = \frac{t_{celk}}{t_m} = \frac{9\,550}{5} = 1910 (-)$$

- Celkový počet zpráv z mobilního modulu,

$$n_{tc} = n_{m1} \cdot n + n_t = 1910 \cdot 78 = 148\,980 (-)$$

- Velikost zpráv odeslaných z mobilního modulu,

$$A_{mc} = n_c \cdot A_{mz} = 148\,980 \cdot 28 = 4\,172$$
 (kB)

- Celkový počet přenesených dat,

$$A_{celk} = A_{mc} + A_{tc} = 4\,172 + 4 = 4\,176$$
 (kB)

- Průměrný datový tok,

$$Z_p = \frac{A_{celk}}{t_{celk}} = \frac{4\,176}{9\,550} = 0,44$$
 (kBps)

Počet a velikost přenesených dat, při použití časového odesílání zpráv z mobilního modulu zobrazuje následující tabulka.

Tabulka 4 Velikost dat přenesených během dvou stejných etap, při odesílání zpráv z mobilního modulu řízených časem

Interval odeslání zprávy z mobilního modulu, t_m (s)	5	10	20	30	40	50	60
Počet zpráv jednoho mobilního modulu, n_{m1} (-)	1910	955	478	319	239	191	160
Celkový počet zpráv z mobilních modulů, n_{tc} (-)	148980	74490	37245	24830	18623	14898	12415
Velikost zpráv vyslaných z mobilních modulů, A_{mc} (kB)	4172	2086	1043	696	522	418	348
Celkem přenesených dat, A_{celk} (kB)	4176	2090	1047	700	526	422	352
Průměrný datový tok, Z_p (kBps)	0,44	0,22	0,11	0,07	0,06	0,04	0,04

Zdroj: Autor

- Ujetá vzdálenost mezi odesláním zprávy, $l_d = 10$ (m)
- Počet odeslaných zpráv z mobilního modulu (odesílání je řízené ujetou vzdáleností),

$$n_{m1} = \frac{n_e \cdot l_e + l_z}{l_d} = \frac{2 \cdot 3,1 + 2,9}{10} = 910 (-)$$

- Celkový počet odeslaných zpráv z mobilních modulů,

$$n_{mc} = n_{m1} \cdot n = 910 \cdot 78 = 70\,980 (-)$$

- Velikost zpráv vyslaných z mobilních modulů,

$$A_{mc} = n_{mc} \cdot A_{mz} = 70\,980 \cdot 28 = 1\,988 \text{ (kB)}$$

- Celkový počet přenesených dat,

$$A_{celk} = A_{mc} + A_{tc} = 1\,988 + 4 = 1\,992 \text{ (kB)}$$

- Průměrný datový tok,

$$Z_p = \frac{A_{celk}}{t_{celk}} = \frac{1\,992}{9\,550} = 0,21 \text{ (kBps)}$$

Tabulka 5 Velikost dat přenesených během dvou stejných etap, při odesílání zpráv z mobilního modulu, řízených ujetou vzdáleností

Ujetá vzdálenost mezi odesláním zprávy, l_a (m)	10	30	50	100	200	500
Počet zpráv jednoho mobilního modulu, n_{m1} (-)	910	304	182	91	46	19
Celkový počet zpráv z mobilních modulů, n_{tc} (-)	70980	23712	14196	7098	3588	1482
Velikost zpráv vyslaných z mobilních modulů, A_{mc} (kB)	1988	664	398	199	101	42
Celkem přenesených dat, A_{celk} (kB)	1992	664	398	199	101	42
Průměrný datový tok, Z_p (kBps)	0,21	0,07	0,05	0,03	0,02	0,01

Zdroj: Autor

Jako výhodnější se jeví použití odesílání zpráv z mobilního modulu řízené časem, protože dispečink závodu má vždy přesný přehled o pozicích závodních vozů. Nevýhodou oproti druhé metodě je potřebný vyšší datový tok.

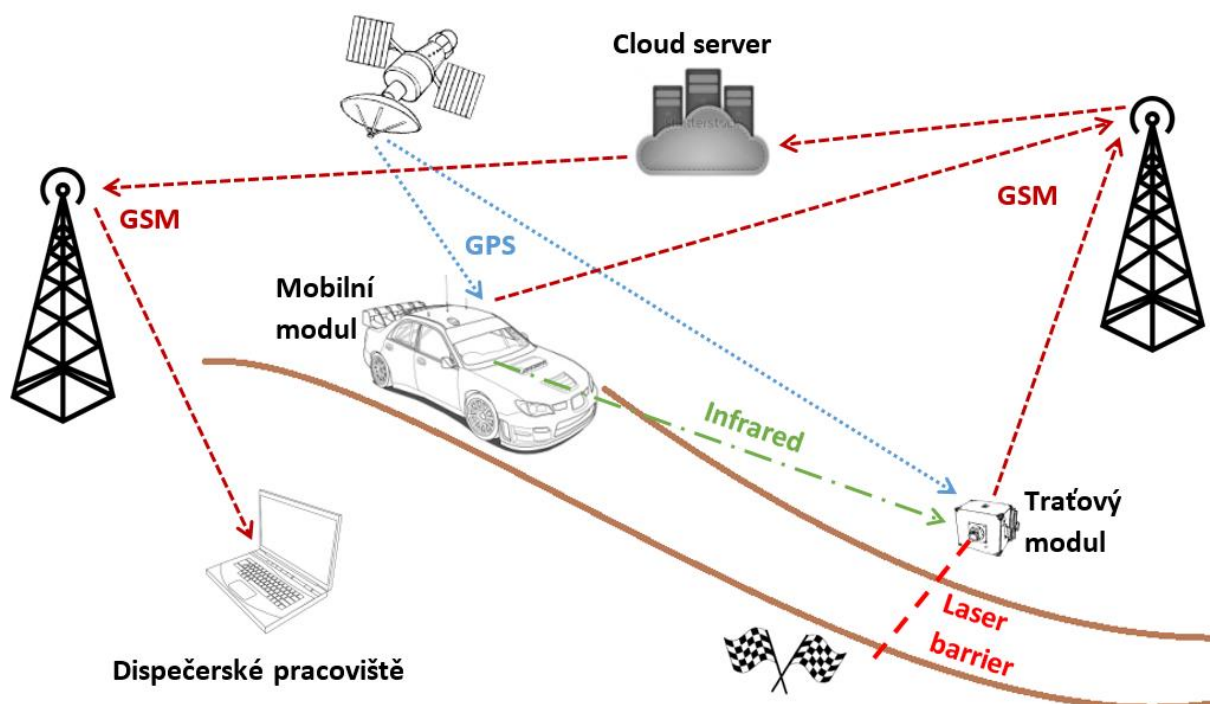
V případech, kdy je potřeba uspořit datový tok je výhodnější použít odesílání zpráv z mobilního modulu řízené ujetou vzdáleností. Zprávy se tedy odesílají pouze, pokud je závodní vůz v pohybu, tj. během etap a přesunů mezi nimi.

3 NÁVRH TECHNICKÉHO ŘEŠENÍ MONITOROVACÍHO SYSTÉMU

Systém umožňuje stavebnicovou konstrukci, lze tedy použít libovolné množství průjezdních měřících bran – traťový modul. Minimálně však 2 pro start a cíl. (teoreticky jednu – okruhový závod, start = cíl). Dále pak lze použít libovolné množství mobilních modulů umístěných v závodním voze. Oba dva druhy zařízení odesílají zprávy o svých stavech, či zaznamenaných událostech do počítače pomocí sériové linky USB. Jejich zpracování již není obsahem této diplomové práce.

Za účelem ověření základních principů navrhovaného zařízení (identifikace, měření časů apod.) je v této práci komunikace s uživatelem vždy řešena pomocí sériové linky USB. Avšak reálná situace vyžaduje plně autonomní provoz. Bezdrátová komunikace s moduly je tedy nezbytná. Pro tento případ je v mobilních i traťových modulech implementovaný GSM modul. Jeho obsluha už však není součástí této práce.

Funkci celého zařízení ilustruje následující obrázek.



Obrázek 22 Principiální schéma navrhovaného systému, (Autor)

3.1 Traťový modul

Tato kapitola pojednává o traťovém modulu, jeho funkcích, komunikaci a vlastnostech. Následně je zde uvedeno, jaké zprávy posílá traťový modul do sériové linky USB. Další podkapitoly se zabývají rozdělením komponent dle jednotlivých bloků.

- Funkce
 - Měření časů závodních vozů pomocí optických bran,
 - Automatická identifikace vozu při průjezdu optickou bránou,
 - Odeslání přesné polohy při inicializaci traťového modulu.
- Komunikace
 - Sériová linka USB,
 - (GSM - datové přenosy),
 - Implementovaný GPS modul pro časovou synchronizaci.
- Vlastnosti
 - Optická brána disponuje polarizačním zrcátkem, což vylučuje rušení optického paprsku například sluncem,
 - Napájení stejnosměrným napětím 10 V až 28 V,
 - Vlastní záložní akumulátor pro krátkodobé výpadky napájení.

3.1.1 Tok dat z traťového modulu

Traťový modul odesílá dva druhy zpráv. První je při zaznamenání průjezdu vozidla optickou bránou a jeho identifikace. Druhá je poruchová, pokud dojde k narušení měřeného místa na trati (vyslaný paprsek laserového vysílače se nevrací přes polarizační zrcátko zpátky k vyhodnocení) na delší než definovanou dobu (3 sekundy, ... apod.).

Traťový modul při zachycení a dekódování signálu GPS odesílá počáteční zprávu, která obsahuje následující data:

- Své identifikační číslo (přiřazené číslo traťového zařízení),
- GPS souřadnice - zeměpisná šířka,
- GPS souřadnice – zeměpisná délka,
- Přesný čas dle GPS v milisekundách,
- Stav průjezdní brány.

Traťový modul, při zaznamenání průjezdu vozu odesílá následující data:

- Své identifikační číslo (přiřazené číslo traťového zařízení),
- Identifikační číslo zaznamenaného vozu,
- Přesný čas dle GPS v milisekundách,
- Stav průjezdní brány.

Traťový modul při změně stavu (provoz, chyba, ... atd.) nebo při své inicializaci odesílá zprávu, která obsahuje následující data:

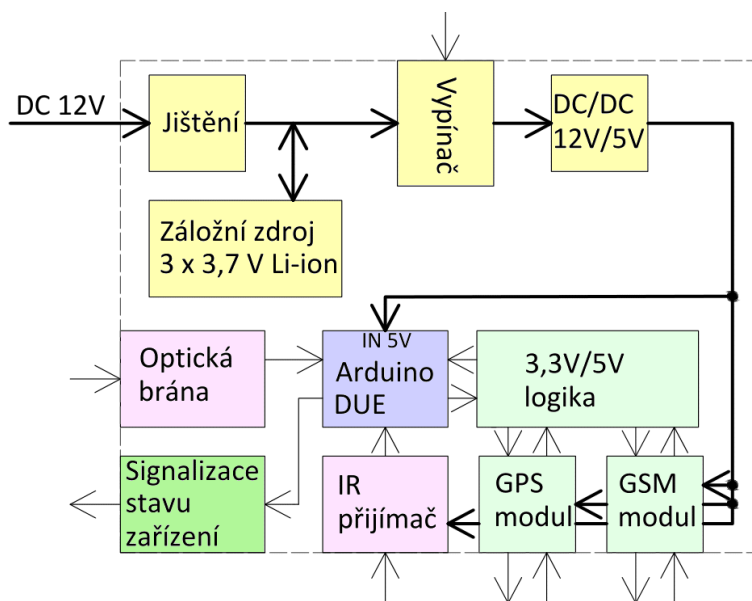
- Své výrobní číslo (přiřazené číslo traťového zařízení),
- Přesný čas dle GPS v milisekundách,
- Stav průjezdní brány.

3.1.2 Vnitřní struktura traťového modulu

Traťový modul je složený z několika bloků, které jsou pro přehlednost blokového schématu barevně odlišeny. Význam je následující:

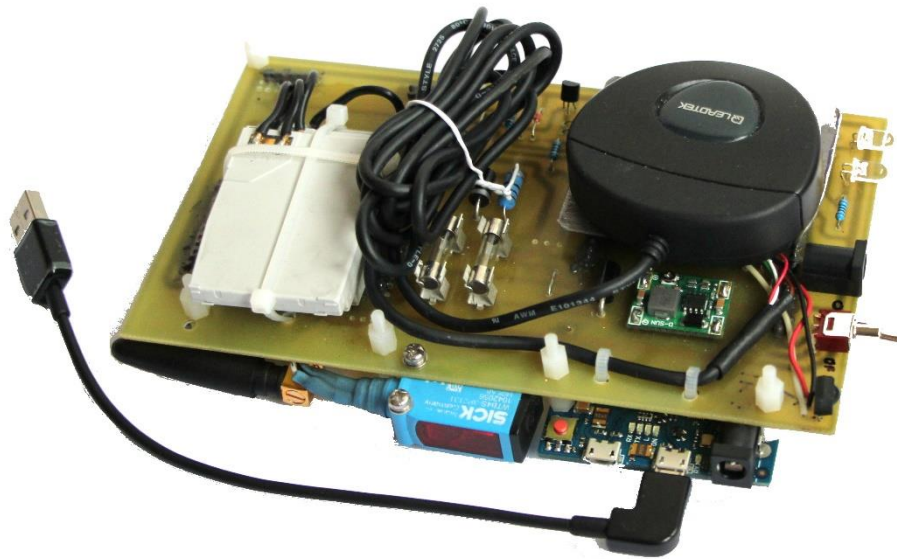
- Napájecí blok – žlutá barva,
- Vstupní měřicí blok – růžová barva,
- Výpočetní blok – šedomodrá barva,
- Komunikační blok – světle modrá barva,
- Signalizační blok – zelenou barva.

Blokové schéma traťového modulu je zobrazeno na následujícím obrázku. Napájecí data spoje jsou vyznačeny tučnou čarou, datové spoje tenkou čarou. Kompletní schémata zapojení traťových zařízení jsou umístěna v příloze A a v příloze F.



Obrázek 23 Blokové schéma traťového modulu, (Autor)

Obrázky dvou hotových traťových modulů jsou zobrazeny níže.



Obrázek 24 Traťový modul 01, (Autor)

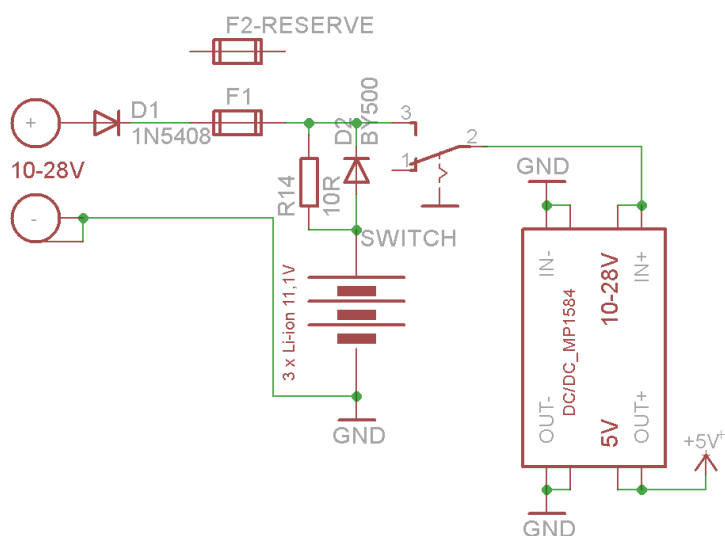


Obrázek 25 Traťový modul 02, (Autor)

3.1.3 Napájecí blok

Zařízení je primárně napájeno v 12 V autobaterie. Jako záložní zdroj, popřípadě zdroj, pro krátkodobé testování slouží tři akumulátory Li-ion, každý o napětí 3,7 V. Akumulátory jsou zapojeny sériově a umístěné přímo na základní desce. Zařízení je možné napájet napětím v rozsahu 10 V až 28 V. Avšak při poklesu napětí pod 12 V již není zaručeno, že se záložní akumulátor dostatečně nabije.

Následující obrázek ukazuje schéma zapojení napájecího bloku.



Obrázek 26 Napájecí blok, (Autor)

Na základní desce celého modulu je umístěn konektor PC-GK2.1 pro připojení vstupního napětí. Ihned za napěťovým konektorem je umístěna ochranná dioda 1N5408, která tvoří ochranu proti prepólování zdroje. Zařízení je dále chráněno trubičkovou pojistkou T2A o rozměrech 5x20 s hodnotou proudu 2 A. Pro případ, že by pojistka splnila svou funkci a zařízení by bylo nutné dále provozovat, je v její blízkosti umístěna rezervní pojistka se stejnou hodnotou. Pokud je pojistka nepřerušena, může vstupní proud téct až do implementovaných akumulátorů přes nabíjecí rezistor $10 \Omega / 5 \text{ W}$. Zmíněný rezistor slouží k omezení nabíjecího proudu při nabíjení akumulátorů. Akumulátory Li-ion disponují vlastním regulátorem nabíjení, tepelnou ochranou a ochranou před přebyťím. Jsou tedy plně autonomní. Akumulátory jsou řazeny sériově. Je tedy nezbytné, před jejich spojením, je nabit separátně. Protože pokud vnitřní elektronika libovolného akumulátoru vyhodnotí plné nabití, znemožní průchod proudu akumulátorem a jeho další nabíjení; což při sériovém zapojení více akumulátorů znamená, že se přestanou nabíjet i ostatní akumulátory byť nedosáhly svého maximálního nabití. Vybíjení akumulátorů do obvodu je přes diodu BY500 (1N5408). Netvoří se tedy úbytek na nabíjecím rezistoru.

K nabíjení akumulátorů není potřeba zapnutí hlavního vypínače. Akumulátory se nabíjí, pokud je k základní desce připojeno napájecí napětí. Mohou tedy být vždy připravené k použití. Použité akumulátory jsou svou konstrukcí určeny pro mobilní telefony, avšak jako nové, je získal k dispozici autor této práce za nízkou cenu.

Samotné zařízení se zapíná mechanickým přepínačem na okraji základní desky. Přepnutí vypínače aktivuje spínaný zdroj, který mění vstupní napětí na napětí o velikosti 5 V a optickou bránu Sick, s. r. o., kterou je nutné napájet v rozmezí 10 V až 30 V.

Spínaný zdroj s řídicím integrovaným obvodem MP1584 nahrazuje dvoustupňový lineární stabilizátor, který byl použitý v předchozích prototypyech. První stupeň stabilizátoru, který snižoval napětí z 12 V na 8 V pomocí obvodu 7808. Druhý stupeň stabilizátoru snižoval napětí z 8 V na 5 V pomocí obvodu 7805. Nízká účinnost této kaskády se projevovala především velkými tepelnými ztrátami na chladiči. Aktuálně používaný spínaný zdroj má i nižší pořizovací náklady.

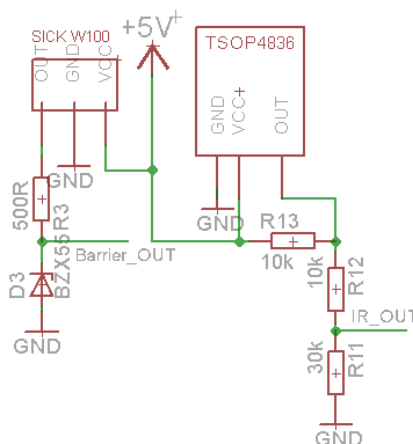
3.1.4 Vstupní měřicí blok

Měřicí blok zahrnuje optickou bránu SICK WL100 (SICK WTSB). Brána je komplexní zařízení, vstupem je napětí v rozsahu 10 V až 30 V, výstupem je logická úroveň dle typu brány. Pokud je vyslaný paprsek odražen polarizačním zrcátkem a zpět přijat optickou bránou je na výstupu logická úroveň LOW (HIGH). Pokud je brána přerušena a paprsek se nevrací zpět, je výstup LOW (HIGH). Logika je závislá na konkrétním modelu optické brány.

Na výstupu optické brány je připojena Zenerova dioda, která sníží logickou úroveň na 3 volty, které je možné zpracovat Arduinem DUE.

Dále vstupní měřicí blok obsahuje přijímač infračerveného záření a to typu TSOP1333 v traťovém modulu 01 nebo TSOP4836 v traťovém modulu 02. Zařízení slouží k příjmu identifikačního kódu, který vysílá mobilní modul. Přijímač je napájen v 5 V; jeho výstup je pomocí rezistorů snižován na hodnotu 3 V, aby mohl být připojen k Arduinu DUE.

Schéma zapojení vstupního měřicího bloku je zobrazeno na následujícím obrázku.



Obrázek 27 Vstupní měřicí blok, (Autor)

3.1.5 Výpočetní blok

Výpočetní blok obsahuje jedinou komponentu a tou je Arduino DUE. To slouží k řízení všech procesů mezi připojenými periferiemi. Vytvořený obslužný software je nahraný v paměti této komponenty.

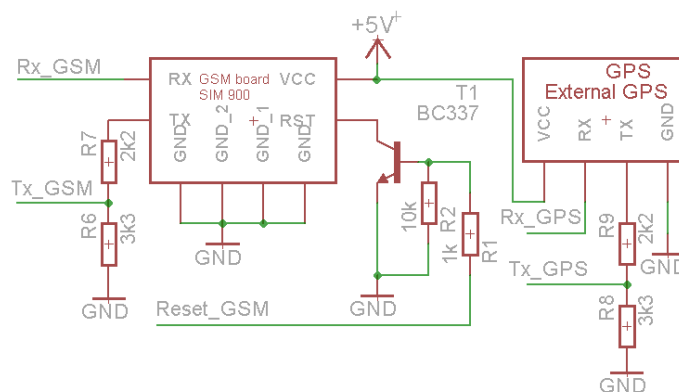
3.1.6 Komunikační blok

Komunikační blok obsahuje GPS modul, GSM modul a skupinu navržených odporů pro snížení napětí sériové linky. Obě zařízení jsou napájené ze spínaného zdroje 5 V.

Snížení napětí na sériových linkách mezi užitými komponenty je provedeno zejména kvůli použité programovatelné desce Arduino DUE. Její mikroprocesor Atmel SAM3X8E ARM Cortex-M3 totiž pracuje na hladině napětí 3,3 V. Tato hladina je maximální hodnotou, která může vstupovat nebo vystupovat do Arduina DUE. Protože GPS modul a GSM modul vyžadují napájení 5 V, je i jejich sériová komunikace na hladině 5 V a je proto nezbytné toto napětí snížit, jinak hrozí poškození mikroprocesoru. Konverze napětí z 5 V na 3,3 V je provedena napěťovým děličem za použití rezistorů o velikostech 3,3 k Ω a 2,2 k Ω .

Zpětnou konverzi napětí, pro opačný datový tok není potřeba řešit, protože rozhodovací úroveň 5 V sériové linky je 2,5 V. Signál o velikosti 3,3 V je již brán, jako vysoká úroveň.

Schéma zapojení komunikačního bloku traťového modulu je zobrazeno na následujícím obrázku.

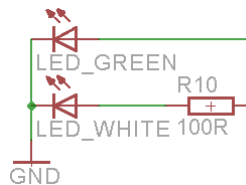


Obrázek 28 Komunikační blok traťového modulu, (Autor)

3.1.7 Signalizační blok

Signalizační blok se skládá ze dvou čirých vysoko svítivých LED. Slouží především k zobrazení stavu, v jakém se zařízení nachází. Programově lze tyto ovládat tyto LED. Dodaný software využívá blikající bílou LED pro indikaci nezachyceného GPS signálu a zelenou LED, jako indikaci stavu optické brány.

Následující obrázek zobrazuje zapojení signalizačního bloku traťového modulu.



Obrázek 29 Signalizační blok traťového modulu, (Autor)

3.2 Mobilní modul

Kapitola pojednává o mobilním modulu, jeho funkcích, komunikaci a vlastnostech. Následně je zde uveden, tvar zprávy, kterou vysílá mobilní modul do sériové linky USB. Další podkapitoly se zabývají rozdělením komponent dle jednotlivých bloků.

- Funkce
 - Automatická identifikace nehody ve voze s možností nastavení limitu přetížení,
 - Manuální identifikace nehody ve voze,
 - Varování účastníků na trati za havarovaným vozem,
 - Pravidelné odesílání zpráv o stavu, poloze a rychlosti závodního vozu,
 - Odesílání identifikačních zpráv pro rozlišení konkrétního vozu při průjezdu optickou bránou.
- Komunikace
 - Sériová linka USB,
 - (GSM - datové přenosy),
 - Implementovaný GPS modul pro časovou synchronizaci, zjišťování polohy a rychlosti závodního vozu.
- Vlastnosti
 - Napájení stejnosměrným napětím 10 V až 28 V,
 - Vlastní záložní akumulátor pro krátkodobé výpadky napájení.

3.2.1 Tok dat z mobilního modulu

Mobilní zařízení v závodním automobilu odesílá vždy stejnou zprávu o svém stavu při alespoň jedné splněné podmínce z těchto následujících:

- Uplynul definovaný čas (30 sekund, 2 minuty ... apod.),
- Automobil ujel definovanou vzdálenost (500 metrů, 2 kilometry... apod.),
- Stav vozu se změnil na nehodový (manuálně – tlačítkem, automaticky pomocí akcelerometru).

Mobilní zařízení v závodním automobilu odesílá ve zprávě o svém stavu tyto data:

- ID vozu,
- Přesný čas dle GPS v milisekundách,
- Stav vozu (v pořádku na trati, automatická identifikace nehody, manuální identifikace nehody ... atd.),
- Aktuální rychlost dle GPS,
- GPS souřadnice - zeměpisná šířka,
- GPS souřadnice – zeměpisná délka.

Mobilní zařízení v závodním automobilu přijímá tyto data:

- Informace o nehodě na trati,
- Přesnou lokaci nehody,
- Ukončení nehodové pohotovosti na trati.

V případě, že mobilní zařízení umístěné v závodním voze obdrží informace o nehodě, která leží v definované vzdálenosti (např. 500 m) od jeho aktuální polohy, tak tuto informaci předá spolujezdci formou blikáním výstražné LED.

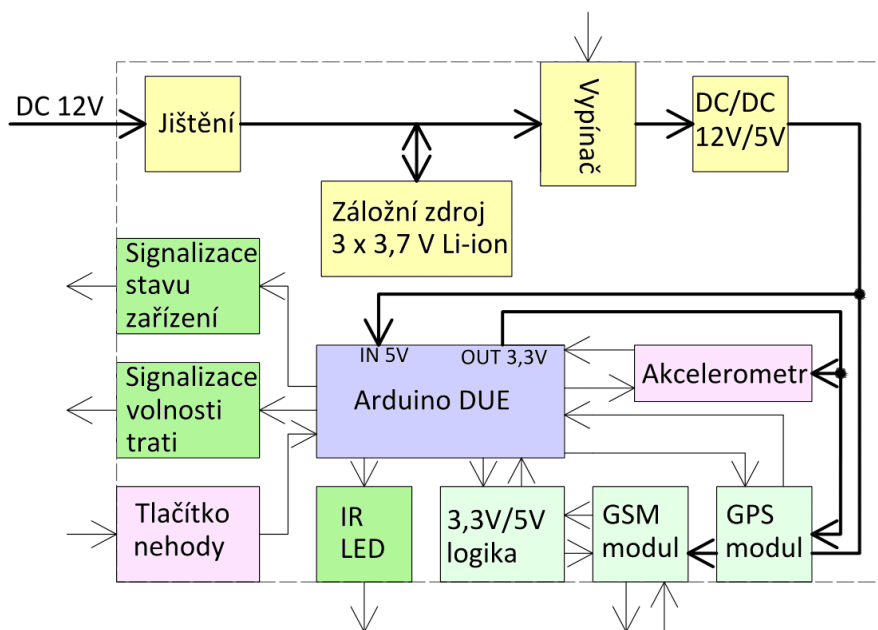
Když se závodní vůz vzdálí od inkriminovaného místa nehody, výstražná signalizace se sama deaktivuje.

3.2.2 Vnitřní struktura mobilního modulu

Mobilní modul je složený z několika bloků, které jsou pro přehlednost blokového schématu barevně odlišeny. Význam je následující:

- Napájecí blok – žlutá barva,
- Vstupní měřicí blok – růžová barva,
- Výpočetní blok – šedomodrá barva,
- Komunikační blok – světle modrá barva,
- Signalizační blok – zelená barva.

Napájecí data spoje jsou vyznačeny tučnou čarou, datové spoje tenkou čarou. Blokové schéma mobilního modulu je zobrazeno na následujícím obrázku. Kompletní schéma mobilního modulu je v příloze K.



Obrázek 30 Blokové schéma mobilního modulu, (Autor)

Níže je zobrazen obrázek hotového mobilního modulu.



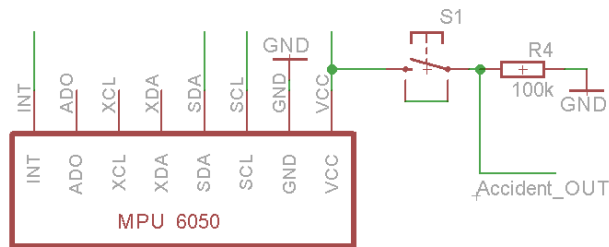
Obrázek 31 Mobilní modul, (Autor)

Napájecí blok je identický s napájecím blokem použitým v traťovém modulu.
Výpočetní blok je identický s napájecím blokem použitým v traťovém modulu.

3.2.3 Vstupní měřící blok

Vstupní měřící blok je složen ze dvou komponent a obě slouží k odeslání nehodové zprávy z vozu. Akcelerometr odesílá zprávu automaticky při překročení nastavené hodnoty přetížení v alespoň jedné ze tří os. Nehodové tlačítko odesílá zprávu po mechanickém stisknutí.

Na následujícím obrázku je znázorněno schéma zapojení měřícího bloku mobilního modulu.

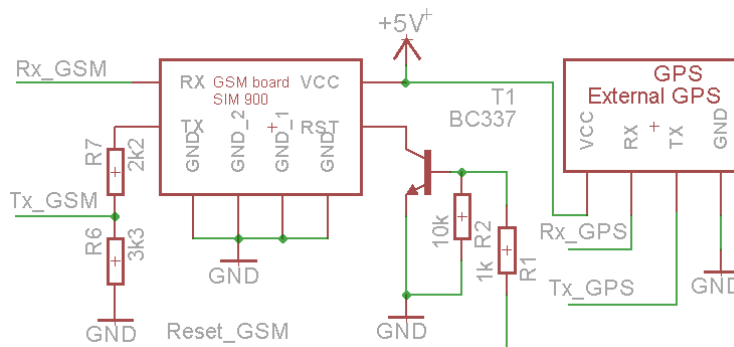


Obrázek 32 Měřící blok mobilního modulu, (Autor)

3.2.4 Komunikační blok

Komunikační blok je obdobný, jako u traťového modulu. Rozdíl je pouze v napájení GPS modulu, ten je zde novější a pracuje již při napájení 3,3 V. Není tedy potřeba ani výstup jeho sériové linky snižovat na požadovanou hodnotu 3,3 V.

Následující obrázek zobrazuje komunikační blok mobilního modulu.



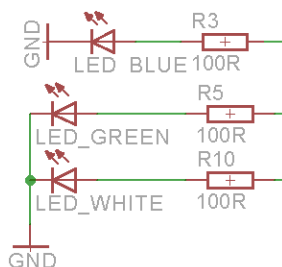
Obrázek 33 Komunikační blok mobilního modulu, (Autor)

3.2.5 Signalizační blok

Signalizační blok se skládá několika LED. Dvě číré na boční straně slouží k zobrazení stavu, v jakém se zařízení nachází. Programově lze tyto ovládat tyto LED.

Dodaný software využívá blikající bílou LED pro indikaci nezachyceného GPS signálu a zelenou LED, jako indikaci vyslání infračerveného kódu. Modrá vysoko svítivá LED, slouží k varování posádky vozu, před nehodou na trati. Skupina čirých infračervených LED na nastavitelném držáku slouží k odeslání infračerveného kódu, jehož příjem je nezbytný u traťového modulu pro identifikaci zaznamenaného vozu.

Signalizační blok pro mobilní modul je zobrazen na následujícím obrázku.



Obrázek 34 Signalizační blok mobilního modulu, (Autor)

3.3 Zavrnutí některých prvotních požadavků

Až během vývoje komplexního zařízení se ukázalo, že dodržení některých prvotních požadavků je téměř nerealizovatelné a proto se vývoj musel ubírat jiným směrem. Jednalo se zejména o nezávislost na komerčních přenosových sítích, či o přenos hlasu.

3.3.1 Hlasový přenos v závodním voze

Jako jeden z požadavků je přenos hlasu z dispečinku do závodního vozu a opačně. Lze tak lépe varovat posádku před neočekávatelnými událostmi na trati. Hlasový přenos měl být uskutečněn v sub-kanále APRS.

Reálně je tento požadavek značně problematický, jelikož závodní vozy nesplňují stanovené maximální limity hluku pro sériové vozy. Řidič a spolujezdec spolu proto komunikují pomocí přes interkom často již integrovaný do helmy. Napojení do tohoto systému je tedy nereálné a těžko si lze představit, že by závodníci přestali používat vlastní interkom a přešli hromadně na nějaké nové zařízení.

3.3.2 Nezávislost na komerčních přenosových sítích

Prvotní představa o systému obsahovala myšlenku, že systém musí být nezávislý, pro případ, že by nastal například kolaps již vytvořené datové sítě. Tuto úlohu optimálně splňoval v praxi používaný systém pro přenos telematických dat APRS (Automatic Packet Reporting System). Dosah komunikace může být i v kopcovité oblasti až 20 kilometrů. Bezchybnou komunikaci na delší vzdálenosti zajišťují opakovače; pomocí dostatečného počtu opakovačů můžeme přenášet data na libovolnou vzdálenost.

Až při testech reálného zařízení se ukázalo, že nejlepší datový typ pro sériovou komunikaci je string (char), který posílá zprávu po jednotlivých znacích ASCII tabulky. Nevýhodou je sice relativně velký nepoměr, mezi přenášenými daty a obdrženou informací, ale při zachycení necelé zprávy lze obnovit alespoň část informací. Nevyhovující je však datová prostupnost kanálu; ani nižší datový tok 1k2 kpbs ani vyšší datový tok 9k6 kpbs nedostačuje k potřebnému množství přenášených dat. Dalším nedostatkem je opakování zpráv retranslačními stanicemi. Tedy při použití dvou opakováčů, může v nepříznivé situaci dojít zpráva až 3 krát což neúměrně snižuje prostupnost datového kanálu. Nepříznivou vlastností APRS je také fakt, že v jednom okamžiku přijímá přijímač pouze jedinou zprávu a to tu s nejvyšší amplitudou; zprávy s nižší amplitudou již nelze nijak obnovit. Původní návrh nepočítal s potvrzující zprávou pro odesílatele, že přijímatel zprávy opravdu informaci obdržel, nelze tedy zaručit, zda vyslaná zpráva s jistotou dorazí. Tento fakt lze odstranit požadavkem na potvrzení přijetí zprávy, který ovšem opět vede k zahlcení datového kanálu.

Zavrnutí datové komunikace pomocí APRS potvrdí a fakt, že pro profesionální použití nelze používat amatérské kmitočty, tedy by bylo nutné zakoupit licenci u Českého telekomunikačního úřadu, což je složité nejen z právního a finančního hlediska.

Výše popsané nedostatky lze odstranit použitím již vytvořené datové sítě. Například GPRS případně její vyspělejší nástupce (EDGE, UMTS, HSDPA či LTE).

3.3.3 Bezdrátový přenos dat

Přenos dat pomocí APRS není vhodný pro toto zařízení. Varianta, kde je pro bezdrátový přenos využita síť GSM disponuje řadou výhod. Například dostupnost signálu a s tím spjatá i jednoduchost instalace na závodní trať. Mezi další výhody patří např. dostupnost hotových modulů na trhu a fakt, že při odesílání datových zpráv přes síť GSM není potřeba kódovat proti chybám v přenosu. Zabezpečení je zajištěno použitým protokolem na straně operátora.

Nejen z těchto důvodů je pro bezdrátovou komunikaci vhodná síť GSM. Avšak práce pojednává zejména o obslužném firmwaru, který pro odesílání zpráv používá sériovou linku USB.

4 HARDWAROVÁ REALIZACE

Kapitola se zabývá výběrem použitých komponent vhodných pro realizaci hardware. Dále je zde popsán konstrukční postup při výrobě prototypů. Zařízení se vždy skládá z několika dílů, které jsou vzájemně propojeny. Velký důraz byl brán na univerzálnost – aby bylo možné navržené zařízení umístit do libovolného vozu. Dále je zde uveden seznam použitých součástek a kalkulace nákladů na výrobu zařízení.

4.1 Použité komponenty navrhovaného zařízení

Komponenty použité v navrhovaném zařízení jsou detailně popsány v následujících podkapitolách. Zmíněné komponenty jsou z pravidla složeny ze základních prvků (rezistory, kondenzátory atd.) a lze je využít i separátně.

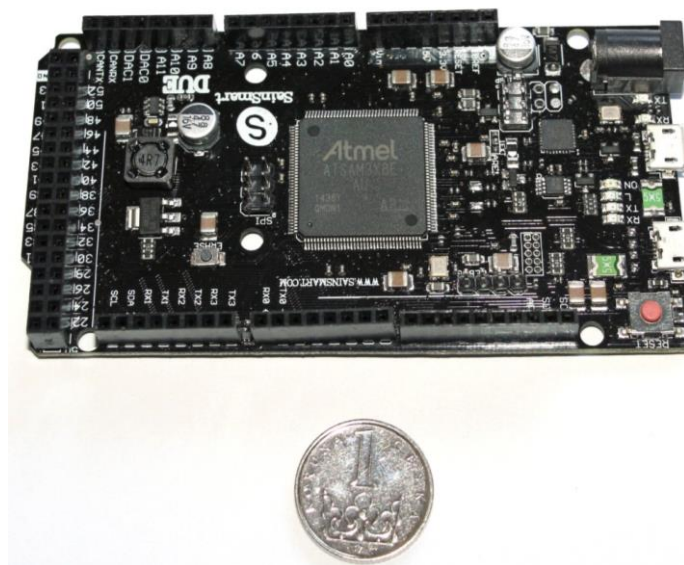
4.1.1 Arduino DUE

Arduino DUE je mikro počítač, jehož jádrem je 32 bitový mikroprocesor Atmel SAM3X8E ARM Cortex-M3 pracující na hladině napětí 3,3 V. Základní deska Arduino DUE disponuje dvěma stabilizátory napětí a to s hodnotou 5 V a 3,3 V. Oba jsou zatížitelné stejně velkým maximálním proudem a to až 800 mA. Na základní desce je dále umístěno 54 digitálních vstupně výstupních portů, které je možno zatížit dohromady až proudem 130 mA. Každý port disponuje primární a alternativní funkcí. Primární funkcí je čtení nebo zápis dvoustavové logické hodnoty. Alternativní funkce je vždy specifická pro konkrétní port. Například 12 portů může být využito ke generování pulzně šířkové modulace pomocí 8 bitového převodníku; dalších 12 portů disponuje připojením k analogově digitálnímu převodníku s rozlišením 12 bitů; dalších 8 pinů je využito pro 4 plně duplexní sériové linky označené číslováními Rx a Tx atd. Komunikace s dalšími periferiemi je dále možná po jedné ze dvou polo duplexních sériových linek. (Arduino, ©2016b)

Výše jmenovaný řídicí mikroprocesor pracuje na kmitočtu o hodnotě 84 MHz, disponuje dvěma integrovanými paměťmi typu Flash, každá o velikosti 256 kB. Obě slouží k ukládání programu. Instrukce, které umožňují zápis programu do paměti, jsou uloženy do nepřepisovatelné paměti ROM o velikosti 16 kB. Pro ukládání mezi výpočty a dat, se kterými procesor aktuálně pracuje, jsou v mikro počítači integrovány dvě operační paměti typu SRAM a to velikostech 64 kB a 32 kB. Dohromady tedy 96 kB. (Alldatasheet.com, ©2003 – 2016)

Tento mikropočítač byl zvolen, jako nejvhodnější, protože je založen na 32 bitové architektuře, disponuje dostatečným počtem sériových linek a na začátku tohoto projektu byl pro autora této práce nejdostupnější.

Následující obrázek zobrazuje mikropočítač Arduino DUE.



Obrázek 35 Arduino DUE, (Autor)

4.1.2 GSM modul

Zvolený GSM modul, založený na integrovaném obvodu SIM 900 komunikuje se systémem základnových stanic (BSS) stanicemi pomocí kódování GPRS (2. generace). Modul zvládá kmitočtová pásma 850, 900, 1800 a 1900 MHz, lze využít datové přenosy, přenos hlasu i Short Message System. GSM modul lze ovládat pomocí seznamu příkazů AT (AT Commands). (eBay, © 1995 – 2016a)

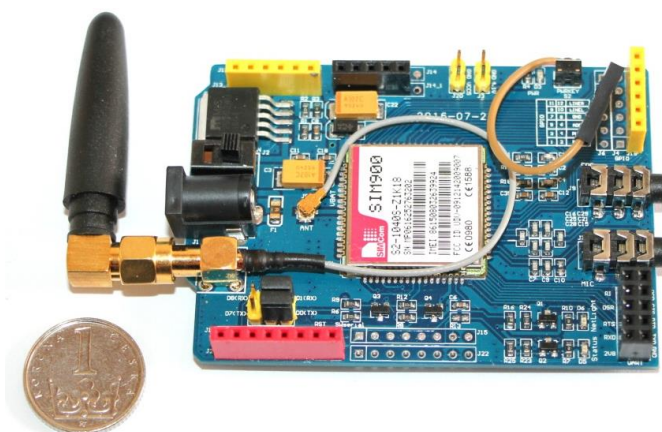
Základní deska disponuje mechanickým přepínačem, na kterém lze zvolit, zda bude použito napájení z konektoru na okraji desky nebo napájení z pinů. Spotřeba GSM modulu se pohybuje mezi 700 a 1 000 mA, špičkový odběr se může dostat až ke 2 000 mA při napájení 5 V. Napájení modulu je možné ze dvou zdrojů, mezi kterými se volí mechanickým spínačem umístěným na desce. První je přes implementovaný konektor PC-GK2.1, druhý přes umístěné piny. V práci je využito napájení přes piny umístěné na desce.

Z důvodu špatné dostupnosti jsou pro traťové moduly užity jiné GSM moduly než pro mobilní modul. Nevýhodou obou desek však zůstala absence otvorů pro mechanické uchycení.

V této práci není zahrnuta programová obsluha GSM modulu. Na sledujících obrázcích je znázorněn GSM modul použitý v traťovém modulu a GSM modul použitý v mobilním modulu.



Obrázek 36 GSM modul použitý v traťovém modulu, (Autor)



Obrázek 37 GSM modul použitý v mobilním modulu, (Autor)

4.1.3 GPS modul

Global Position System (GPS) je využit pro zjištění polohy a přesného reálného času. V případě mobilního modulu je GPS využita pro sledování aktuální rychlosti závodního vozu.

Nevýhodou systému je jistá nepřesnost, často nelze správně určit, který vůz byl v daném místě dříve. Proto je pro zjišťování pořadí vozů v místě měření (start, cíl, mezi body) nutné přidat další způsob identifikace jednotlivých vozů a snímání překročení hranice (optická brána). Dalším nedostatkem je doba připojení k minimálně 3 družicím, které zajistí přesnou lokaci, místa příjmu signálu. Tuto vlastnost lze odstranit softwarově – čekáním, dokud nebude přijatý signál platný. (eBay, © 1995 – 2016c)

Autor dále uvádí, že GPS zařízení odesílá data pomocí sériové linky ve formátu definovaném protokolem NMEA; jedná se o 19 vět, ve kterých jsou zakomponovány měřené a sledované veličiny (zeměpisná šířka, zeměpisná délka, nadmořská výška, rychlost, směr, vzdálenosti mezi dvěma body, Greenwichský čas, datum, informace o počtu satelitů, jejich poloze a kvalitě přijímaného signálu...).

V traťovém modulu je využita informace o přesné zeměpisné poloze pouze při inicializaci. Poté je využit pouze přesný reálný čas pro správné měření časových intervalů.

V mobilním modulu se využívají po celou dobu tyto veličiny: zeměpisná poloha, přesný reálný čas a aktuální rychlost sledovaného vozu.

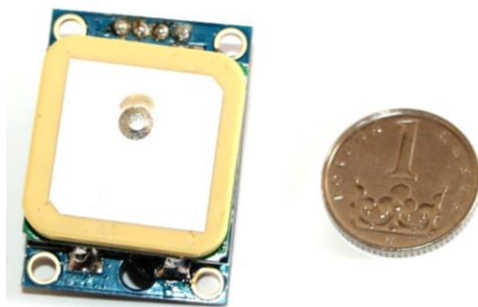
Každé zařízení využívá jiný GPS modul, fungující na stejné bázi. Tyto GPS moduly jsou uvedeny na následujících obrázcích.



Obrázek 38 GPS modul použitý v traťovém modulu 01, (Autor)



Obrázek 39 GPS modul použitý v traťovém modulu 02, (Autor)

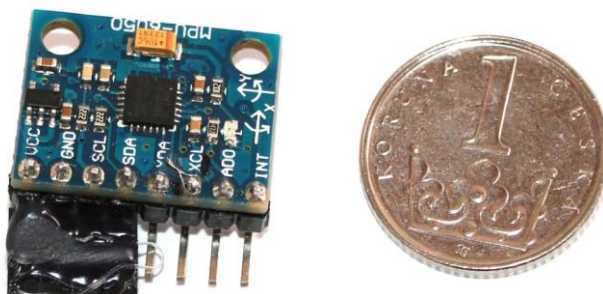


Obrázek 40 GPS modul použitý v mobilním modulu, (Autor)

4.1.4 Akcelerometr

Základní deska akcelerometru obsahuje i gyroskop, ten však není využit. Samostatný obvod gyroskopu je založen na integrovaném obvodu MPU-6050. Tento obvod vyžaduje vstupní napětí v rozsahu 3 V až 5 V. Zařízení je napájeno z 3,3 V zdroje integrovaného na desce Arduino DUE. Komunikace probíhá po standardizované sériové lince I²C.

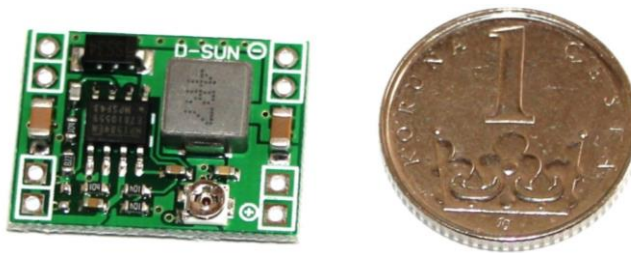
U akcelerometru je možné nastavit rozsah měřených hodnot a to v mezích ± 2 g, ± 4 g, ± 8 g, ± 16 g. S vyšším rozsahem klesá rozlišení. Obvod MPU-6050 disponuje 16 bitovým analogově digitálním převodníkem. Výstupní data jsou tedy 16 bitová. Akcelerometr je zobrazen na následujícím obrázku. (eBay, © 1995 – 2016d)



Obrázek 41 Akcelerometr, (Autor)

4.1.5 Měnič napětí

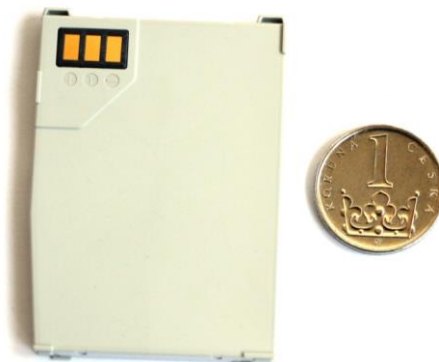
Měnič napětí slouží k napájení všech komponent kromě optické brány (ta je napájena přímo vstupním napětím). Základem měniče je integrovaný obvod MP1584 od společnosti Monolithic Power Systems, Inc.. Měnič snižuje vstupní napětí, jehož hodnota může být v rozsahu 4,5 V až 28 V, na napětí výstupní a to v trimrem stavitelných hodnotách 0,8 V až 28 V. Výstupní zvlnění napětí je menší než 30 mV. Maximální výstupní proud jsou 3 A. Spínací frekvence výkonového obvodu je 1 MHz. Maximální účinnost celého obvodu je 96%. Zdroj napětí nemá galvanické oddělení, nulový potenciál vstupu je tedy propojen přímo na výstup. Na následujícím obrázku je znázorněn měnič napětí. (eBay, © 1995 – 2016e)



Obrázek 42 Spínaný měnič napětí, (Autor)

4.1.6 Záložní akumulátor energie

Jako záložní zdroj energie je použito sériového spojení tří Li-ion akumulátorů Panasonic EB-BSX700 o napětí 3,7 V a kapacitě 780 mAh. Akumulátor disponuje integrovanou ochranou proti zkratu, přebití a přehřátí. Hlavním úkolem akumulátoru je v případě nehody a odeslat nehodovou zprávu, i pokud je odpojeno napájení. Velikost akumulátoru je dostatečná i v případech testování. Není tedy nezbytně nutné připojovat zařízení ke zdroji napětí, pokud bude zapnuté jen v řádu minut. Záložní akumulátor je znázorněn na následujícím obrázku.



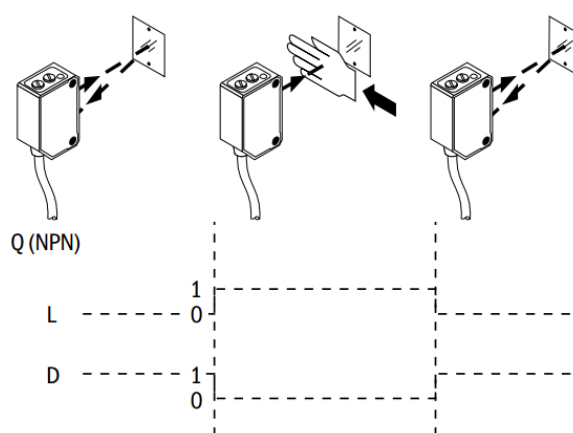
Obrázek 43 Li-ion akumulátor Panasonic EB-BSX700, (Autor)

4.1.7 Optická brána

Optická brána slouží k přesnému měření času, mezičasu či detekování nežádoucího předčasného startu. Je součástí každého traťového modulu.

Firma Sick, s. r. o. nabízí optické brány pro průmyslové použití, které využívají principu polarizovaného světla. Testovací model WL100L vyžaduje pouze napájení v rozmezí 10 V až 30 V a lze ho použít na vzdálenost 0,8 – 10 metrů. Výstupní informace je dvoustavová. Rychlost odezvy je menší než 0,25 milisekund, což je dostatečně přesné. Maximální výstupní frekvence je 1 kHz. Vlastní spotřeba proudu nepřesahuje 100 mA. Zařízení má stupeň krytí IP 65. (Sick, © 2016a)

Autor dále uvádí, že optická brána má v sobě zabudovaný přijímač a vysílač (což mimo jiné usnadňuje instalaci). V přímé rovině senzoru se umísťuje polarizační zrcadlo. Pokud vysílač vyšle signál, polarizační zrcátko odfiltruje polarizační složku a odrazí ho k přijímači, tak je na výstupu NPN snímače potenciál záporného napájecího napětí. Pokud přijímač nepřijme nepolarizovaný vyslaný signál, na výstupu je v případě NPN snímače kladné napájecí napětí. (Senzor je vyráběn ve variantě NPN a PNP). Součástí této brány je tedy i polarizační zrcátko, které zajišťuje otočení polarizace paprsku. Nelze tedy signál zaručit například ostrým slunečním svitem. Zařízení disponuje vlastní kontrolou činnosti a indikací, zda je brána přerušena. Výše popsaná optická brána WL100L je použita v traťovém modulu 02 a její princip zobrazuje následující obrázek.



Obrázek 44 Zobrazení funkce optické brány, (Sick, © 2016a)

Traťový modul 01 disponuje obdobným zařízením také od firmy Sick, s. r. o. a to modelem WTB4S-3. Ten disponuje stupněm krytí IP 67. Vlastní spotřeba proudu a maximální spínací frekvence jsou identické s předchozím modelem, tedy 100 mA a 1 kHz. Maximální doba odezvy je dvojnásobná, než u předchozího modelu, tedy 0,5 ms. Největší nevýhodou tohoto modelu, v tomto zařízením, je fakt, že reaguje na všechny podněty, ke své činnosti tedy nepotřebuje polarizační zrcadlo. Druhou nevýhodou je velikost nastavení maximální vzdálenosti a ta je 120 mm. Pro účely testování lze tuto bránu využít a to v případě, že se měřicí brána bude umísťována tak, aby projíždějící vůz zasáhl do maximální detekční vzdálenosti optické brány. Avšak pro reálné nasazení je tento typ optické brány nevhodný.

Optické laserové brány jsou zobrazeny na následujících obrázcích.



Obrázek 45 Laserová brána SICK WTB4S-3, (Autor)



Obrázek 46 laserová brána SICK WL100L, (Autor)

Polarizační zrcadlo, které je zobrazeno na následujícím obrázku, má odraznou plochu o rozměrech 46 x 46 mm. K upevnění slouží dva podélné otvory na spodním okraji.



Obrázek 47 Polarizační zrcátko, (Autor)

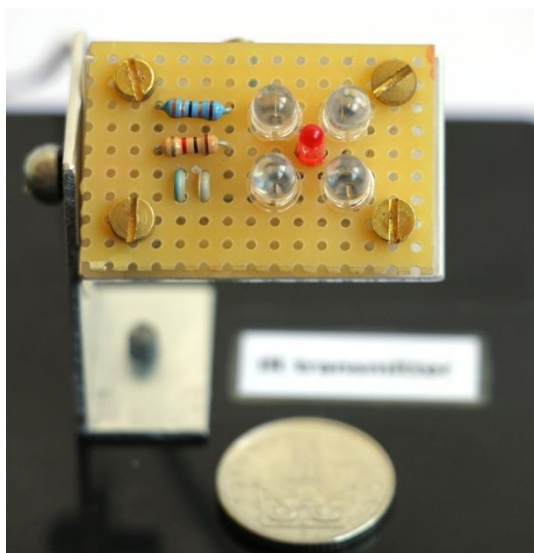
4.1.8 Nouzové tlačítko a signalizace volnosti trati

Nouzové tlačítko je součástí mobilního zařízení pro odesílání dat z vozu, umístěného na palubní desce před spolujezdcem každého závodního vozu závodu. Po stisku tlačítka se odešle do sériové linky USB nehodové hlášení, s informací o poloze vozidla. (Které je možné předat např. zdravotnické záchranné službě.)

Naopak, pokud je přijata po sériové lince USB informace o nehodě, ve které je zakódována poloha nehody, mobilní modul vyhodnotí situaci, a pokud se přiblíží k místu nehody na definovanou absolutní vzdálenost (např. 500 m) rozbliká se indikační LED, která informuje o nečekané události na trati. Pokud se závodník z místa nehody již vzdaluje, indikační LED se sama vypne.

4.1.9 Vysílač infračerveného záření

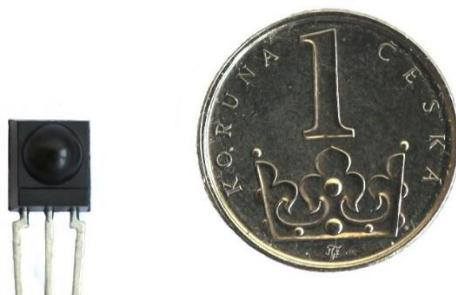
Jako vysílač infračerveného záření v mobilním modulu, slouží skupina čtyř infračervených LED HSDL-4220 o průměru pouzdra 5 mm. Vyzařovací úhel jedné LED je 30°, zářivost je 38 mcd. Vlnová délka je 875 nm. Dále je na desce umístěna červená LED pro jednoduchou optickou kontrolu, že zařízení vysílá infračervený kód. Jak k paralelní skupině infračervených LED, tak k červené LED jsou připojeny vhodné rezistory. Vysílač infračerveného záření je znázorněn na následujícím obrázku.



Obrázek 48 Vysílač infračerveného záření, (Autor)

4.1.10 Přijímač infračerveného záření

Jako přijímač infračerveného záření slouží obvod TSOP 1333 u traťového modulu 01 s nosným kmitočtem přijímaného signálu 33 kHz. Traťový modul 02 využívá obvod TSOP 4836 s nosným kmitočtem přijímaného signálu 36 kHz. Přijímače jsou rozdílné z důvodu špatné dostupnosti obvodu TSOP 1333. Oba integrované obvody je možné napájet napětím v rozsahu 2,5 V až 5,5 V. Tento přijímač je znázorněn na následujícím obrázku. (GM Electronic, © 1990 – 2016)



Obrázek 49 Přijímač infračerveného záření TSOP 4836, (Autor)

4.2 Základní předpoklady mobilního modulu

Mobilní modul musí být naprosto univerzální, tedy použitelný do jakéhokoli závodního vozu. Nelze tedy zařízení umístit na stíněné místo a GPS přijímač uchytit např. magnetem ke karoserii na místo, kde bude mít přímý výhled na oblohu, jelikož ne všechny karoserie jsou magnetické.

Jednoduchost instalace do závodního vozu je spjata s počtem komponent nezbytných k instalaci. Čím více komponent se musí v každém voze instalovat, tím více složitější instalace je. Z tohoto předpokladu vyplývá požadavek na co nejméně dílů, ideálně jeden.

Pozitivní signalizace volnosti trati, případně signalizace nehody na trati před závodním vozem. Tato součást by měla být umístěna před spolujezdcem, aby stihl reagovat, avšak tak, aby nebránila výhledu z vozu. Zároveň nouzové tlačítko, které stiskne spolujezdec v případě nehody, musí být umístěno na dosah ruky.

Vysílač identifikačního infračerveného kódu musí být umístěn tak, aby vysílaný signál mohl jednoduše zachytit traťový modul. Infračervené záření se přenáší i odrazem, na to se však nelze spolehnout. Bylo by dobré, zajistit vždy přímý výhled.

Z výše popsaných předpokladů se jeví, jako nejlepší místo pro umístění zařízení palubní deska před spolujezdcem. Sklon předního okna zajišťuje GPS modulu dostatečný úhel pro příjem signálu. Dostatečná viditelnost pro šíření infračerveného signálu je zajištěna faktem, že i řidič a spolujezdec potřebují mít dostatečný výhled z vozu. Nouzové tlačítko a signalizace volnosti trati jsou také v dostatečné blízkosti spolujezdce.

4.3 Základní předpoklady traťového modulu

Základním předpokladem pro správnou funkčnost traťového modulu je fakt, že místo je zúžené, nikdy se tedy zde nemůžou závodní vozy předjíždět. Vozy jsou identifikovány postupně a jejich přesný průjezd lze tedy také přesně změřit. Nemůže nastat situace, kdy bude jeden závodní automobil identifikovaný a druhý mezitím protne optickou bránu a neprávě by se spojilo identifikační číslo vozu s časem průjezdu.

Traťový modul se instaluje na trať zpravidla několikrát denně a to vždy při změně etapy. Optická brána může být umístěna v takové výšce nad závodní tratí, aby ji protnul všechny závodní vozy (např. 30 – 80 cm). Všechny traťové moduly však musejí mít tuto výšku stejnou. Požadavky tedy jsou jednoduchá instalace a naprosto automatický chod. Obsluha může pouze dohlížet, zda zařízení pracuje správně.

4.4 Návrh zařízení

Schéma zapojení i základní deska byla navržena v programu Eagle. V přílohách A, F, K jsou zobrazeny kompletní schémata zapojení. V přílohách B, G, L jsou návrhy základních desek plošného spoje s vyznačenými prvky. Samotné návrhy desek plošných spojů jsou umístěny v přílohách C, H, M. Příloha P obsahuje všechna schémata spustitelné v programu Eagle.

Prototypy se vzájemně mírně liší a to zejména z důvodu postupného vývoje a odladění chyb. Druhým důvodem byl nedostatek stejných komponent pro stavbu zařízení. Mezi nejpodstatnějšími rozdíly patří vyplnění všech nevyužitých ploch základní desky zemním polygonem u traťového modulu 02 a u mobilního modulu. Dalším rozdílem je zmenšení rozměrů u mobilního modulu na 150 x 90 místo původních 166 x 94 mm.

4.5 Stavba zařízení

V této práci popisují již druhou vytvářenou sadu prototypů. Všechny komponenty jsou nyní pevně spojeny se společnou základní deskou.

Mechanická odolnost a odolnost vůči vibracím celého zařízení se jeví, jako velice podstatná záležitost. Lze ji dosáhnout například použitím kombinace materiálů (hliník, plast) při tvorbě úložného boxu.

Vibrace lze eliminovat například zalitím hotové desky do silikonu. Ovšem toto řešení přináší i nevýhodu v podobě horších parametrů při předávání tepla do okolí. Další nevýhodou je nemožnost jakéhokoli zásahu do zařízení či výměna nefunkční komponenty.

Kromě GSM modulu, který nedisponuje otvory pro uchycení, jsou všechny ostatní komponenty připájeny či připojeny konektorem a připevněné pomocí distančních sloupků, pomocí kterých je i celé zařízení uchyceno v úložném boxu. Toto řešení přináší menší finanční náročnost a také možnost vizuální kontroly zařízení.

Rozměry první základní desky (traťový modul 01) jsou navrženy s ohledem na použité komponenty. Čínská kopie GSM modulu má totiž zrcadlově otočené konektory a nelze ho připevnit na Arduino DUE. Pokud nemá být zařízení vysoké, je nutné umístit jmenované komponenty vedle sebe. Z tohoto důvodu prochází prvotní rozměr základní desky.

Traťový modul 01 se odlišuje od traťového modulu 02 především použitím jiného přijímače infračerveného záření. První prototyp obsahuje zařízení TSOP1333, druhé zařízení již typ TSOP4836, protože první jmenovaný již není běžně dostupný.

Tabulky použitých komponent pro stavbu jednotlivých modulů jsou uvedeny v přílohách D, I, N.

Zmenšení základní desky u traťové části vyžadovalo přesun některých komponent a z toho plynoucí zvýšený počet propojek plošného spoje. Protože mobilní modul je odlišný od traťového, jsou v seznamu zahrnuté i jiné komponenty, např. akcelerometr, vysílač infračerveného záření apod. Hotová zařízení jsou zobrazeny na obrázcích v přílohách E, J, O.

4.6 Kalkulace nákladů

Kalkulace nákladů na jednotlivá zařízení jsou uvedeny při použití originálních součástek a při použití levnějších kopií. Prototypy jsou postaveny převážně z neoriginálních součástek. Cena traťového modulu je zobrazena v následující tabulce (hodnota práce a cena vývoje prototypu zde není zahrnuta). V kategorii ostatní jsou zahrnuty především tyto komponenty: základní deska, úložný box a drobné elektrotechnické součástky.

Tabulka 6 Cena traťového modulu

Zařízení	Originál (Kč)	Neoriginál (Kč)
Arduino DUE	Staženo z prodeje (1000)	500
GPS modul	1 300	250
GSM modul	1 900	400
Optická brána	3 400	1 900
Ostatní	1500	1 500
Doprava	220	0
Celkem	9 320	4 550

Zdroj: eBay, © 1995 – 2016b, Arduino, ©2016e, Sick, ©2016b, upraveno autorem

Jak je patrné z předešlé tabulky, cena neoriginálního zařízení je oproti originálnímu výrazně nižší. Avšak kvalita zpracování odpovídá ceně. V následující tabulce je zobrazena cena mobilního modulu (hodnota práce a cena vývoje prototypu zde není zahrnuta).

Tabulka 7 Cena mobilního modulu

Zařízení	Originál (Kč)	Neoriginál (Kč)
Arduino DUE	Staženo z prodeje (1000)	500
GPS modul	1 300	250
GSM modul	1 900	400
Gyroskop	500	150
Ostatní	1500	1 500
Doprava	220	0
Celkem	6 420	2 800

Zdroj: eBay, © 1995 – 2016b, Arduino, © 2016e, upraveno autorem

Firma Arduino stáhla z prodeje produkt Arduino DUE. Neoriginální zařízení je stále k dispozici. Možnosti náhrady za originální součástku jsou uvedeny v Tabulka 111 v kapitole 6.2.

5 FIRMWARE

Kapitola se zabývá rozborem použitých funkcí v traťovém modulu a v mobilním modulu. Firmware pro Arduino DUE je napsaný v jazyce C/C++ v programu Microsoft Visual Studio s doplňkovým prostředím Visual Micro.

5.1 Datové typy v jazyce C užití pro program Arduino

V následující tabulce jsou zobrazeny datové typy, které využívá Arduino. Nekonzistentní velikost některých datových typů, pro různé základní desky Arduino, je způsobena použitím různých procesorů s odlišnou architekturou.

Tabulka 8 Datové typy využívané Arduinem

Datový typ	Vlastnost	Délka pro Arduino DUE, ZERO (Byte)	Délka pro ostatní Arduino (Byte)
float	Reálné číslo, jednoduchá přesnost	4	4
double	Reálné číslo, dvojitá přesnost	8	4
int	Celé číslo	4	2
short	Krátké celé číslo	2	2
long	Dlouhé celé číslo	4	4
bool	Nabývá stavu pouze pravda/nepravda	1	1
char	Jeden znak	1	1
str	Řetězec znaků o libovolné délce (n)	$n \cdot 1$	$n \cdot 1$
byte	Pouze kladné číslo 0 až 256	1	1

Zdroj: Arduino, ©2016c, upraveno autorem

Maximální hodnotu číselných datových typů (float, double, int, short, long) lze zdvojnásobit avšak s absencí záporných čísel za použití výrazu „unsigned“.

Pokud je již na začátku zřejmé, že není žádoucí, aby se během chodu programu nějaká proměnná změnila, definuje se, jako konstanta – před datový typ se napíše „const“.

Pro zjednodušení, a proto, že vždy je výsledkem pouze časový rozdíl, je v programu počítáno vždy s reálným časem dle Greenwiche a ne s aktuálním časem České republiky. Toto lze odstranit přičtením jedné nebo dvou hodin dle aktuálního času a data ve funkci, která se zabývá výpočtem hodin (*short Ftimehour (void)*).

Dalším zjednodušením je absence kalendářních dat, tedy dnů, měsíců a let. Obslužný program se nezaobírá překročením půlnoci. Toto je nutné ošetřit v programu, který zpracovává data ze sériové linky USB.

Tabulka připojených komponent k traťovému modulu níže uvedená je identická pro oba traťové moduly.

Tabulka 9 Připojené komponenty k traťovému modulu

Periferie	Připojení
Komunikace s počítačem pomocí USB	0. sériová linka
GSM modul	2. sériová linka
Reset GSM modulu	Digitální výstup 45
GPS modul	3. sériová linka
Bílá signalizační LED	Digitální výstup 51
Zelená signalizační LED	Digitální výstup 49
Přijímač infračerveného záření	Digitální vstup 29
Optická brána	Digitální vstup 43

Zdroj: Autor

Tabulka připojených komponent k mobilnímu modulu je zobrazena níže.

Tabulka 10 Připojené periferie k mobilnímu modulu

Periferie	Připojení
Komunikace s počítačem pomocí USB	0. sériová linka
GSM modul	2. sériová linka
Reset GSM modulu	Digitální výstup 45
GPS modul	3. sériová linka
Bílá signalizační LED	Digitální výstup 51
Zelená signalizační LED	Digitální výstup 49
Vysílač infračerveného záření	Digitální výstup 7
Nehodové tlačítko	Digitální vstup 35
Nehodová LED signalizace	Digitální výstup A11
Akcelerometr	Sériová linka I ² C (SDA, SCL)

Zdroj: Autor

5.2 Užité základní funkce Arduino

Mikroprocesory zpracovávají v jednom kroku vždy jen jeden logický úkon, program tedy probíhá po řádcích, jak je napsán. Když programový čítač splní poslední instrukci, skáče na začátek programu. A opět provádí napsané instrukce. Přídavné periferie pracují zvlášť a nejsou závislé na procesoru (např. sériová linka). Pokud program vyžaduje práci s periferiemi, načítá si potřebná data vždy v definovaném okamžiku a to nepřerušovaně. Arduino, pro usnadnění práce a větší přehlednost používá vždy dvě základní funkce a to *void setup (void)* a *void loop (void)*. Před spuštěním těchto funkcí se alokuje místo pro proměnné v paměti, inicializují se registry např. pro komunikaci nebo časovače.

void setup (void)

Funkce proběhne vždy pouze jednou a to na začátku programu. Slouží k počáteční inicializaci proměnných, nastavení pinů či k prvotní kalibraci připojeného zařízení po zapnutí.

- Vstupní parametry: žádné,
- Výstupní parametry: žádné.

void loop (void)

Funkce navazuje na předchozí *void setup (void)*, jakmile skončí počáteční inicializace, skočí program do této nekonečné smyčky, kde vykonává cyklicky napsané „úkoly“. Funkce má nekonečný počet opakování – záleží zejména na naprogramovaném obsahu funkce a na rychlosti zpracování procesorem. Funkce končí až s odpojením napájení či resetem.

- Vstupní parametry: žádné,
- Výstupní parametry: žádné.

Funkce je obdobou nekonečné smyčky s konstantní podmínkou true.

5.3 Často používané funkce Arduino a použitých knihoven

Každá funkce přebírá vstupní parametry. Ty jsou definovány v závorce za názvem funkce. Pokud má funkce návratovou hodnotu, tak je uvedena v závorce před názvem funkce.

void delay (ms)

Funkce slouží k nastavení jednoduchých čekacích intervalů. Nevýhodou je, že procesor během „čekání“ nezpracovává žádná jiná data – tedy čeká. Obsluha periferií je možná např. přes přerušení.

- Vstupní parametry: ms - délka intervalu,
- Výstupní parametry: žádné.

unsigned long millis (void)

Funkce počítá dobu běhu procesoru od zapnutí (posledního restartu) v milisekundách. K takzvanému přetečení (samovolnému vynulování), dojde na hodnotě $4B = 2^{32} = 4\,294\,967\,295$, což nastane přibližně za 50 dní. Přesněji by nepřetržitý běh musel trvat 4 294 967 295 milisekund tj. 4 294 967 sekund tj. 71 582 minut tj. 1193 hodin tj. 49,7 dní. Funkce se využívá k zaznamenání časových značek a poté k měření intervalů od dané značky.

- Vstupní parametry: žádné,
- Výstupní parametry: doba běhu procesoru od zapnutí.

void Serial.begin (speed)

Funkce slouží k počáteční inicializaci sériové linky UART a k nastavení její komunikační rychlosti v bitech za sekundu – v baudech. Arduino podporuje tyto rychlosti 300, 600, 1200, 2400, 4800, 9600, 14400, 19200, 28800, 38400, 57600 nebo 115200.

- Vstupní parametry: speed - komunikační rychlost v baudech,
- Výstupní parametry: žádné .

void Serial.print (val)

Funkce slouží k vytištění žádaných hodnot, ve tvaru ASCII tabulky, do sériové linky. Vstupem může být znak, řetězec znaků či libovolné číslo. U desetinných čísel je počet číslic za desetinnou čárkou defaultně nastaven na dvě.

Příklad: `Serial.print(3.141592);` vytiskne "3.14"

`Serial.print('M');` vytiskne "M"

`Serial.print("Ahoj světe");` vytiskne "Ahoj světe"

- Vstupní parametry: val - hodnota k vytisknutí do sériové linky,
- Nepovinné vstupní parametry: počet číslic u celočíselných datových typů nebo počet desetinných míst u necelých čísel,
- Výstupní parametry: žádné.

Výstup ze sériové linky je bez oddělovačů, pokud jsou potřeba, je nezbytné použít jinou funkci (např. `void Serial.println(void)`) nebo zahrnout oddělovače do hodnot k vytisknutí.

void Serial.println (val)

Funkce je obdobou funkce *void Serial.print(void)* s tím rozdílem, že po jejím provedení jsou další tištěné hodnoty na novém řádku. Není tedy nezbytné zahrnovat oddělovače do hodnot k vytisknutí. Opět slouží k vytištění žádaných hodnot, ve tvaru ASCII tabulky, do sériové linky. Vstupem může být znak, řetězec znaků či libovolné číslo. U desetinných čísel je počet číslic za desetinnou čárkou defaultně nastaven na dvě.

- Vstupní parametry: val - hodnota k vytisknutí do sériové linky,
- Nepovinné vstupní parametry: počet číslic u celočíselných datových typů nebo počet desetinných míst u necelých čísel,
- Výstupní parametry: žádné.

void pinMode (pin, mode)

Funkce nastavuje mód pinu buď, jako výstupní nebo jako vstupní nebo vstupní s pull-up rezistorem. Varianta s pull-up rezistorem se používá v případě, že vstupní hodnota je definovaná pouze pro nízkou hodnotu (např. stiskem tlačítka k zemi). Vysoká úroveň by byla tedy nedefinována. Pull-up rezistor zajistí, potenciál vysoké úrovně na požadovaném pinu v případě, že není tlačítko stisknuté (byl by zde neurčitý stav). Opakem je pull-down rezistor, který v případě potřeby dodává potenciál země. Ten však není integrován v procesoru, které využívá Arduino ve svých základních deskách. Funkce se používá zpravidla ve smyčce *void setup (void)* k prvotní inicializaci pinů.

- Vstupní parametry: pin - číslo pinu, mode - mód pinu,
- Výstupní parametry: žádné.

void digitalWrite (pin, value)

Funkce slouží k zápisu stavu na pin. Stav dosahuje dvou hodnot a to nízké nebo vysoké úrovně. Nízká úroveň je společná se zemí, tedy 0 V, vysoká úroveň je standardně 5 V (Arduino UNO), avšak u typů základních desek, jejichž procesor pracuje s maximálním napětím 3,3 V (Arduino DUE) je tato hodnota 3,3 V.

- Vstupní parametry: pin - číslo pinu, value – požadovaná úroveň,
- Výstupní parametry: žádné.

bool digitalWrite (pin)

Funkce slouží k výčtu stavu z digitálního pinu.

- Vstupní parametry: pin - číslo pinu,
- Výstupní parametry: vyčtená úroveň.

double TinyGPSPlus.distanceBetween (double lat1, double long1, double lat2, double long2)

Funkce `double` z knihovny `<TinyGPS++.h>` slouží k vypočítání vzdálenosti mezi dvěma body. Každý bod musí znát svoji zeměpisnou šířku a zeměpisnou délku.

- Vstupní parametry: `lat1` - zeměpisná šířka prvního bodu, `long1` - zeměpisná délka prvního bodu, `lat2` - zeměpisná šířka druhého bodu, `long2` - zeměpisná délka druhého bodu,
- Výstupní parametry: vzdálenost v metrech mezi vstupními body.

int isdigit (int c)

Funkce určuje, zda zadaná hodnota znaku dle tabulky ACII patří do kategorie desítková číslice. Pokud se jedná o číslici, funkce vrací 1, pokud ne funkce vrací 0.

- Vstupní parametry: `c` - dekadická hodnota znaku dle ACII tabulky,
- Výstupní parametry: výsledek vyhodnocení. (Tutorials point, © 2016)

bool string.startsWith (str compareStr)

Jedná se o metodu třídy `String`. Funkce hledá výskyt řetězce v jiném řetězci. Výsledkem je dvoustavová hodnota.

- Vstupní parametry: `compareStr` - porovnávací řetězec,
- Výstupní parametry: výsledek vyhodnocení. (Arduino, ©2016d)

5.4 Hlavní funkce traťového modulu

Hlavní funkce traťového modulu, které jsou volány v hlavní smyčce `void loop (void)`, jsou tyto funkce: `void FreadNmea (void)`, `void FirRecieve (void)`, `void FlightBarrier (unsigned long allowTime)`. Na následujícím obrázku je zobrazena hlavní smyčka s použitými funkcemi.

```

void setup() { ... }

void loop() //Arduino loop
{
  FreadNMEA(); //function for reading and decoding GPS message
              //(NMEA protocol), output data are save into
              //global integer variable "allTime" by format hhmss,
              //parameters: none,
              //return: nothing
  FirRecieve(); //function for detection IR code of car by using
               //library <IRremote2.h> and evaluation of time
               //between recieve IR code and crossing barrier,
               //parameters: none,
               //return: nothing
  FlightBarrier(2000); //function for detection statue of barrier,
                      //parameters: allow time for cross barrier,
                      //return: nothing
}

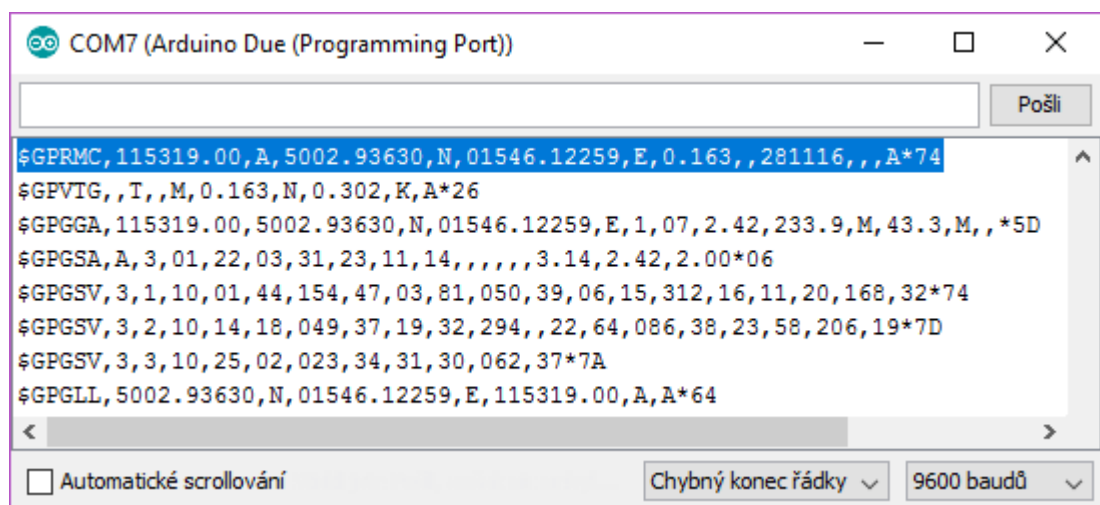
```

Obrázek 50 Hlavní funkce traťového modulu, (Autor)

void FreadNmea (void)

Funkce slouží k dekódování reálného času z přijaté NMEA zprávy po sériové lince. Jakmile jsou dostupná data v zásobníku sériové linky, jsou dekódovány. Pokud se v nich vyskytuje věta "\$GPRMC,", jsou následující data zkontrolovány, zda se jedná o znak dle tabulky ASCII a převedeny na integer *allTime*. Proměnná *allTime* má čas zakódovaný následovně hhmss, s tím, že zkratka hh jsou hodiny, mm jsou minuty a ss jsou sekundy. Zároveň s příjmem věty začínající "\$GPRMC," ukládá se časový bod doby běhu procesoru do proměnné *millisPoint*. Ta slouží k výpočtu milisekund.

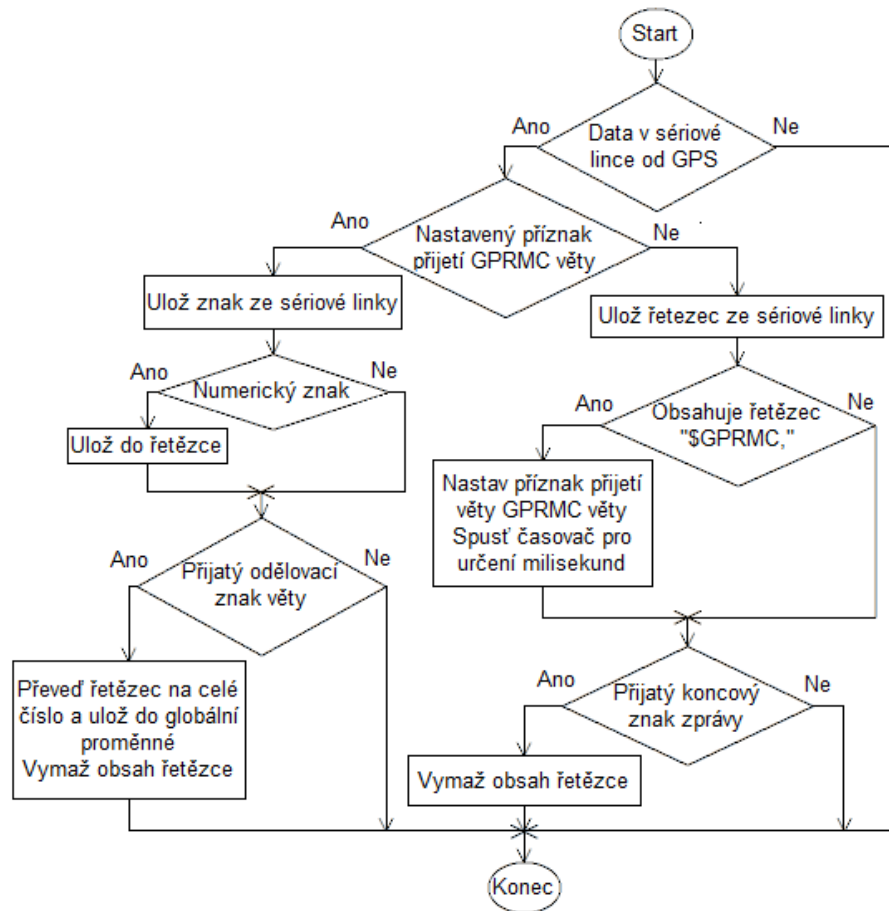
Následující obrázek ukazuje výstup ze sériové linky z GPS modulu. Dekódovaná věta "\$GPRMC," je zvýrazněna modře. Čas po dekódování je 11 hodin 53 minut a 19 vteřin.



Obrázek 51 NMEA zprávy ze sériové linky GPS modulu

- Vstupní parametry: žádné,
- Výstupní parametry: žádné.

Na následujícím obrázku je znázorněn vývojový diagram funkce `void FreadNmea` (`void`).



Obrázek 52 Vývojový diagram funkce `void FreadNmea` (`void`), (Autor)

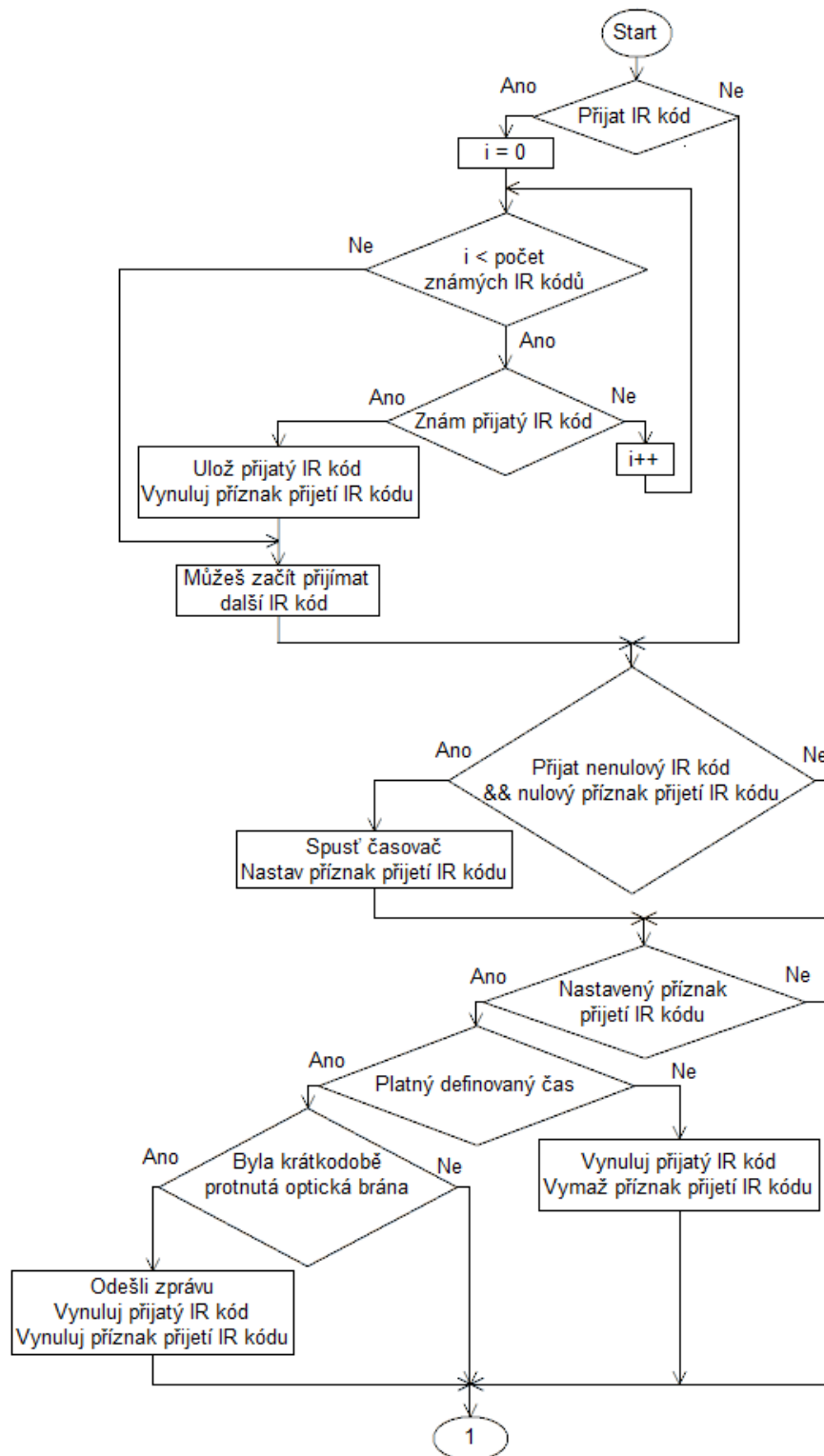
void FirRecieve (`void`)

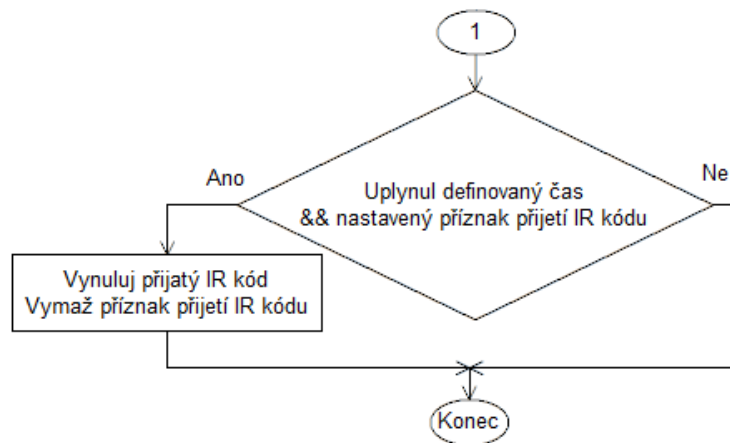
Funkce slouží k přijetí identifikačního čísla mobilního zařízení pomocí infračerveného záření (IR) a jeho následného dekódování. Pro snadnější implementování uvnitř této funkce je pro dekódování zpráv mezi přijímačem IR a Arduinem použita knihovna `<IRremote2.h>`.

Pokud přijímač IR dekóduje zprávu, předá ji funkci. Ta následně kontroluje, zda je přijatý identifikační kód vozu mezi povolenými v poli kódů mobilních zařízení. Pokud ano, uloží se kód do globální proměnné `numberOfCar`. Příznak přijatého IR kódu, jako další globální proměnná, se nastaví na hodnotu nepravdy. V posledním kroku funkce povolí příjem dalšího IR kódu.

- Vstupní parametry: žádné,
- Výstupní parametry: žádné.

Následující obrázek znázorňuje vývojový diagram funkce `void FirRecieve (void)`.





Obrázek 53 Vývojový diagram funkce *void FirRecieve (void)*, (Autor)

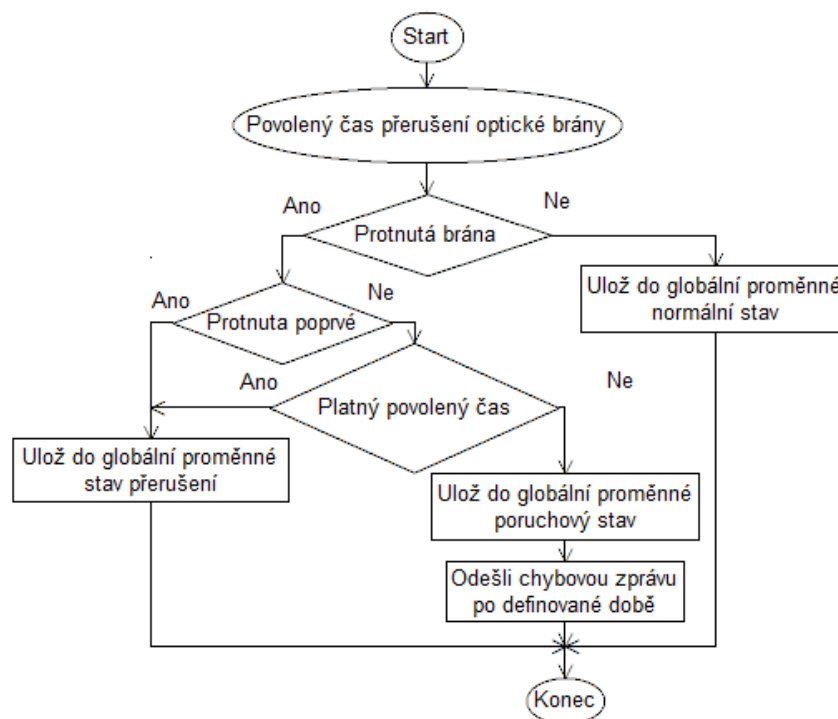
void FlightBarrier (unsigned long allowTime)

Funkce slouží k obsluze optické brány a k indikaci jejího stavu. Pokud brána není protnutá, zapisuje funkce do globální proměnné *barrierStat* stav 1. Při krátkodobém protnutí (do definované doby, např. 2000 milisekund), ukládá funkce do globální proměnné *barrierStat* stav 2. Pokud je brána rozpojena déle, než je definované doba, nastává poruchový stav, při kterém funkce ukládá do globální proměnné *barrierStat* stav 3 a zároveň vysílá chybovou zprávu pomocí funkce.

Stav optické brány je také indikován pomocí LED. Normální provozní stav je indikován zhaslou LED, krátkodobé přerušení rozsvícenou LED a dlouhodobé přerušení nebo porucha blikající LED.

- Vstupní parametry: *allowTime* - čas, po který může být brána rozpojena, aniž by byla vyvolána chybová hláška,
- Výstupní parametry: žádné.

Následující obrázek znázorňuje vývojový diagram funkce `void FlightBarrier (unsigned long allowTime)`.



Obrázek 54 Vývojový diagram funkce `void FlightBarrier (unsigned long allowTime)`, (Autor)

5.5 Hlavní funkce mobilního modulu

Hlavní funkce mobilního modulu, které jsou volány v hlavní smyčce programu `void loop (void)` jsou tyto funkce: `void FsendIRcode (unsigned long sendTime)`, `void Faccident (double circleDistance)`, `void FsendPosition (unsigned long sendTime, double distance)`, `void FsmartDelay (unsigned long ms)`. Následující obrázek ilustruje ukázkou kódu hlavní smyčky.

```

void setup() { ... }

void loop() //Arduino loop
{
  FsendIRcode(100); //function for transmit IR code (car ID number),
                    //parameters: sending time of IR code in ms,
                    //return: nothing
  Faccident(500); //function for control accelerometer, Switch_accident
                 //and LED_freedom,
                 //parameters: lenght of allow crash distance,
                 //return: nothing
  FsendPossition(5000, 200); //function for sending possition of car,
                             //parameters: diff. distance, diff. time,
                             //return: nothing
  FsmartDelay(0); //function for reading serial line and gps synchronisation,
                 //parameters: allow time for make a loop "do while",
                 //return:nothing
}

```

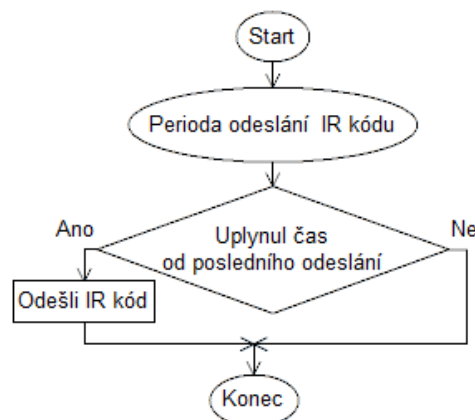
Obrázek 55 Hlavní funkce mobilního modulu, (Autor)

void FsendIRcode (unsigned long sendTime)

Funkce slouží k cyklickému odesílání identifikačního kódu vozu pomocí skupiny infračervených diod. Jakmile uplyne požadovaný čas od posledního odeslání kódu, odešle ho znovu. Kód je odeslán v šestnáctkové soustavě dvěma byty.

- Vstupní parametry: sendTime - požadovaný čas mezi odeslání identifikačního kódu,
- Výstupní parametry: žádné.

Na následujícím obrázku je zobrazen vývojový diagram funkce *void FsendIRcode (unsigned long sendTime)*.



Obrázek 56 Vývojový diagram funkce *void FsendIRcode (unsigned long sendTime)*, (Autor)

void Faccident (double circleDistance)

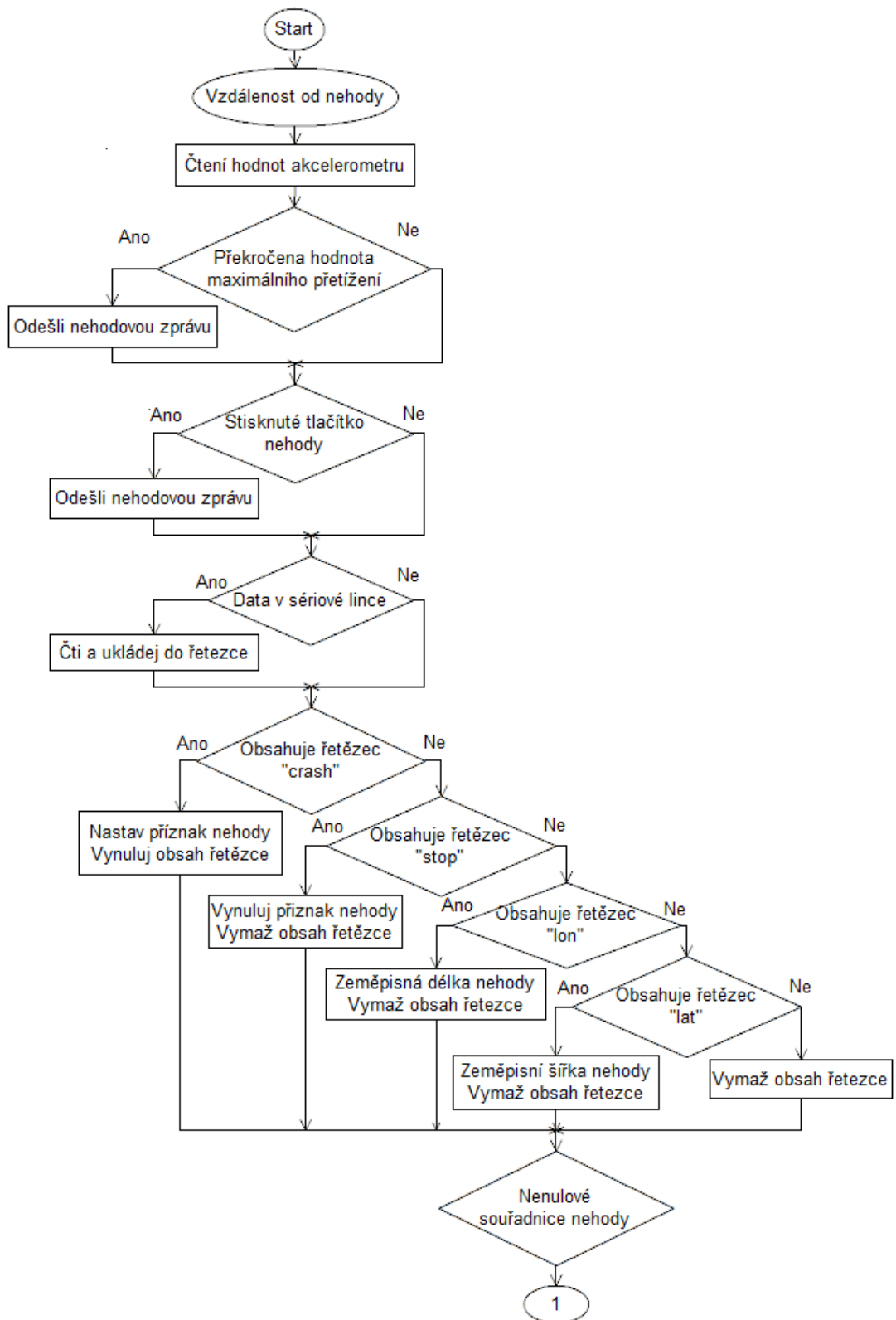
Funkce slouží ke zpracování informací o nehodách. První typ nehodové informace je ten, který vstupuje do mobilního zařízení po sériové lince a má za úkol varovat spolujezdce před překážkou na trati. Pokud po sériové lince přijde zpráva obsahující „lat“ („Lat“ či „LAT“) řetězec znaků se převede na desetinné číslo a uloží se jako globální proměnná s obsahem zeměpisné šířky nehody. Pokud po sériové lince přijde zpráva obsahující „lon“ („Lon“ či „LON“) řetězec znaků se převede na desetinné číslo a uloží do globální proměnné zeměpisnou délku nehody. Jestliže je alespoň jedna globální proměnná, ve které je uložena pozice nehody nenulová, počítá se aktuální vzdálenost od místa nehody pomocí funkce *TinyGPSPlus.distanceBetween (double lat1, double long1, double lat2, double long2)*. Jakmile se mobilní modul přiblíží na vzdálenost nižší než je definovaná (např. 500 m), rozblíká se LED signalizující překážku na trati. Pokud se vzdálenost od místa nehody opět zvýší přes definovanou mez, LED se sama vypne.

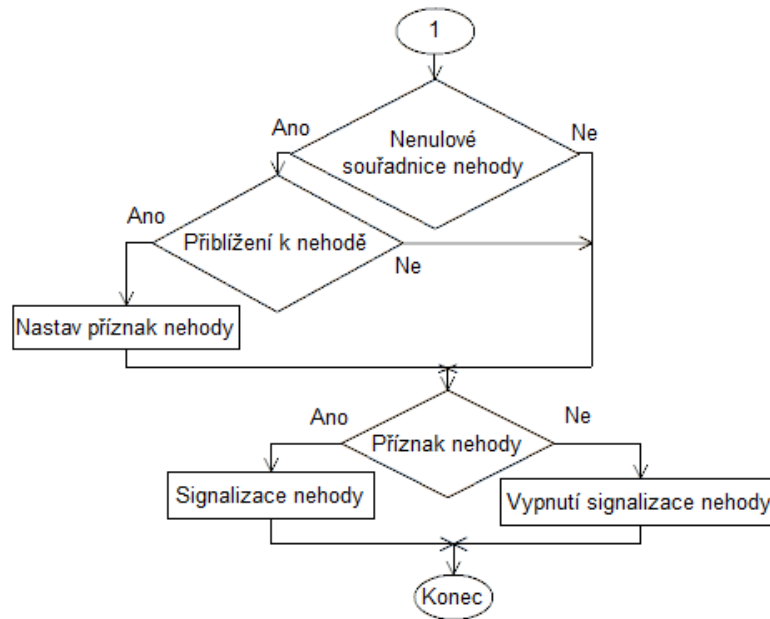
Do funkce je implementováno i rozblíkáni výstražné LED bez zadání místa polohy a to, pokud sériová linka přijme řetězec „crash“ („Crash“ či „CRASH“). Výstražnou signalizaci lze deaktivovat příkazem „stop“ („Stop“ či „STOP“).

Druhý typ nehodové informace zprávy je ten, kdy mobilní zařízení zjistí vlastní nehodový stav a pomocí funkce *void FserialPrintMessage (short messageType)* odesílá nehodovou zprávu. Nehodový stav se spouští automaticky a to při zjištěném přetížení (m/s^{-2}), které je vyšší než stanovená mez. K zjištění velikosti přetížení slouží implementovaný akcelerometr. Komunikaci s ním po sběrnici I²C, zajišťuje knihovna <Wire.h>. Samotnou obsluhu a datové výpočty zajišťuje knihovna „gyro_accel.h“. Pro jednoduchost není z výpočtu eliminováno gravitační zrychlení Země ($9,83 m/s^{-2}$). Nehodový stav je také možné spustit přímo tlačítkem, umístěným na předním panelu mobilního zařízení.

- Vstupní parametry: circleDistance - vzdálenost, kterou chceme varovat posádku, před nehodou na trati,
- Výstupní parametry: žádné.

Následující obrázek znázorňuje vývojový diagram funkce `void Faccident (double circleDistance)`.





Obrázek 57 Vývojový diagram funkce *void Faccident (double circleDistance)*, (Autor)

void FsendPossition (unsigned long sendTime, double distance)

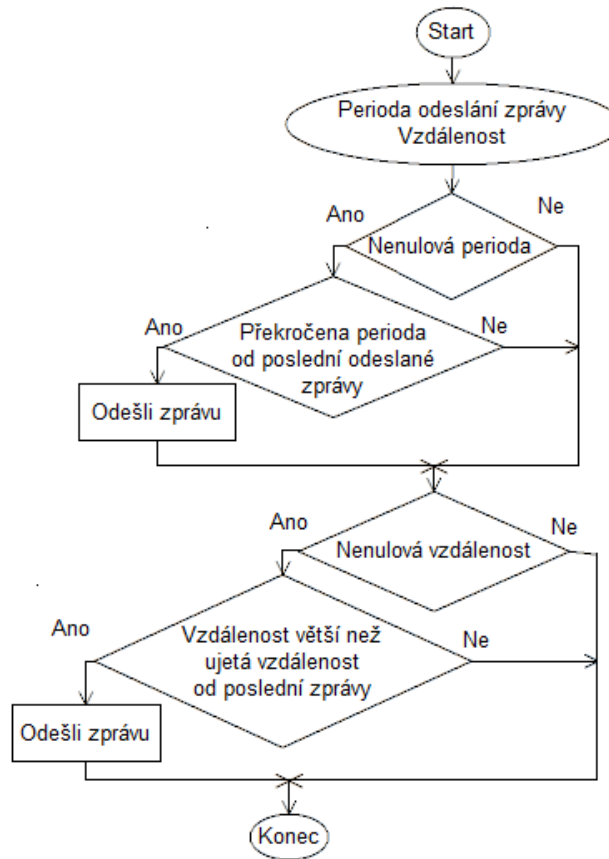
Funkce slouží k pravidelnému odesílání stavových zpráv z mobilního zařízení do sériové linky. Interval opakování může být závislý na uplynulém času nebo na ujeté vzdálenosti.

Pokud je zadán nenulový čas opakování, funkce kontroluje podle časových bodů, kdy odeslala poslední zprávu. Jakmile je časový rozdíl vyšší než zadaný, funkce zavolá funkci *void FserialPrintMessage (short messageType)* pro odeslání stavové zprávy a uloží si do globální proměnné časovou značku.

Pokud je zadaná nenulová vzdálenost, kontroluje v každém průběhu funkce zda, je vzdálenost od poslední zprávy vyšší než zadaná hodnota. K tomu slouží funkce *double TinyGPSPlus.distanceBetween (double lat1, double long1, double lat2, double long2)*. Jakmile je ujetá vzdálenost od posledního odeslání délkové zprávy větší, než požadovaná, funkce zavolá funkci *void FserialPrintMessage (short messageType)* pro odeslání stavové zprávy a uloží si do globálních proměnných zeměpisnou šířku a délku.

- Vstupní parametry: *sendTime* - čas opakování stavové zprávy, *distance* - ujetá vzdálenost pro odeslání stavové zprávy,
- Výstupní parametry: žádné.

Následující obrázek znázorňuje vývojový diagram funkce `void FsendPossition` (`unsigned long sendTime, double distance`).



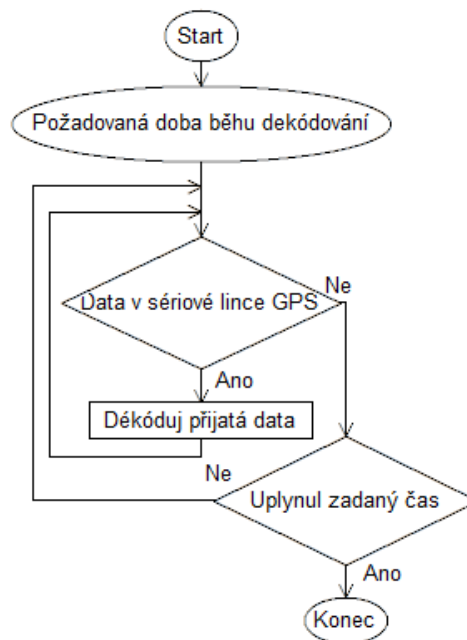
Obrázek 58 Vývojový diagram funkce `void FsendPossition` (`unsigned long sendTime, double distance`), (Autor)

void FsmartDelay (unsigned long ms)

Funkce slouží k dekódování přijatých NMEA zpráv po sériové lince. Pokud jsou dostupná data v pořadači sériové linky, jsou dekódovány funkcí `void gps.encode(c)` z knihovny `<TinyGPS++.h>`. Program opouští funkci po ukončení dekódování, pokud během dekódování překročil maximální čas vymezený na dekódování.

- Vstupní parametry: `ms` - maximální čas vymezený pro dekódování v milisekundách,
- Výstupní parametry: žádné.

Na následujícím obrázku je uveden vývojový diagram funkce `void FsmartDelay (unsigned long ms)`.



Obrázek 59 Vývojový diagram funkce `void FsmartDelay (unsigned long ms)`, (Autor)

5.6 Vedlejší funkce

V následujících podkapitolách je uvedeno několik vedlejších funkcí použitých ve výsledném programu. Tvůrcem těchto vedlejších funkcí je autor práce.

void Fblinking (int pin, unsigned long blinkingTime, int variant)

Funkce je využita například při signalizaci poruchového stavu pomocí LED nebo při přijetí neplatného GPS signálu po sériové lince, také pomocí LED. Na libovolném výstupním pinu lze nastavit trvalou hodnotu vysoké úrovně, trvalou hodnotu nízké úrovně nebo střídavý výstup nízké úrovně s vysokou s konstantní střídou a variabilní dobou půlperiody v milisekundách.

- Vstupní parametry: pin - číslo pinu, blinkingTime - doba trvání půlperiody, variant - identifikace v poli,
- Výstupní parametry: žádné.

Číslo nebo jméno pinu určuje, kam se bude zapisovat požadovaný výstup. Doba trvání půlperiody určuje čas v milisekundách, za který funkce změní stav na požadovaném výstupním pinu. Pokud je tato hodnota nulová, nastaví se na požadovaný pin trvale nízká úroveň. Pokud je doba trvání půlperiody jedna, nastaví funkce na výstup požadovaného pinu trvale vysokou úroveň. Varianta slouží k určení správné hodnoty v poli potřebných globálních proměnných (bool a unsigned int) a její přiřazení na výstupní pin.

void FserialPrintMessage (short messageType)

Funkce slouží k výpisu požadované zprávy do sériové linky. V prvním kroku funkce přepočítá aktuální reálný čas do milisekund a následně ho vytiskne do sériové linky spolu s dalšími potřebnými daty v definovaném formátu do sériové linky.

Další potřebná data jsou např. provozní stav zařízení, poloha, rychlost mobilního modulu či identifikační číslo projetého vozu pro traťový modul.

Typy zpráv jsou následující: 1 – normální stav, 2 – poruchový nebo nehodový stav, 3 – počáteční inicializace. Dle typu zprávy příkaz Switch Case selektuje data k vytištění do sériové linky.

- Vstupní parametry: messageType - typ zprávy,
- Výstupní parametry: žádné.

void FstartDelay (unsigned long syncTime)

Funkce slouží k získání přesného času, dle GPS signálu. Pokud jsou dostupná data v sériové lince, funkce je dekóduje. Pokud jsou dekódovaná data platná, je tedy přijatý reálný čas a funkce opouští program. Dekódování provádí funkce z knihovny <tinyGPS++.h>.

Pokud po sériové lince nepřichází data, nebo pokud jsou neplatná, funkce každou sekundu tiskne zprávu do sériové linky, že neproběhla časová synchronizace.

- Vstupní parametry: žádné,
- Výstupní parametry: žádné.

short FtimeMillisec (void)

Funkce slouží k výpočtu milisekund reálného času. Funkce dopočítává rozdíl mezi reálnou dobou běhu mikroprocesoru a časovou značkou *millisPoint* s časem přijetí zprávy dle NMEA protokolu po sériové lince z GPS modulu. Čas přijetí zprávy je ukládán do globální proměnné ve funkci *void FreadNmea (void)*. NMEA zprávy přichází vždy po jedné sekundě s přesností minimálně jedné setiny sekundy.

Pokud je rozdíl doby běhu mikroprocesoru od časové značky poslední přijaté NMEA zprávy vyšší než 999 milisekund, funkce automaticky odstraní čtvrtý a vyšší řád. Vrací tedy pouze hodnoty v rozsahu 0 - 999. Funkce je využita pro přesné měření času u mobilního modulu, neboť GPS signál neposílá dostatek zpráv pro přesná měření.

- Vstupní parametry: žádné,
- Výstupní parametry: milisekundy reálného času.

short FtimeSec (void)

Úkolem funkce je vracet sekundy reálného času. To je provedeno selekcí hodnot z globální proměnné *allTime*, do které zapisuje funkce *void FreadNmea (void)*. Proměnná *allTime* má čas zakódovaný následovně hhmmss, s tím, že hh značí počet hodin, mm značí počet minut, ss značí počet sekundy.

Vypočet je prováděn pomocí celočíselných proměnných. Princip dekodování je následující. Nejprve funkce vytvoří lokální proměnnou a do ní uloží globální proměnnou *allTime* vydělenou hodnotou 100. Globální proměnná *allTime* tedy ponížila o dva řády (ztratila sekundy) a je uložena v lokální proměnné.

Ve druhém kroku se od globální proměnné *allTime* odečte lokální proměnná z předchozího kroku vynásobená hodnotou 100 (opět nabyla řád sekund, avšak s nulovými hodnotami). Výsledkem tohoto rozdílu jsou sekundy reálného času, které funkce vrací.

- Vstupní parametry: žádné,
- Výstupní parametry: sekundy reálného času.

short FtimeMin (void)

Úkolem funkce je vracet minuty reálného času. To je provedeno selekcí hodnot z globální proměnné *allTime*, do které zapisuje funkce *void FreadNmea (void)*. Proměnná *allTime* má čas zakódovaný následovně hhmmss, s tím, že hh značí počet hodin, mm značí počet minut, ss značí počet sekundy.

Vypočet je prováděn pomocí celočíselných proměnných. Princip dekodování je následující. Nejprve funkce vytvoří lokální proměnnou a do ní uloží globální proměnnou *allTime* vydělenou hodnotou 10 000. Globální proměnná *allTime* tedy ponížila o čtyři řády (ztratila minuty a sekundy) a je uložena v lokální proměnné.

Ve druhém kroku se nejprve globální proměnná *allTime* vydělí hodnotou 100, čili posun o dva řády (ztráta sekund). Následně se od mezivýsledku odečte lokální proměnná z prvního kroku, vynásobená 100 (obsahuje tedy hodiny a vynulované minuty). Výsledkem tedy jsou reálné minuty, které funkce vrací.

- Vstupní parametry: žádné,
- Výstupní parametry: minuty reálného času.

short FtimeHour (void)

Úkolem funkce je vracet hodiny reálného času. To je provedeno selekcí hodnot z globální proměnné (*allTime*), do které zapisuje funkce *void FreadNmea (void)*. Proměnná *allTime* má čas zakódovaný následovně hhmmss, s tím, že hh značí počet hodin, mm značí počet minut, ss značí počet sekundy.

Reálné hodiny jsou získávány tak, že globální proměnná *allTime* je celočíselně vydělena 10 000. Ponižila tedy o 4 řády na hodnotu hodin.

- Vstupní parametry: žádné,
- Výstupní parametry: hodiny reálného času.

5.7 Knihovny

Pro zjednodušení jsou v programu využity některé volně dostupné knihovny pro zařízení Arduino. Knihovny umožňují použití některých již vytvořených funkcí, např. pro obsluhu periférií. Nejčastěji využívané funkce knihoven jsou vypsány v následující kapitole.

Seznam knihoven, které jsou využity v traťového modulu:

- Knihovna *<IRremote2.h>* slouží pro obsluhu přijímače kódu infračerveného záření.
- Knihovna *<TinyGPS++.h>* slouží pro dekódování NMEA zpráv z přijímače signálu GPS.

Seznam knihoven, které jsou využity v mobilním modulu:

- Knihovna *<IRremote2.h>* slouží pro obsluhu vysílače kódu infračerveného záření.
- Knihovna *<TinyGPS++.h>* slouží pro dekódování NMEA zpráv z přijímače signálu GPS.
- Knihovna *<Wire.h>* slouží výměnu dat po sběrnici I²C s akcelerometrem.
- Knihovna *“gyro_accel.h“* slouží pro zpracování zpráv z akcelerometru, přijatých po sběrnici I²C.

6 PRAKTICKÉ OVĚŘENÍ NAVRŽENÉHO SYSTÉMU

Tato kapitola se věnuje výsledkům z provedených testů na vyrobených prototypch. Dále jsou zde zmíněny možnosti vylepšení stávajícího prototypu.

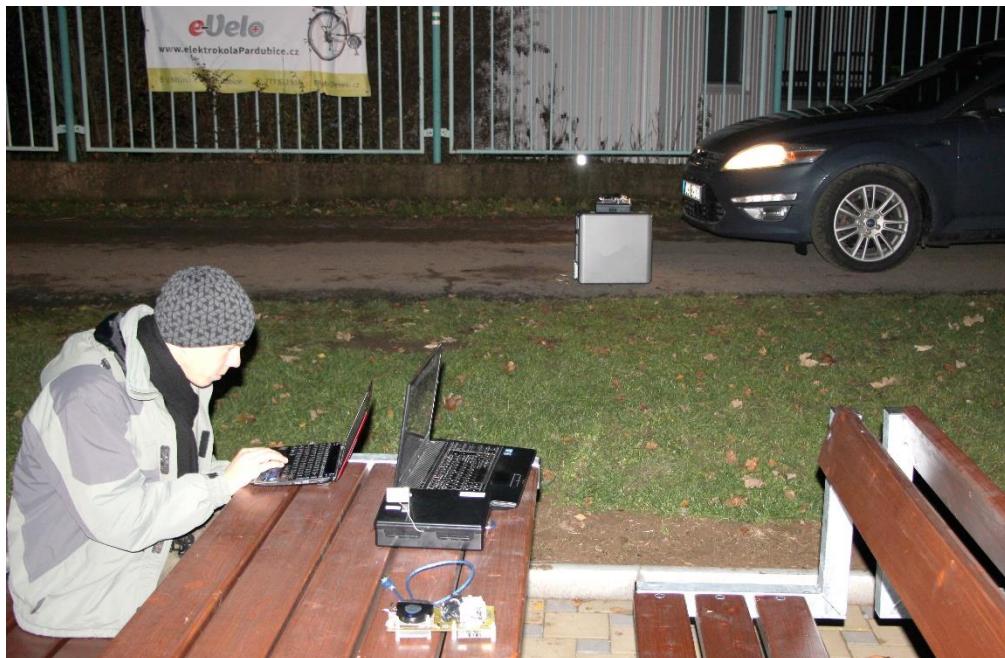
6.1 Poznatky z reálného testování

Reálné testování ve venkovních podmínkách ověřilo funkčnost systému. Perioda vysílání IR signálu z mobilního modulu byla nastavena na 200 milisekund. Tato doba postačila traťovému modulu pro identifikaci závodního vozu i při rychlostech vyšších než 80 km/h.

Mobilní modul odesílal zprávy obsahující aktuální polohu i rychlost do sériové linky USB v pravidelných intervalech, pokud bylo odesílání řízeno časem (á 5 sekund). Ve druhém testu bylo odesílání zpráv z mobilního modulu do sériové linky USB řízeno ujetou vzdáleností. Interval ujetí 50 metrů se jevil, jako postačující. Během jednoho ujetého kilometru odeslal mobilní modul 22 zpráv. Tato drobná odchylka byla způsobena nepřesností systému GPS.

Oba traťové moduly dokázaly identifikovat pomocí IR přijímače vůz již několik metrů před průjezdem optické brány. Testování probíhalo s vozy Ford Mondeo a Škoda 120 LS.

Následující obrázek zobrazuje testování traťového modulu.



Obrázek 60 Testování – traťový modul

Umístění mobilního modulu v rámci testování je zobrazeno na následujícím obrázku.



Obrázek 61 Testování – mobilní modul

6.1.1 Signál GPS

Časová synchronizace vyžaduje vždy přesný reálný čas, proto zařízení po zapnutí čeká, dokud není přijat validní signál GPS. Tato doba se velice liší. Záleží zejména na intenzitě přijímaného signálu, typu GPS modulu a stavu jeho záložní baterie. Intenzita se odvíjí zejména od velikosti úhlu přímé viditelnosti na oblohu.

GPS přijímač mobilního modulu potřebuje přibližně 1 minutu na připojení. Při stejných podmínkách trvalo traťovému modulu 01 připojení také přibližně 1 minutu. Traťový modul 02 dokázal zajistit validní signál až po 15 minutách.

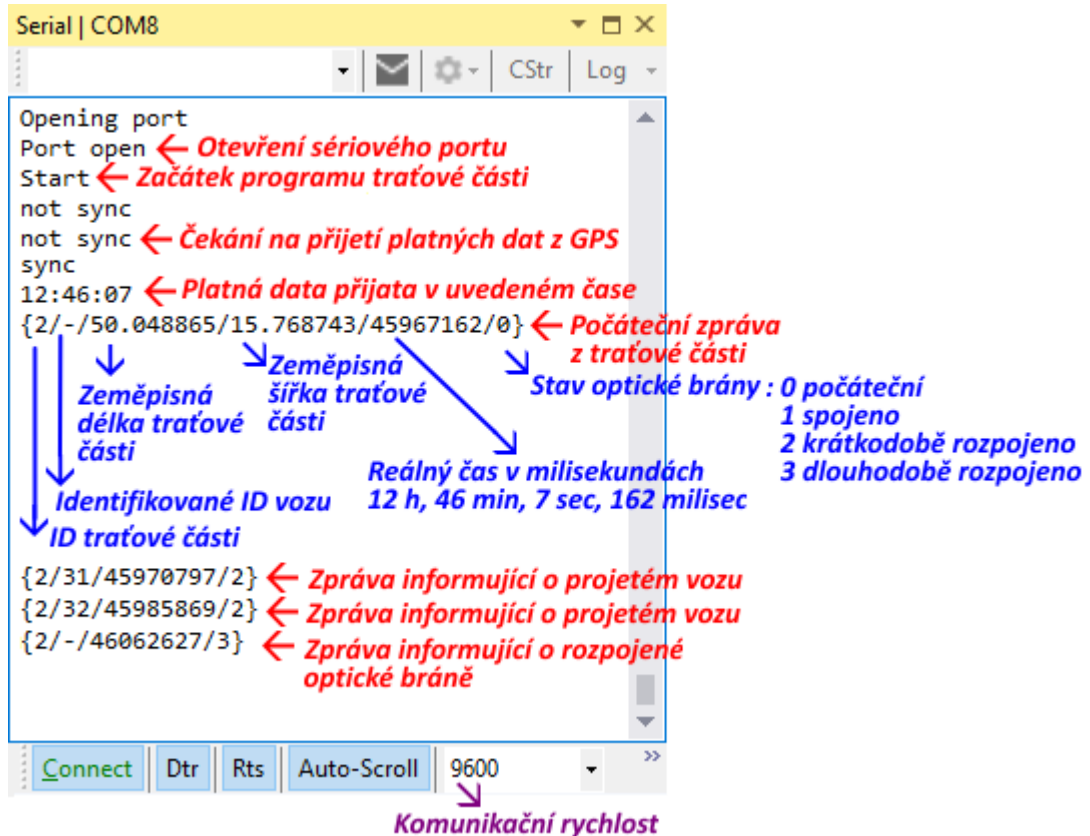
6.1.2 Dosah IR signálu

Vzdálenost, na kterou dokáže přijímací zařízení dekodovat infračervený signál, je ovlivněna zejména vysílacím a přijímacím úhlem, velikostí vysílaného výkonu, či zda leží v přímé cestě mezi vysílačem a přijímačem překážky.

Vzdálenost, kdy ještě traťový modul 01 (který disponuje IR přijímačem TSOP1333) dokázal identifikovat IR signál z mobilního modulu, byla 6,9 m. Traťový modul 02 s přijímačem TSOP4836 dokázal dekodovat zprávy na vzdálenost 6,7 m. Nelze však usuzovat, že zařízení TSOP1333 je lepší. Oba testy probíhaly na volném prostranství ve výšce 0,5 m nad zemí.

6.1.3 Výstupní zpráva

Ukázkové zprávy ze sériové linky zobrazují následující obrázky. Červenou barvou je vyznačeno, o jako zprávu se jedná, modře je detailně vyznačen její obsah a fialová barva značí nastavení programu (Microsoft Visual Studio s doplňkem Visual Micro).



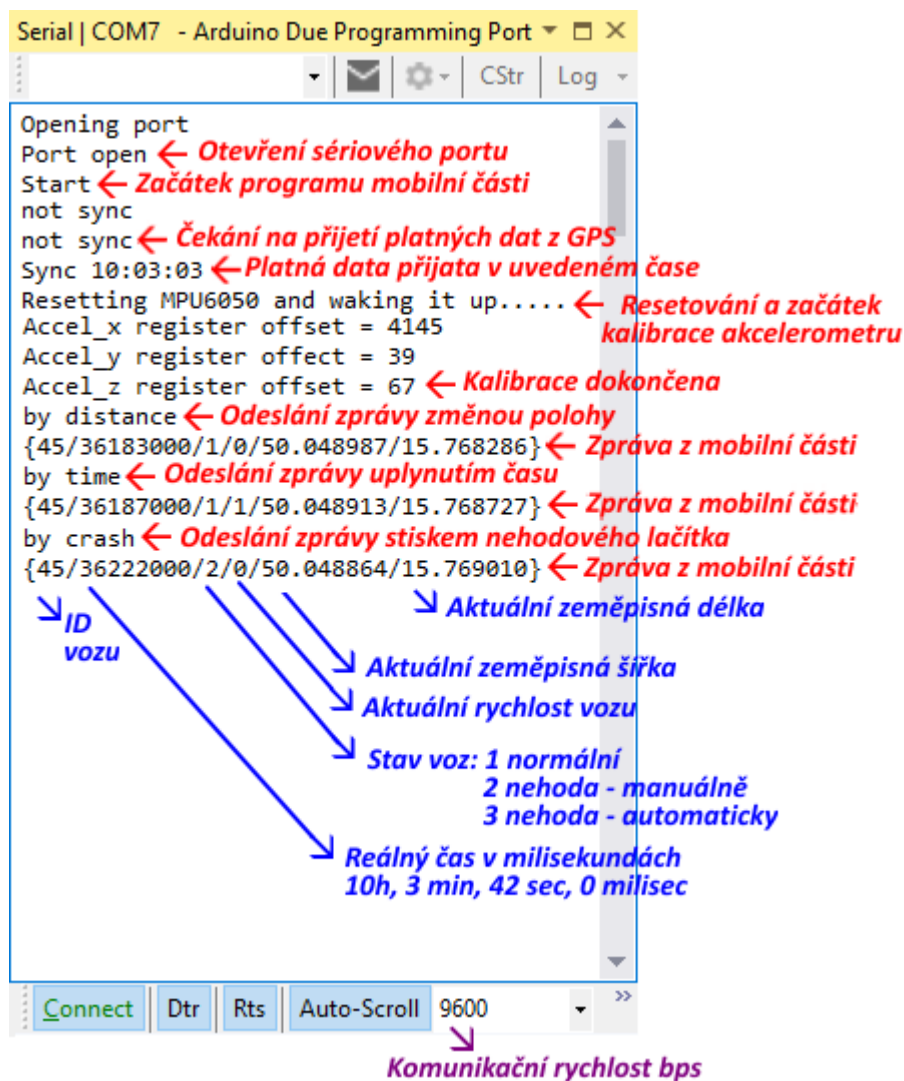
Obrázek 62 Komentovaná zpráva traťového modulu, (autor)

Traťový modul, po přijetí platných dat z GPS, vysílá 3 druhy zpráv (počáteční zpráva, zpráva informující o projetém vozu, zpráva informující o rozpojené optické bráně). Pokud není uvedeno jinak, zpráva obsahuje tyto data: identifikační číslo traťového modulu, identifikované číslo mobilního modulu (projíždějícího závodního vozu) a stav optické brány.

Počáteční zpráva je odeslána pouze jednou za dobu běhu zařízení, obsahuje navíc informace o poloze traťového modulu a neobsahuje identifikované číslo mobilního modulu.

Zpráva informující o projetém vozu je odeslána v případě, že je rozpoznán infračervený identifikační kód projíždějícího vozu a do definované doby je přerušena optická brána, což je bráno, jako průjezd vozu.

Zpráva informující o rozpojené optické bráně je odeslána v případě, že dojde k rozpojení optické brány na dobu delší než definovanou (např. 5 sec). Zpráva neobsahuje informaci o identifikovaném mobilním modulu.



Obrázek 63 Komentovaná zpráva mobilního modulu, (autor)

Mobilní modul, po přijetí platných dat z GPS a kalibraci akcelerometru, vysílá pouze jeden druhý zprávy. Zpráva obsahuje identifikační číslo mobilního modulu (závodního vozu), reálný čas v milisekundách, stav vozu, rychlost vozu a aktuální polohu vozu. Zpráva se odesílá při uplynutí definovaného času (např. 20 sec) nebo při definované ujeté vzdálenosti (např. 200 m) nebo při nehodovém stavu. Nehodový stav může nastat manuálně – stiskem tlačítka nebo automaticky – překročením definovaného gravitačního zrychlení (např. 30 m/s²) v jedné ze tří os.

6.1.4 Výdrž akumulátoru

Nabíjecí akumulátory vydrží přibližně na více než 200 minut provozu v případě traťového modulu s vypnutým GSM modulem. V případě mobilního modulu je výdrž vyšší. Zařízení pracuje téměř 400 minut s vypnutým GSM modulem.

Pokud je však zapnutý GSM modul, výdrž akumulátoru rapidně klesá a to v případě traťového modulu přibližně na 20 minut provozu a v případě mobilního modulu na přibližně 30 minut.

6.2 Možnosti dalšího vylepšení

Protože zařízení vyvíjím i během tvorby prototypů, nestihl jsem zapracovat některé změny, které by zařízení ještě vylepšily. Mezi ně patří například použití elektronických vratných pojistek na místo klasických trubičkovým. Výhodou by bylo snížení ceny a zmenšení rozměrů (také zde již nebude muset být rezervní pojistka). Dalším vylepšením může být použití SMD (Surface Mount Device) součástek. Ke snížení rozměrů a ceny by přispělo použití integrovaných obvodů přímo na základní desce, např. IO GSM modulu SIM900 nebo řídicí procesor Arduina DUE SAM3X8E ARM Cortex-M3. Toto vylepšení avšak naráží na fakt, že není snadné zakoupit integrovaný obvod (SAM3X8E ARM Cortex-M3), tato součástka je dostupná pouze, jako součást základní desky Arduina DUE (jehož originál již také nelze zakoupit). Nelze ji tedy zakoupit samostatně. Jako východisko se jeví použití jiného mikrokontroléru.

Následující tabulka zobrazuje základní desky společnosti Arduino, jejich procesor a základní vlastnosti.

Tabulka 11 Porovnání vybraných základních desek Arduino

Arduino	DUE	ZERO	Mega 2560
Procesor	SAM3X8E ARM Cortex-M3 CPU	ATSAMD21G18	ATmega2560
Architektura (bit)	32	32	8
Počet digitálních pinů (-)	54	20	54
Počet hardwarových sériových linek (-)	4	2	4
Pracovní kmitočet (MHz)	84	48	16
Flash paměť (kB)	512	256	256
SRAM (kB)	96	32	8
Napětí (V)	3,3	3,3	5

Zdroj: Arduino © 2016b, Arduino, © 2016f, Arduino, © 2016g, upraveno autorem

ZÁVĚR

Cílem této práce bylo vyhotovit prototyp zařízení včetně obslužného firmware, které přispěje k zabezpečení závodu amatérské rallye. Zařízení se skládá ze dvou hlavních komponent a to mobilního modulu a traťového modulu. Oba moduly komunikují s uživatelem pomocí sériové linky USB. Navrhované zařízení musí být co nejvíce autonomní, tedy plně automatizované s minimem tlačítek. Signalizační kontrolky jsou přehledně popsány.

Mobilní modul je umístěn v závodním voze, odesílá zprávy o svém stavu, měří gravitační přetížení, ze kterého vyhodnocuje, zda nedošlo k nehodě. Nehodovou zprávu lze odeslat i stisknutím mechanického tlačítka. Dále modul pravidelně odesílá svou aktuální polohu a rychlost. Tyto informace získává z implementovaného GSP modulu. Pokud mobilní modul přijme informaci o nehodě jiného vozu, rozbliká varovnou LED před přiblížením k místu nehody. Aby traťový modul mohl identifikovat projíždějící vůz, vysílá mobilní modul jedinečný infračervený kód.

Traťový modul je pevně umístěn na závodní trati. Jeho úkolem je identifikovat projíždějící závodní vůz a změřit přesný čas, kdy automobil protnul optickou bránu. Změřený přesný čas je v pravidelných intervalech synchronizován pomocí GPS a následně odeslán do sériové linky USB.

Pro účely testování jsem vyrobil dva prototypy traťových modulů a jeden prototyp mobilního modulu. Závěrečným testováním byla prokázána funkčnost všech vytvořených modulů.

POUŽITÁ LITERATURA

ALFANO. ©2016a. *A1020 PRO III EVO*. [online]. Alfano. [cit. 2016-06-06]. Dostupné z: <https://www.alfanosystem.com/ProductDetails.asp?ProductCode=A1020>.

ALFANO. ©2016b. *ALFANO PRO 3 EVO GPS4 MODULE*. [online]. Alfano. [cit. 2016-06-06]. Dostupné z: <http://www.alfano.com.au/product/alfano-pro-3-evo-gps4-module/>.

ALLDATASHEET.COM. © 2003 – 2016. *ATMEL DATASHEET Datasheet, PDF – All*. [online]. Alldatasheet.com. [cit. 2016-11-14]. Dostupné z: <http://category.alldatasheet.com/index.jsp?sSearchword=Atmel%20datasheet&gclid=CLbDiuCjstACFVG6GwodZDoI4Q>

APRS. 2016. *Automatic Packet Reporting System*. [online]. APRS. [cit. 2016-09-25]. Dostupné z: <http://www.aprs.org/>.

ARDUINO. ©2016a. *Double*. [online]. Arduino. [cit. 2016-11-02]. Dostupné z: <https://www.arduino.cc/en/Reference/Double>.

ARDUINO. ©2016b. *Arduino Due - Technical specs*. [online]. Arduino. [cit. 2016-11-02]. Dostupné z: <https://www.arduino.cc/en/Main/ArduinoBoardDue>.

ARDUINO. ©2016c. *Language references*. [online]. Arduino. [cit. 2016-09-12]. Dostupné z: <https://www.arduino.cc/en/Reference/HomePage>.

ARDUINO. ©2016d. *String startsWith and endsWith Functions*. [online]. Arduino. [cit. 2016-09-12]. Dostupné z: <https://www.arduino.cc/en/Tutorial/StringStartsWithEndsWith>.

ARDUINO. ©2016e. *Product Arduino*. [online]. Arduino. [cit. 2016-10-15]. Dostupné z: <https://www.arduino.cc/en/Main/Products>.

ARDUINO. ©2016f. *Arduino ZERO*. [online]. Arduino. [cit. 2016-11-19]. Dostupné z: <https://www.arduino.cc/en/Main/ArduinoBoardZero>.

ARDUINO. ©2016g. *Arduino MEGA 2560*. [online]. Arduino. [cit. 2016-11-19]. Dostupné z: <https://www.arduino.cc/en/Main/ArduinoBoardMega2560>.

BOSCH MOTORSPORT. ©2016a. *Data Logger C 60*. [online]. BOSCH s. r. o.. [cit. 2016-10-23]. Dostupné z: http://www.bosch-motorsport.de/media/catalog_resources/Data_Logger_C_60_Datasheet_51_en_2784022155pdf.pdf.

BOSCH MOTORSPORT. ©2016b. *Telemetry Unit FM 40*. [online]. BOSCH s. r. o.. [cit. 2016-10-23]. Dostupné z: http://www.bosch-motorsport.de/media/catalog_resources/Telemetry_Unit_FM_40_Datasheet_51_en_2784117515pdf.pdf.

BOSCH MOTORSPORT. ©2016c. *PIT Receiver box*. [online]. BOSCH s. r. o.. [cit. 2016-10-23]. Dostupné z: http://www.bosch-motorsport.de/media/catalog_resources/Pit_Receiver_Box_Datasheet_51_en_9810584715pdf.pdf.

BOSCH MOTORSPORT. ©2016d. *Lap Trigger IR-02 Transmitter*. [online]. BOSCH s. r. o.. [cit. 2016-10-23]. Dostupné z: http://www.bosch-motorsport.de/media/catalog_resources/Lap_Trigger_IR-02_Transmitter_Datasheet_51_en_2784900491pdf.pdf.

BOSCH MOTORSPORT. ©2016e. *Lap Trigger IR-02 Receiver*. [online]. BOSCH s. r. o.. [cit. 2016-10-23]. Dostupné z: http://www.bosch-motorsport.de/media/catalog_resources/Lap_Trigger_IR-02_Receiver_Datasheet_51_en_2784791435pdf.pdf.

ČMPR. 2016. *Technické požadavky pro sportovní vozidla Českomoravského poháru rallye na rok 2016*. [online]. ČMPR. [cit. 2016-11-10]. Dostupné z: <http://www.cmpr.cz/dokumenty/technicke-pozadavky-2016.pdf>.

EBAY. © 1995 – 2016a. *Details about SIMCOM SIM900 Quad-band GSM GPRS Shield Development Board + Antenna for Arduino*. [online]. eBay. [cit. 2016-10-15]. Dostupné z: <http://www.ebay.com/itm/SIMCOM-SIM900-Quad-band-GSM-GPRS-Shield-Development-Board-Antenna-for-Arduino>.

EBAY. © 1995 – 2016b. *Arduino GPS modul*. [online]. eBay. [cit. 2016-10-15]. Dostupné z: http://www.ebay.com/sch/i.html?_from=R40&_trksid=p2050601.m570.11313.TR0.TRC0.H0.Xarduino+gps+modul.TRS0&_nkw=arduino+gps+modul&_sacat=0.

EBAY. © 1995 – 2016c. *GPS U-blox NEO-6M Module Aircraft Flight Controller For Arduino MWC IMU APM2*. [online]. eBay. [cit. 2016-10-15]. Dostupné z: <http://www.ebay.com/itm/GPS-U-blox-NEO-6M-Module-Aircraft-Flight-Controller-For-Arduino-MWC-IMU-APM2-/161103685445?hash=item2582872745%3Ag%3AOuMAAOSwRQIXdie2>.

EBAY. © 1995 – 2016d. *Details about MPU-6050 6DOF 3 Axis Gyroscope+Accelerometer Module for Arduino DIY DE*. [online]. eBay. [cit. 2016-10-15]. Dostupné z: <http://www.ebay.com/itm/MPU-6050-6DOF-3-Axis-Gyroscope-Accelerometer-Module-for-Arduino-DIY-DE-/171907295226?hash=item28067927fa%3Ag%3A~BwAAOSw0e9UsJEK>.

EBAY. © 1995 – 2016e. *Mini 3A DC-DC Converter Adjustable Step down Power Supply Module replace LM2596*. [online]. eBay. [cit. 2016-10-15]. Dostupné z: <http://www.ebay.com/itm/Mini-3A-DC-DC-Converter-Adjustable-Step-down-Power-Supply-Module-replace-LM2596-/291688413257?hash=item43e9fbf849%3Ag%3Ay8wAAOSwezVWxobW>.

GM ELECTRONIC. © 1990 – 2016. *TSOP4836*. [online]. GM Electronic. [cit. 2016-10-12]. Dostupné z: <https://www.gme.cz/tsop4836>.

ITU. ©2011. *About mobile technology and IMT-2000: Introduction – Evolution of the mobile market*. ITU. [online]. [cit. 2016-11-08]. Dostupné z: <https://www.itu.int/osg/spu/imt-2000/technology.html>

MAGNETI MARELLI S. P. A.. ©2016a. *DDU 210*. [online]. Magneti Marelli S. p. A.. [cit. 2016-06-06]. Dostupné z: http://www.magnetimarelli.com.cn/business_areas/motorsport/data-acquisition,-display-&-lap-trigger/data-display#tab--3.

MAGNETI MARELLI S. P. A.. ©2016b. *Optical Lap Trigger Reciever & Transmitter*. [online]. Magneti Marelli S. p. A.. [cit. 2016-06-06]. Dostupné z: http://www.magnetimarelli.com/business_areas/motorsport/data-acquisition,-display-&-lap-trigger/lap-trigger#tab--3.

MOTEC EUROPE LTD. ©2016a. *ADR*. [online]. MoTec Europe Ltd. [cit. 2016-07-06]. Dostupné z: <http://www.motec.com/adr/adroverview/>.

MOTEC EUROPE LTD. ©2016b. *BR2 Receiver*. [online]. MoTec Europe Ltd. [cit. 2016-07-06]. Dostupné z: <http://www.motec.com/br2/br2overview/>.

MOTEC EUROPE LTD. ©2016c. *BTX Transmitter*. [online]. MoTec Europe Ltd. [cit. 2016-07-06]. Dostupné z: <http://www.motec.com/ac-lt-btx/lt-btx-ov/>.

MOTEC EUROPE LTD. ©2016d. *C 185*. [online]. MoTec Europe Ltd. [cit. 2016-07-06]. Dostupné z: <http://www.motec.com/c185/c185overview/>.

MOTORSPORT SYSTEM ©2016. *Online telemetry system overview*. [online]. BOSCH s. r. o.. [cit. 2016-10-23]. Dostupné z: <http://www.motorsport-systems.co.uk/products/electronics/telemetry/>.

NATIONAL MARINE ELECTRONICS ASSOCIATION. © 2008 – 2016. [online]. National Marine Electronics Association. [cit. 2016-08-02]. Dostupné z: http://www.nmea.org/content/about_the_nmea/missionvisval.asp.

O2 a. s.. ©2016. *Mobilní internet. O2 a. s.* [online]. O2 a. s.. [cit. 2016-11-08]. Dostupné z: <http://www.o2.cz/osobni/internet-na-cesty/>.

ONI SYSTEM. 2016. *Idea ONI system*. [online]. ONI System. [cit. 2016-08-12]. Dostupné z: <https://www.onisystem.cz/idea-oni-system/>.

OXY ONLINE S. R. O.. ©2015. *Co to je GPS? Historie a úvod do problematiky*. [online]. OXY Online s. r. o.. [cit. 2016-05-16]. ISSN 1214-2190. Dostupné z: <http://www.svetmobilne.cz/co-to-je-gps-historie-a-uvod-do-problematiky/244>.

PRESPO. 2016. *Alfano Modul GPS1 i for PRO III EVO*. [online]. Prespo. [cit. 2016-06-06]. Dostupné z: <http://www.prespo.de/shopen/accessories/alfano-modul-gps1-i-for-pro-iii-evo-2015.html>.

ROOT. © 1998 – 2016. *Externí sériové sběrnice SPI a I²C*. [online]. ROOT. [cit. 2016-09-23]. Dostupné z: <https://www.root.cz/clanky/externi-seriove-sbernice-spi-a-i2c/#k01>.

SICK. © 2016a. *W 100 Laser*. [online]. Sick, s. r. o.. [cit. 2016-09-12]. Dostupné z: <https://www.sick.com/cz/cs/optoelektronicke-snimace/optoelektronicke-snimace/w100-laser/w1100l-f2131/p/p221851>.

SICK. ©2016b. *Optoelektrické snímače*. [online]. Sick, s. r. o.. [cit. 2016-08-21]. Dostupné z: <https://www.sick.com/cz/cs/product-portfolio/photoelectric-sensors/fiber-optic-sensors-and-fibers/wl1170-2/c/g200081>.

TECH TARGET. © 2003 – 2016. *GSM (Global System for Mobile communication)*. [online]. Tech Target. [cit. 2016-11-14]. Dostupné z: <http://searchmobilecomputing.techtarget.com/definition/GSM>.

T-MOBILE. ©2016. *Zákaznická podpora. Mapa pokrytí. T-Mobile a. s.* [online]. T-Mobile a. s.. [cit. 2016-11-08]. Dostupné z: <https://www.t-mobile.cz/podpora/mapa>.

TUTORIALS POINT. © 2016. *C library function - isdigit(void)*. [online]. Tutorials point. [cit. 2016-08-12]. Dostupné z: https://www.tutorialspoint.com/c_standard_library/c_function_isdigit.htm.

UNIVERSAL SERIAL BUS. 2016. *USB*. [online]. USB. [cit. 2016-06-12]. Dostupné z: http://www.usb.org/press/USB-IF_Press_Releases/SuperSpeedUSB_10Gbps_Available_20130731.pdf.

VODAFONE. ©2016. *O Vodafonu. Mapa pokrytí*. [online]. Vodafone a. s.. [cit. 2016-11-08]. Dostupné z: <http://www.vodafone.cz/mapa-pokryti/>.

VÝVOJ.HW. ©1997 – 2014. *HW server představuje - Sériová linka RS-232*. [online]. Vývoj.hw. [cit. 2016-07-20]. Dostupné z: <http://vyvoj.hw.cz/rozhrani/hw-server-predstavuje-seriova-linka-rs-232.html>.

SEZNAM TABULEK

Tabulka 1 Porovnání simplexní komunikace.....	28
Tabulka 2 Traťová zpráva.....	34
Tabulka 3 Mobilní zpráva.....	35
Tabulka 4 Velikost dat přenesených během dvou stejných etap, při odesílání zpráv z mobilního modulu řízených časem	37
Tabulka 5 Velikost dat přenesených během dvou stejných etap, při odesílání zpráv z mobilního modulu, řízených ujetou vzdáleností	38
Tabulka 6 Cena traťového modulu	63
Tabulka 7 Cena mobilního modulu	64
Tabulka 8 Datové typy využívané Arduinem	65
Tabulka 9 Připojené komponenty k traťovému modulu	66
Tabulka 10 Připojené periferie k mobilnímu modulu.....	66
Tabulka 11 Porovnání vybraných základních desek Arduino	89

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 1 Záznamové zařízení Rallye Hořovice	12
Obrázek 2 A1020 PRO III EVO	17
Obrázek 3 Modul GPS1	17
Obrázek 4 Modul GPS4	18
Obrázek 5 DDU 210	19
Obrázek 6 Optical Lap Trigger Reciever.....	19
Obrázek 7 Optical Lap Trigger Transmitter	19
Obrázek 8 Online Telemetry Systém.....	20
Obrázek 9 Data Logger C 60	21
Obrázek 10 Telemetry Unit FM 40.....	21
Obrázek 11 PIT Receiver Box	22
Obrázek 12 Lap Trigger IR-02 Transmitter.....	22
Obrázek 13 Lap Trigger IR-02 Receiver	23
Obrázek 14 Accident Data Recorder	24
Obrázek 15 BR2 Receiver	24
Obrázek 16 BTX Transmitter	25
Obrázek 17 C185	26
Obrázek 18 Pull-up rezistory	29
Obrázek 19 Mapa pokrytí signálem 2G	32
Obrázek 20 Mapa pokrytí signálem 2G	32
Obrázek 21 Mapa pokrytí signálem 2G, 3G a 4G	33
Obrázek 22 Principiální schéma navrhovaného systému	39
Obrázek 23 Blokové schéma traťového modulu	41
Obrázek 24 Traťový modul 01	42
Obrázek 25 Traťový modul 02	42
Obrázek 26 Napájecí blok.....	43
Obrázek 27 Vstupní měřicí blok.....	44
Obrázek 28 Komunikační blok traťového modulu	45
Obrázek 29 Signalizační blok traťového modulu	46
Obrázek 30 Blokové schéma mobilního modulu.....	48
Obrázek 31 Mobilní modul.....	48

Obrázek 32 Měřicí blok mobilního modulu	49
Obrázek 33 Komunikační blok mobilního modulu	49
Obrázek 34 Signalizační blok mobilního modulu	50
Obrázek 35 Arduino DUE	53
Obrázek 36 GSM modul použitý v traťovém modulu	54
Obrázek 37 GSM modul použitý v mobilním modulu	54
Obrázek 38 GPS modul použitý v traťovém modulu 01	55
Obrázek 39 GPS modul použitý v traťovém modulu 02	55
Obrázek 40 GPS modul použitý v mobilním modulu.....	56
Obrázek 41 Akcelerometr	56
Obrázek 42 Spínaný měnič napětí	57
Obrázek 43 Li-ion akumulátor Panasonic EB-BSX700	57
Obrázek 44 Zobrazení funkce optické brány	58
Obrázek 45 Laserová brána SICK WTB4S-3	59
Obrázek 46 laserová brána SICK WL100L	59
Obrázek 47 Polarizační zrcátko	59
Obrázek 48 Vysílač infračerveného záření	60
Obrázek 49 Přijímač infračerveného záření TSOP 4836	61
Obrázek 50 Hlavní funkce traťového modulu	71
Obrázek 51 NMEA zprávy ze sériové linky GPS modulu	71
Obrázek 52 Vývojový diagram funkce <i>void FreadNmea (void)</i>	72
Obrázek 53 Vývojový diagram funkce <i>void FirRecieve (void)</i>	74
Obrázek 54 Vývojový diagram funkce <i>void FlightBarrier (unsigned long allowTime)</i>	75
Obrázek 55 Hlavní funkce mobilního modulu	76
Obrázek 56 Vývojový diagram funkce <i>void FsendIRcode (unsigned long sendTime)</i>	76
Obrázek 57 Vývojový diagram funkce <i>void Faccident (double circleDistance)</i>	79
Obrázek 58 Vývojový diagram funkce <i>void FsendPossition (unsigned long sendTime, double distance)</i>	80
Obrázek 59 Vývojový diagram funkce <i>void FsmartDelay (unsigned long ms)</i>	81
Obrázek 60 Testování – traťový modul	85
Obrázek 61 Testování – mobilní modul	86
Obrázek 62 Komentovaná zpráva traťového modulu	87
Obrázek 63 Komentovaná zpráva mobilního modulu	88

Seznam zkratek

1G	První generace mobilní sítě
2G	Druhá generace mobilní sítě
3G	Třetí generace mobilní sítě
4G	Čtvrtá generace mobilní sítě
APRS	Automatic Position Reporting System Systém pro odesílání polohy a základních dat
ARM	Advanced RISC Machines Druh architektury procesoru
ASCII	American Standard Code for Information Interchange Tabulka všech počítačových znaků přiřazující číselné znaky
BSS	Base Station Subsystem Systém základnových stanic
CAN	Controller Area Network Průmyslová sběrnice používaná zejména v automobilech
ČMPR	Českomoravský pohár rally
ČR	Česká republika
EDGE	Enhanced Data Rates for GSM Evolution Vylepšení systému GPRS použitím 8-stavové modulace
FIA	Federation Internationale de L'automobile Mezinárodní automobilová federace
GND	Ground Zemní potenciál

GPRS	General Packet Radio Service Služba pro přenos mobilních dat
GPS	Global Position System Celosvětový systém pro měření polohy
GSM	Global System for Mobile communication Celosvětová síť pro mobilní komunikaci
HSDPA	High Speed Downlink Packet Access Protokol pro sítě mobilních operátorů
I ² C	Inter – Integrated Circuit Druh sériové sběrnice
ID	Identifikace
IP56	International Protection marking Označení stupně krytí elektrotechnického zařízení
IR	Infrared Radiation Infračervené záření
LCD	Liquid-crystal display Displej z tekutých krystalů
LED	Light Emitting Diode Světlo vyzařující dioda
LIVE – TIMING	Přenos v reálném čase
LSB	Least Significant Bit Bit s nejnižší váhou
LTE	Long Term Evolution Technologie určená pro přenos vysokorychlostních dat

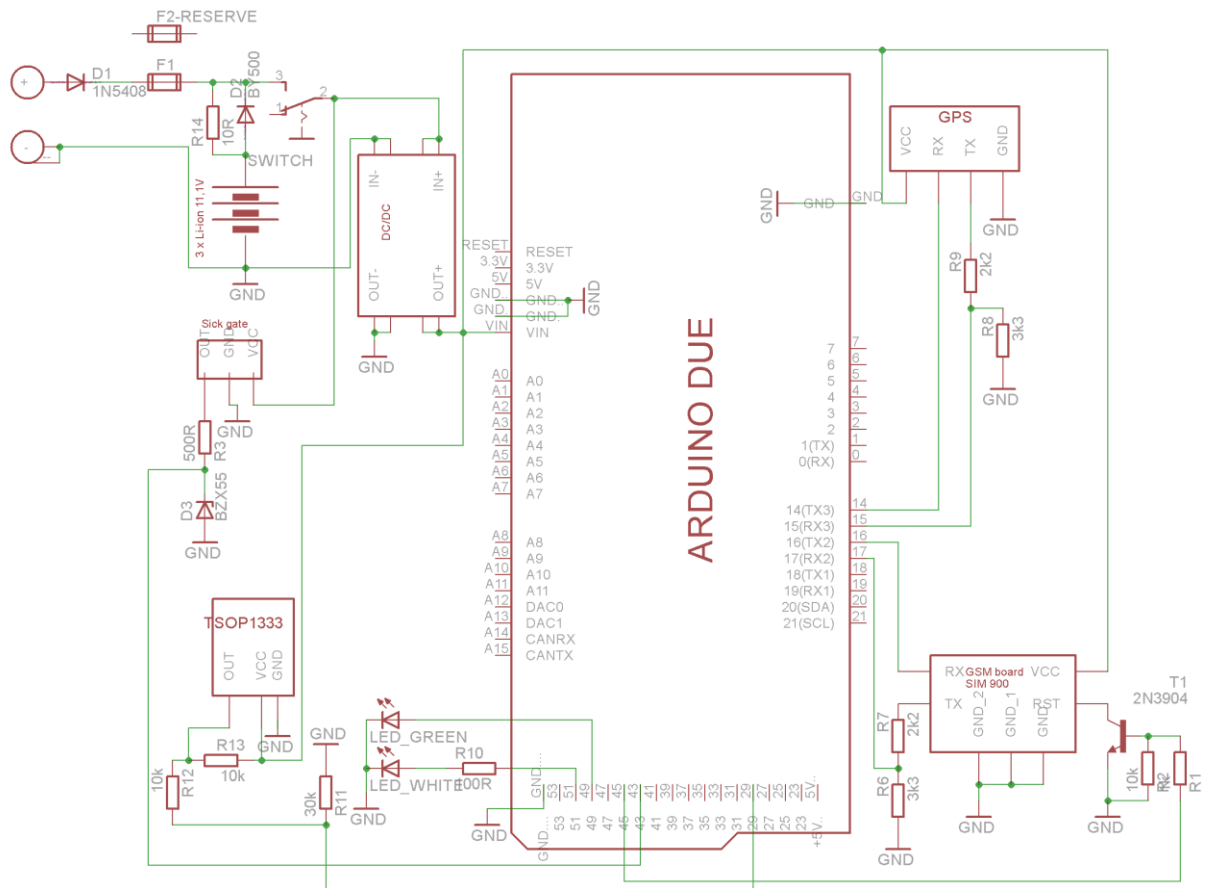
MSB	Most Significant Bit Bit s nejvyšší vahou
NMEA	National Marine Electronics Association Komunikační protokol navigace GPS
NPN	Negative – Positive – Negative typ Druh tranzistoru
ONI systém	Pasivní režim hlídání vozidla
PNP	Positive – Negative – Positive typ Druh tranzistoru
RISC	Reduced Instruction Set Computing Označení procesorů s redukovanou instrukční sadou
ROM	Read-Only Memory Paměť určená pouze ke čtení
RxD	Received exchange Data Přijatá data
RZ	Rychlostní zkouška
SDA	Synchronous Data Synchronně řízené data
SMD	Surface Mount Device Součástky určené pro povrchovou montáž
TFT	Thin Film Transistor Dotyková vrstva, používaná zejména ve spojení s LCD
TxD	Transmit exchange Data Vyslaná data

UMTS	Universal Mobile Telecommunication System Nástupce mobilní sítě GSM umožňující rychlý přenos dat
USB	Universal Serial Bus Univerzální sériová sběrnice

SEZNAM PŘÍLOH

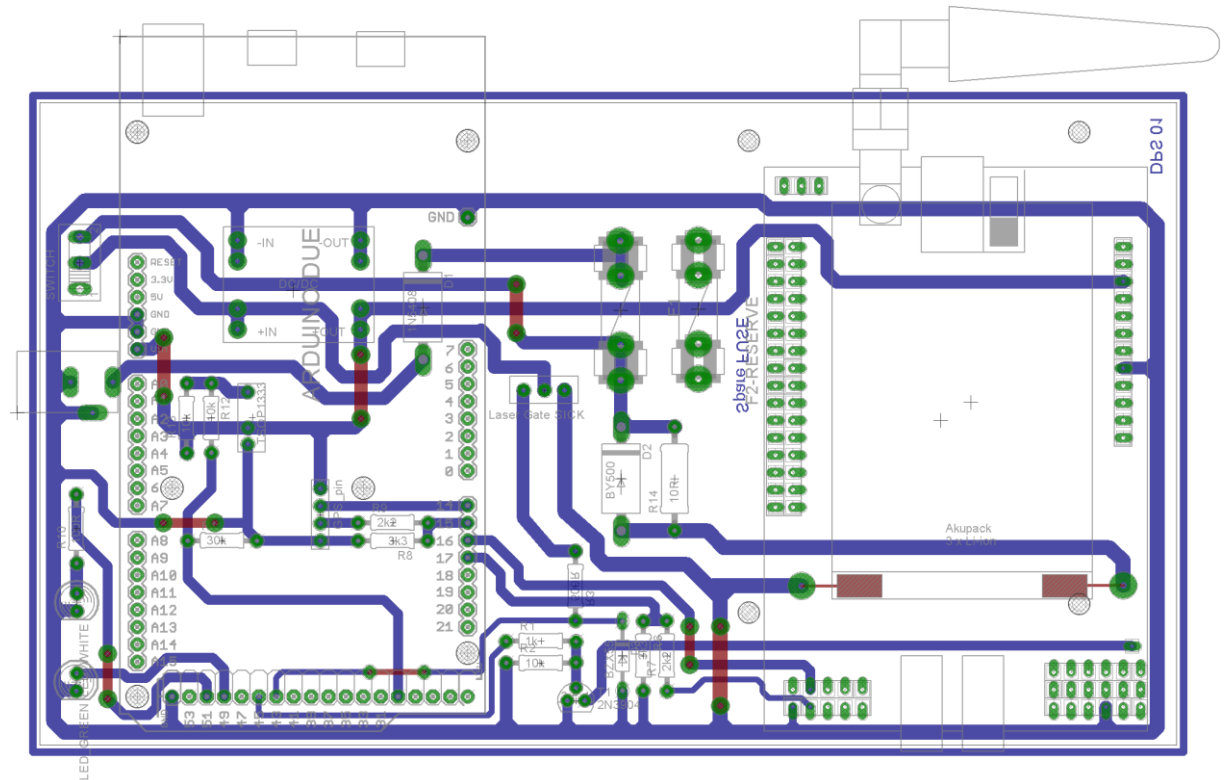
- Příloha A** – Traťový modul 01, schéma zapojení
- Příloha B** – Traťový modul 01, návrh základní desky s vyznačenými prvky
- Příloha C** – Traťový modul 01, návrh desky plošného spoje
- Příloha D** – Tabulka komponent použitých pro stavbu traťového modulu 01
- Příloha E** – Traťový modul 01, výsledné zařízení
- Příloha F** – Traťový modul 02, schéma zapojení
- Příloha G** – Traťový modul 02, návrh základní desky s vyznačenými prvky
- Příloha H** – Traťový modul 02, návrh desky plošného spoje
- Příloha I** – Tabulka komponent použitých pro stavbu traťového modulu 02
- Příloha J** – Traťový modul 02, výsledné zařízení
- Příloha K** – Mobilní modul, schéma zapojení
- Příloha L** – Mobilní modul, návrh základní desky s vyznačenými prvky
- Příloha M** – Mobilní modul, návrh desky plošného spoje
- Příloha N** – Tabulka komponent použitých pro stavbu mobilního modulu
- Příloha O** – Mobilní modul, výsledné zařízení
- Příloha P** – CD obsahující zdrojový kód v jazyce C/C++ pro mobilní i traťový modul, schémata zapojení všech základních desek včetně podkladů pro výrobu plošného spoje spustitelné v programu Eagle a datasheety použitých komponent.

Příloha A – Traťový modul 01, schéma zapojení



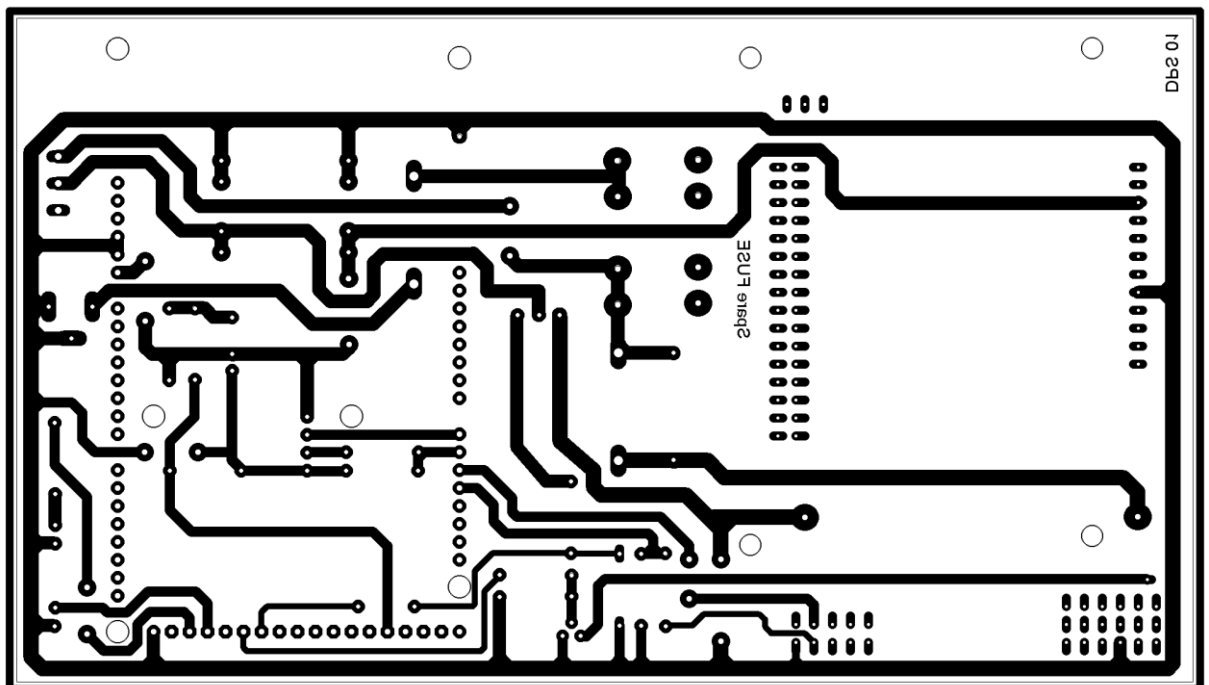
Zdroj: Autor

Příloha B – Traťový modul 01, návrh základní desky s vyznačenými prvky



Zdroj: Autor

Příloha C – Traťový modul 01, návrh desky plošného spoje



Zdroj: Autor

Příloha D – Tabulka komponent použitých pro stavbu traťového modulu 01

Komponenta	Výrobní/prodejní označení	Počet kusů
Základní deska	166 x 94 mm	1
Arduino DUE		1
GSM modul	SIM 900	1
GPS modul	Leadtek LR9450	1
IR přijímač	TSOP1333	1
Optická brána	SICK WL100L	1
Měnič napětí	MP1584	1
Li-ion akumulátor	Panasonic EB-BSX700	3
Vypínač	P-KNX125	1
Držák pojistky	SHH5	4
Pojistka	F 2A 5x20	2
Napájecí konektor do DPS	PC-GK2.1	1
Napájecí konektor	DCI SCP-2009B	1
Dvoulinka 0,35 mm ²	CYH 2X0,35 ČERNORUDÝ	1 m
Dioda	BY500	1
Ochranná dioda	1N5408	1
LED zelená	BL-B2334-L	1
LED bílá	530XW _o 4C	1
Zenerova dioda 3V	BZX83V003.0	1
Tranzistor	2N3904	1
Rezistor 10 Ω	10R/2W	1
Rezistor 100 Ω	100R/0,4W	1
Rezistor 500 Ω	500R/0,4W	1
Rezistor 1 kΩ	1k/0,4W	1
Rezistor 3,3 kΩ	3k3/0,4W	2
Rezistor 2,2 kΩ	2k2/0,4W	2
Rezistor 10 kΩ	10k/0,4W	3
Rezistor 30 kΩ	30k/0,4W	1
Propojky	D 0,5mm	8
Úložný box	EVRA 208 x 139 x 53 mm	1
Distanční sloupek	M3 6+6mm	42
Plastový šroub	KSS PF-306K	10

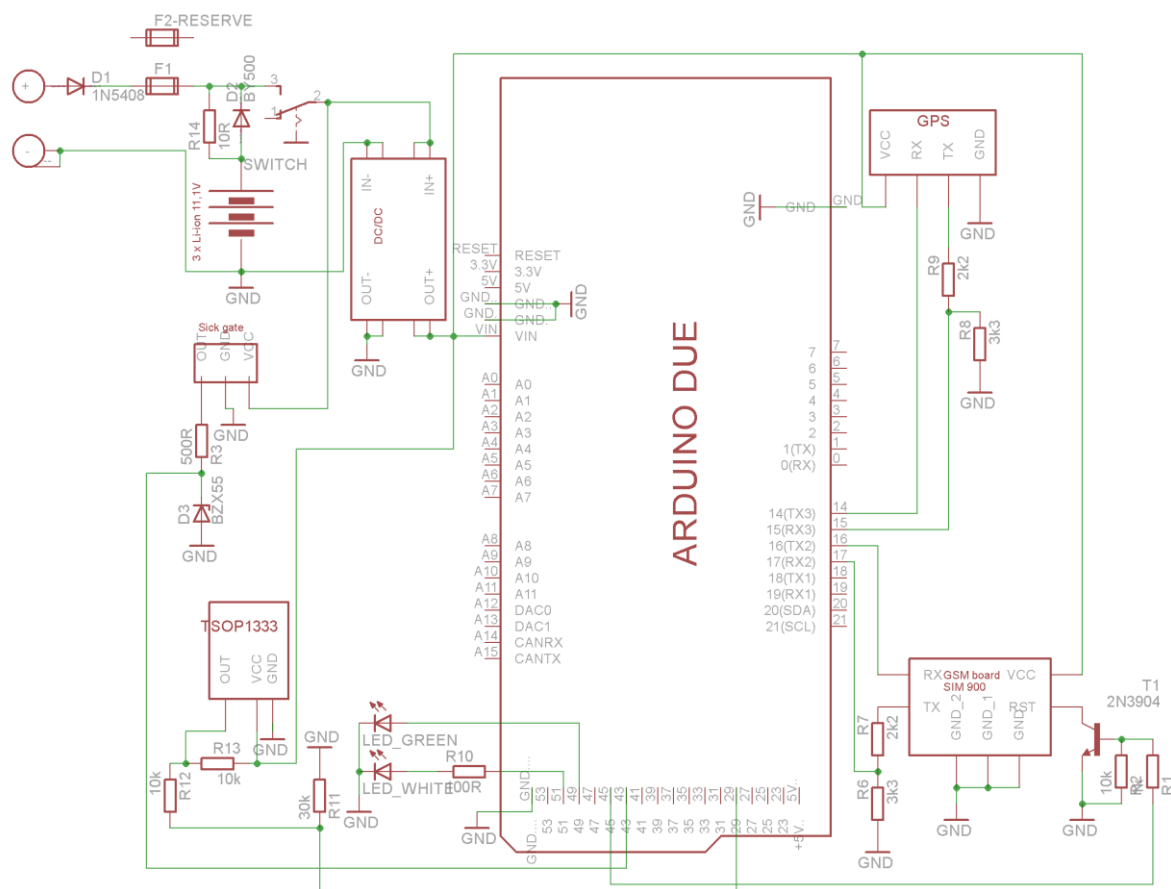
Zdroj: Autor

Příloha E – Traťový modul 01, výsledné zařízení



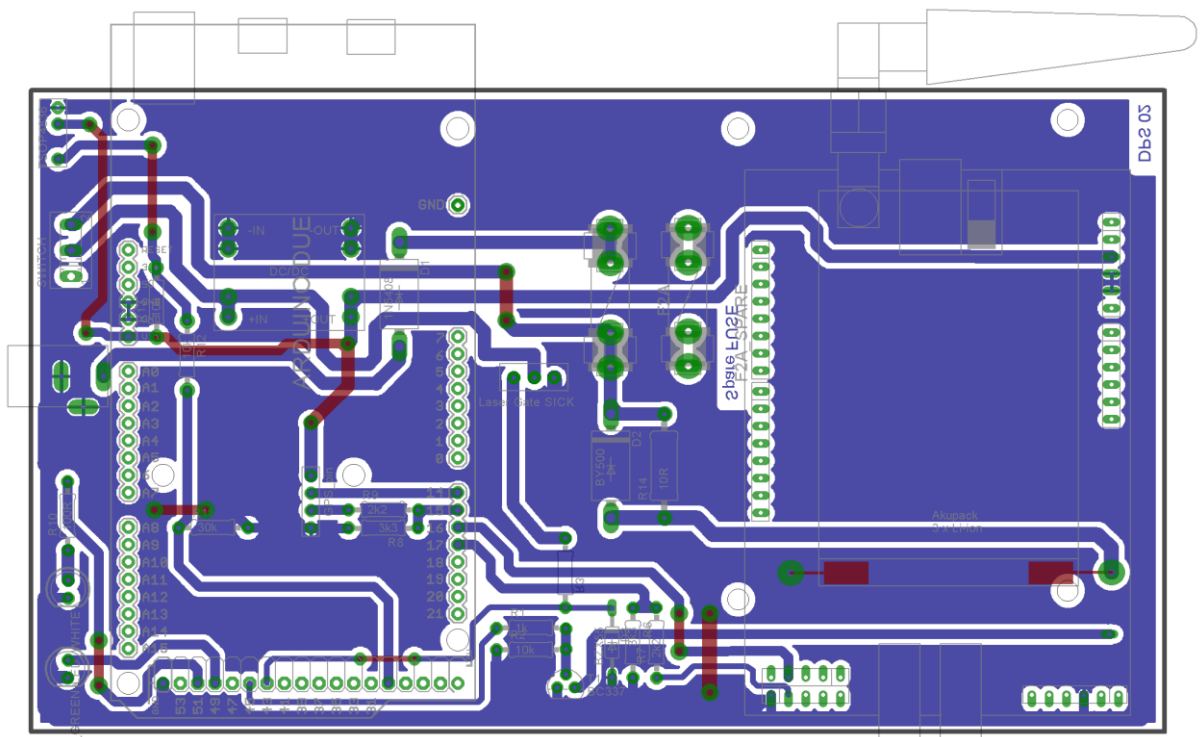
Zdroj: Autor

Příloha F – Traťový modul 02, schéma zapojení



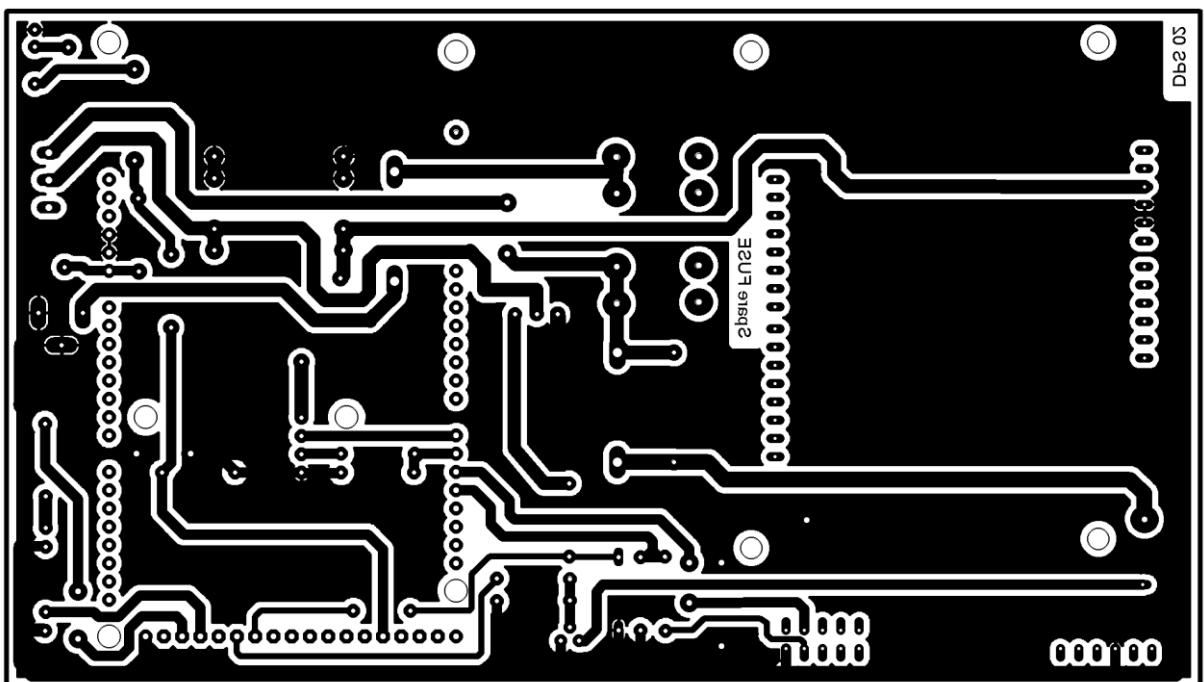
Zdroj: Autor

Příloha G – Traťový modul 02, návrh základní desky s vyznačenými prvky



Zdroj: Autor

Příloha H – Traťový modul 02, návrh desky plošného spoje



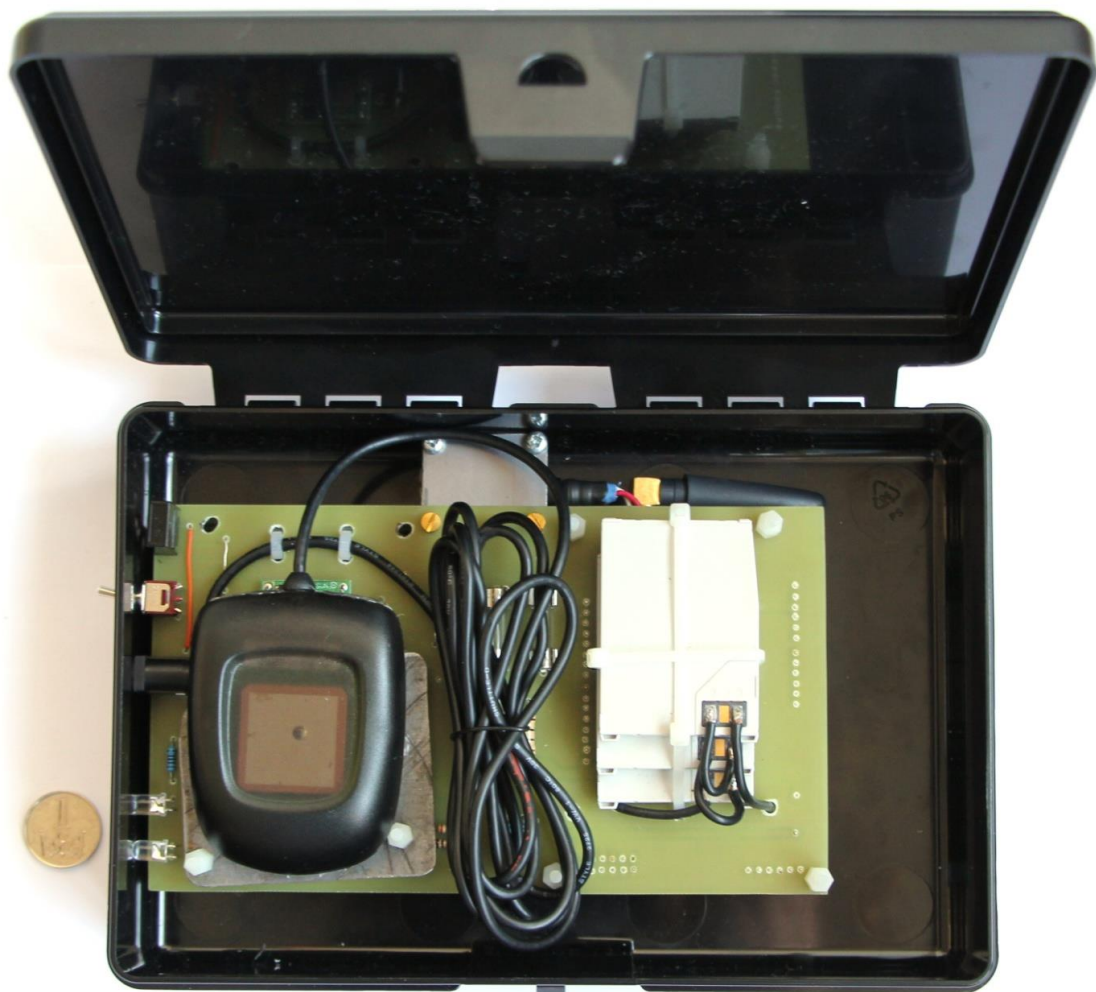
Zdroj: Autor

Příloha I – Tabulka komponent použitých pro stavbu traťového modulu 02

Komponenta	Výrobní/prodejní označení	Počet kusů
Základní deska	166 x 94 mm	1
Arduino DUE		1
GSM modul	SIM 900	1
GPS modul	GPS Receiver 9882	1
IR přijímač	TSOP4836	1
Optická brána	SICK WTB4S-3	1
Měnič napětí	MP1584	1
Li-ion akumulátor	Panasonic EB-BSX700	3
Vypínač	P-KNX125	1
Držák pojistky	SHH5	4
Pojistka	F 2A 5x20	2
Napájecí konektor do DPS	PC-GK2.1	1
Napájecí konektor	DCI SCP-2009B	1
Dvoulinka 0,35 mm ²	CYH 2X0,35 ČERNORUDÝ	1 m
Dioda	BY500	1
Ochranná dioda	1N5408	1
LED zelená	BL-B2334-L	1
LED bílá	530XW04C	1
Zenerova dioda 3V	BZX83V003.0	1
Tranzistor	2N3904	1
Rezistor 10 Ω	10R/2W	1
Rezistor 100 Ω	100R/0,4W	1
Rezistor 500 Ω	500R/0,4W	1
Rezistor 1 kΩ	1k/0,4W	1
Rezistor 3,3 kΩ	3k3/0,4W	2
Rezistor 2,2 kΩ	2k2/0,4W	2
Rezistor 10 kΩ	10k/0,4W	3
Rezistor 30 kΩ	30k/0,4W	1
Propojky	D 0,5mm	10
Úložný box	EVRA 208 x 139 x 53 mm	1
Distanční sloupek	M3 6+6mm	42
Plastový šroub	KSS PF-306K	10

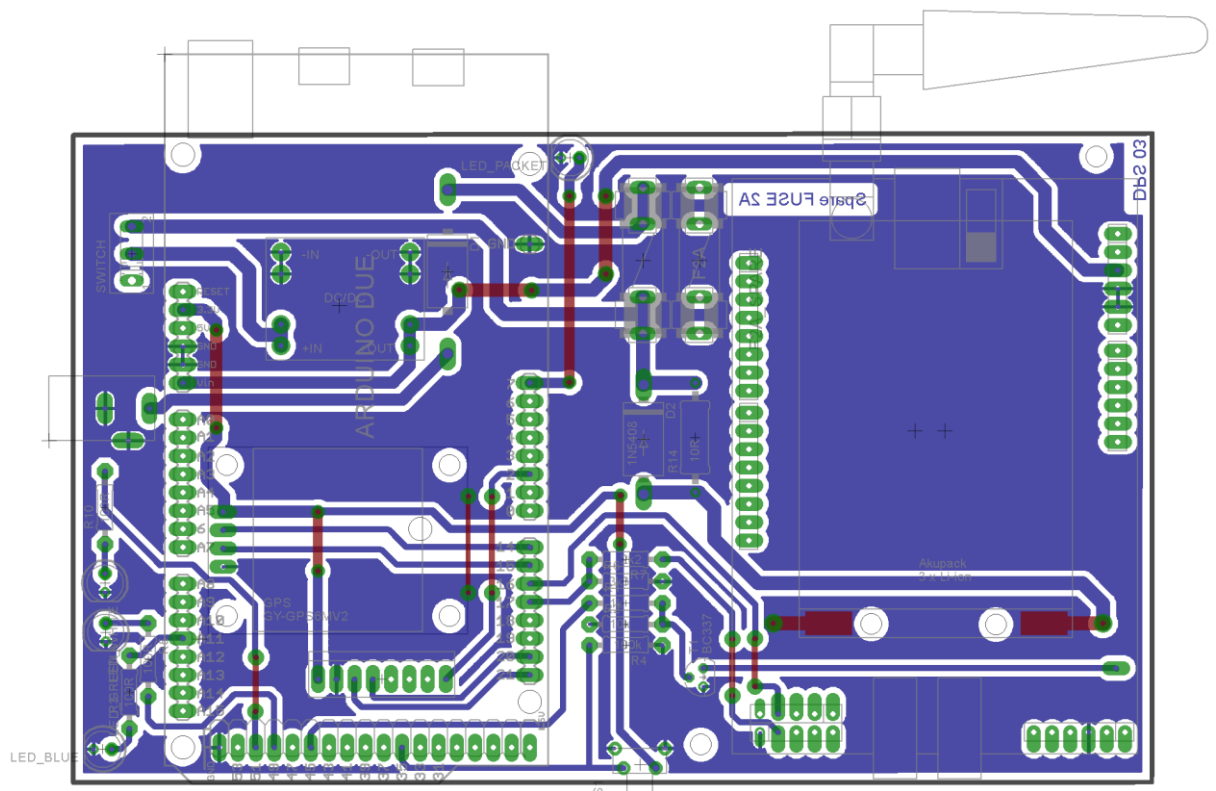
Zdroj: Autor

Příloha J – Traťový modul 02, výsledné zařízení



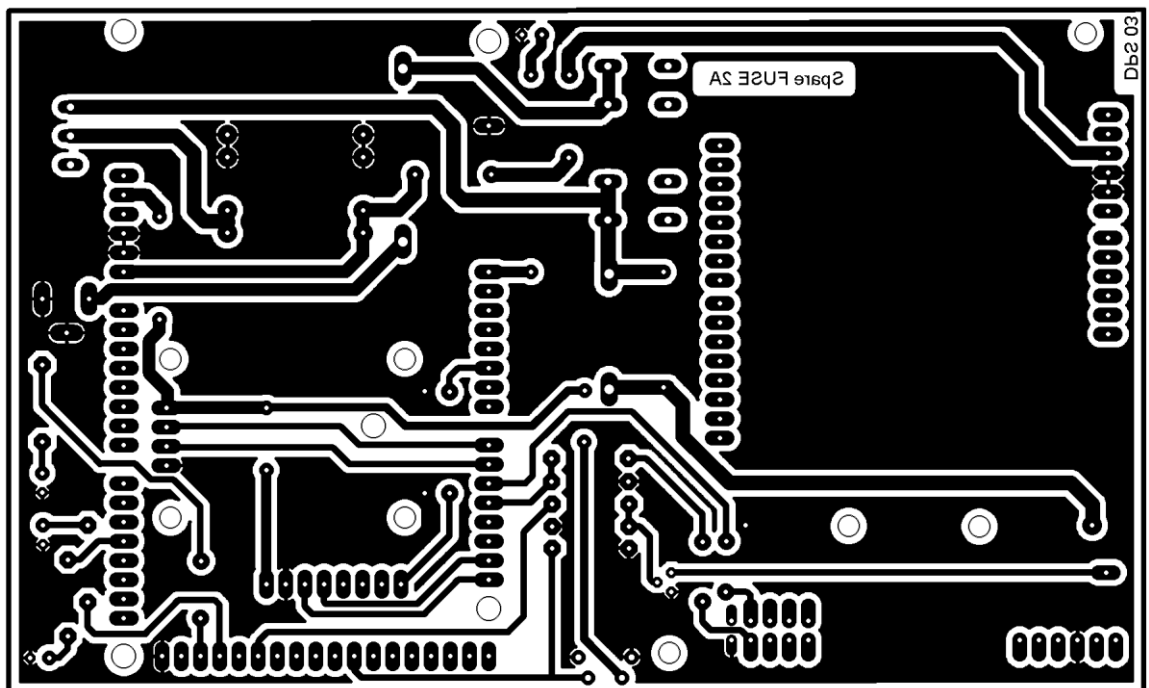
Zdroj: Autor

Příloha L – Mobilní modul, návrh základní desky s vyznačenými prvky



Zdroj: Autor

Příloha M – Mobilní modul, návrh desky plošného spoje



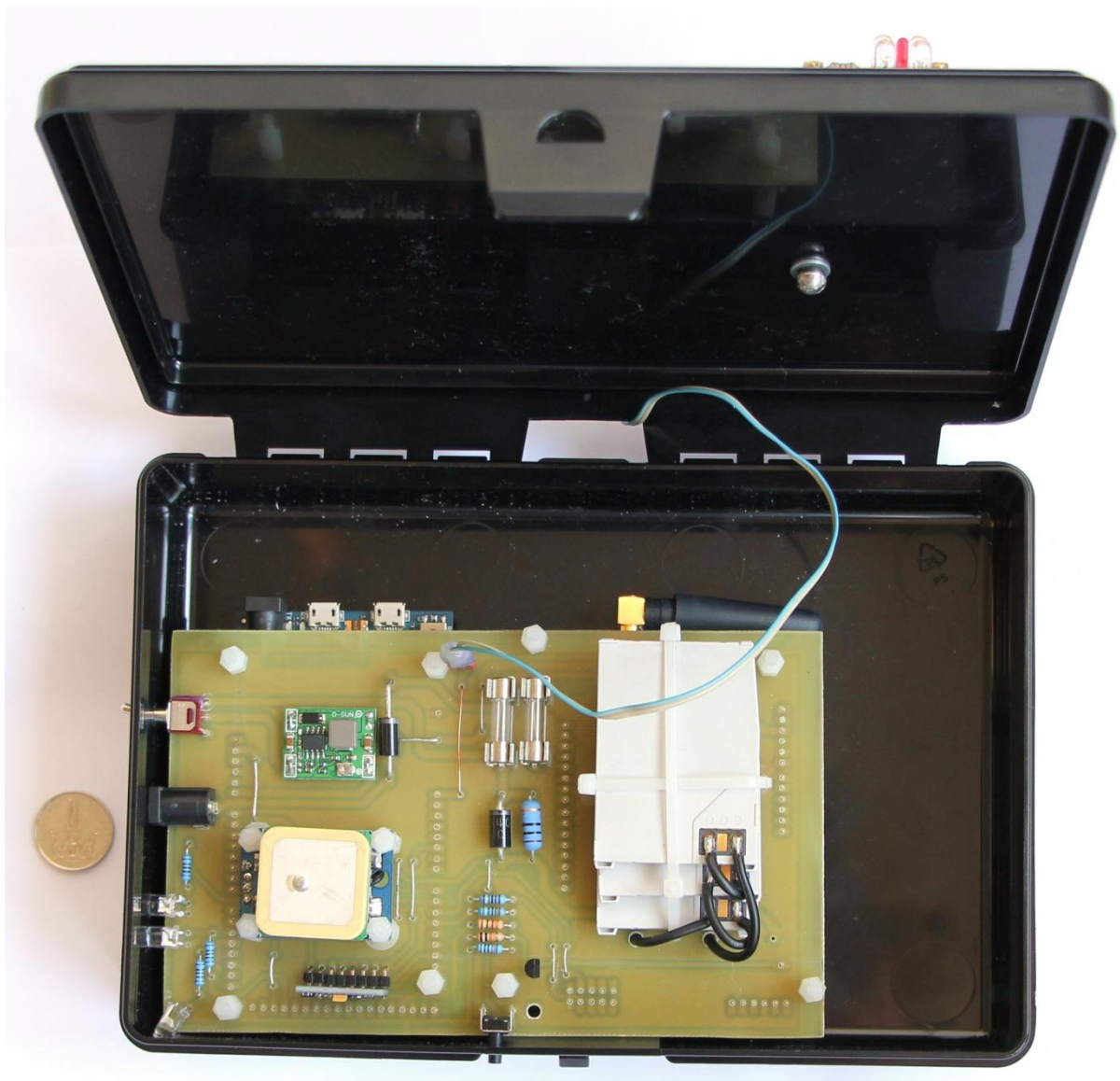
Zdroj: Autor

Příloha N – Tabulka komponent použitých pro stavbu mobilního modulu

Komponenta	Výrobní/prodejní označení	Počet kusů
Základní deska	150 x 90 mm	1
Arduino DUE		1
GSM modul	SIM 900	1
GPS modul	GY-GPS6MV2	1
Akcelerometr	MPU6050	1
Měnič napětí	MP1584	1
Li-ion akumulátor	Panasonic EB-BSX700	3
Vypínač	P-KNX125	1
Držák pojistky	SHH5	4
Pojistka	F 2A 5x20	2
Napájecí konektor do DPS	PC-GK2.1	1
Napájecí konektor	DCI SCP-2009B	1
Dvoulinka 0,35 mm ²	CYH 2X0,35 ČERNORUDÝ	1 m
Dvoulinka 0,05 mm ²	CYH 2X0,05	0,2 m
Dioda	1N5408	2
LED zelená	BL-B2334-L	1
LED bílá	530XW04C	1
LED modrá	504BC2V-B4-1GD	1
LED červená	BL-B5141-L	1
IR LED	HSDL-4220	4
Spínač	P-TACTN68-F	1
Tranzistor	2N3904	1
Rezistor 10 Ω	10R/2W	1
Rezistor 33 Ω	33R/0,4W	1
Rezistor 100 Ω	100R/0,4W	3
Rezistor 1 kΩ	1k/0,4W	2
Rezistor 3,3 kΩ	3k3/0,4W	1
Rezistor 2,2 kΩ	2k2/0,4W	1
Rezistor 10 kΩ	10k/0,4W	1
Rezistor 100 kΩ	100k/0,4W	1
Propojka	D 0,5mm	11
Úložný box	EVRA 208 x 139 x 53 mm	1
Distanční sloupek	M3 6+6mm	46
Plastový šroub	KSS PF-306K	9
Mosazný šroub	M3x5	4
Hliníkový L profil	40 x 15 x 1,5 mm	2 x 25 mm

Zdroj: Autor

Příloha O – Mobilní modul, výsledné zařízení



Zdroj: Autor