

Diplomová práce



České
vysoké
učení technické
v Praze

F3

Fakulta elektrotechnická
Katedra mikroelektroniky

System pro přenos senzorových dat pomocí GSM brány

Filip Roubal

Komunikace Multimedia a Elektronika

Leden 2018

Vedoucí práce: Ing. Adam Bouřa, Ph.D.



ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Roubal** Jméno: **Filip** Osobní číslo: **392840**
Fakulta/ústav: **Fakulta elektrotechnická**
Zadávající katedra/ústav: **Katedra mikroelektroniky**
Studijní program: **Komunikace, multimédia a elektronika**
Studijní obor: **Elektronika**

II. ÚDAJE K DIPLOMOVÉ PRÁCI

Název diplomové práce:

Systém pro přenos sensorových dat pomocí GSM brány

Název diplomové práce anglicky:

System for Transmitting Sensor Data Via GSM Gateway

Pokyny pro vypracování:

1. Seznamte se s problematikou využití modulu GSM pro přenos sensorových dat a jejich prezentaci pomocí webové aplikace. Prostudujte principy komunikačních rozhraní, která se pro tento účel využívají.
2. Na základě získaných poznatků navrhnete zařízení pro automatizovaný sběr dat a jejich odesílání pomocí GSM standardu. Navrhnete systém a uživatelské rozhraní tak, aby bylo možné připojit různé typy senzorů.
3. Sestavte testovací pracoviště a ověřte funkčnost vašeho návrhu s alespoň čtyřmi typy vybraných senzorů. Navrhnete případná vylepšení.

Seznam doporučené literatury:

- [1] Garlík, B.: Inteligentní budovy, BEN - technická literatura, Praha 2012, ISBN 978-80-7300-440-8
- [2] Vedral, J., Fischer, J.: Elektronické obvody pro měřicí techniku, Vydavatelství ČVUT, Praha, 2004.
- [3] Mann, B.: C pro mikrokontroléry, 1. Vydání, Praha 2003, Nakladatelství BEN - technická literatura, ISBN 80-7300-077-6.

Jméno a pracoviště vedoucí(ho) diplomové práce:

Ing. Adam Bouřa Ph.D., katedra mikroelektroniky FEL

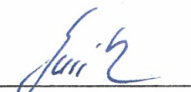
Jméno a pracoviště druhé(ho) vedoucí(ho) nebo konzultanta(ky) diplomové práce:

Datum zadání diplomové práce: **27.09.2017**

Termín odevzdání diplomové práce: _____

Platnost zadání diplomové práce: **28.02.2019**


Podpis vedoucí(ho) práce


Podpis vedoucí(ho) ústavu/katedry


Podpis děkana(ky)

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

Diplomant bere na vědomí, že je povinen vypracovat diplomovou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací. Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je třeba uvést v diplomové práci.

9.1.2018
Datum převzetí zadání


Podpis studenta

Poděkování / Prohlášení

Chtěl bych poděkovat vedoucímu práce Ing. Adamu Bouřovi, Ph.D. Za odborné vedení diplomové práce. Dále své rodině za zázemí, podporu a trpělivost.

Prohlašuji, že jsem předloženou práci vypracoval samostatně a že jsem uvedl veškeré použité informační zdroje v souladu s Metodickým pokynem o dodržování etických principů při přípravě vysokoškolských závěrečných prací.

V Praze dne 8. 1. 2018

.....

Abstrakt / Abstract

Tato práce se zabývá návrhem a realizací datového záznamníku, k němuž bude možné připojit různé druhy senzorů neelektrických veličin. To obnáší návrh vhodného obvodového řešení pro zpracování signálu z těchto senzorů, jednotky pro odesílání dat pomocí standardu GSM na vzdálený server k zobrazení, a vhodné řešení napájení záznamníku. Podklad pro tento návrh poskytnou informace získané rozborem dostupné literatury a průzkumem trhu zaměřeném na danou problematiku. V textu jsou popsány jednotlivé kroky provedeného návrhu, jak části hardware, tak i software.

Klíčová slova: GSM, M2M, IoT, Sensory, Záznamník

In this thesis i focus on design and implementation of a data logger which supports connection of different kinds of sensors of non-electric quantities. This involves designing a suitable circuit solution for signal processing for these sensors. Designing a data transfer solution to a remote server using the GSM standard. In the teoretical part i did the analysis of available information sources which focus on data logging and sensors problematics. There are in detail desrbed steps of device developing and design of hardware and software.

Keywords: GSM, M2M, IoT, Sensors, Logger

Obsah /

1 Úvod	1	C Schéma základní desky 2/4	48
1.1 Cíl práce.....	1	D Schéma základní desky 3/4	49
2 GSM záznamníky	2	E Schéma základní desky 4/4	50
2.1 Vnitřní použití	2	F Schéma měřicí karty pro ana-	
2.1.1 HW group - rodina Ares...2		logové senzory	51
2.1.2 Omni - řada GRD	3	G Schéma měřicí karty pro RTD	
2.1.3 Delphin - Expert Logger ..3		senzory	52
2.2 Vnější použití	4	H Schéma Měřicí karty pro Sen-	
2.2.1 Rshydro - řada A75x	4	zory 4-20mA	53
2.2.2 Smart-Con - DA4	4	I Schéma Měřicí karty pro Inte-	
2.2.3 Onset HOBO RX300	5	grované senzory	54
3 Rešerše dostupných senzorů	6	J Navržené desky plošných spojů .	55
3.1 Senzory pro měření meteo-		K Obsah příloženého CD	56
rologických prvků	6		
3.1.1 Teplota	6		
3.1.2 Tlak	8		
3.1.3 Vlhkost	9		
3.1.4 Směr a rychlost větru	10		
3.1.5 Množství srážek.....	11		
3.2 Senzory pro měření ostatních			
parametrů prostředí	11		
4 Možnosti přenosu a zobrazení			
dat	12		
5 Konstrukce	14		
5.1 Řídicí jednotka.....	14		
5.1.1 Napájení.....	14		
5.1.2 Mikrokontroler	19		
5.1.3 GSM brána	19		
5.1.4 Konektory	21		
5.2 Základní deska	22		
5.3 Měřicí karty	23		
5.3.1 Analogové senzory	25		
5.3.2 RTD senzory	27		
5.3.3 Anemometr	29		
5.3.4 Proudový vstup	30		
5.3.5 Integrované senzory	31		
6 Software	32		
7 Mechanická část	34		
8 Realizace a testování	37		
9 Návrh na zlepšení	41		
10 Závěr	42		
Literatura	43		
A Zkratky a symboly	45		
A.1 Zkratky	45		
A.2 Symboly	46		
B Schéma základní desky 1/4	47		

Tabulky / Obrázky

3.1. Značení termočlánků dle IEC 584	6
4.1. Porovnání tarifů M2	12
5.1. Význam signalizačních diod obvodu LT3652	15
5.2. Význam zkratovacích propojek	19
5.3. Napěťové úrovně logických stavů GSM modulu	20
5.4. Zapojení napájecích konektorů	21
5.5. Zapojení konektorů k měřicím kartám	22
5.6. Propojovací konektor na měřicí kartě	24
5.7. Obsazení paměti EEPROM	26
5.8. Hodnoty paměti EEPROM pro LMT85 a KP234	26
5.9. Obsazení paměti EEPROM	28
5.10. Hodnoty paměti EEPROM pro PT100 a $R_{REF} = 400 \Omega$	28
5.11. Převodní tabulka mezi napětím a směrem větru	29
8.1. Rozložení ceny: hardware	39
8.2. Rozložení ceny: návrh a software	39
8.3. Výpočet prodejní ceny	39
8.4. Základní elektrické parametry prototypu	40
2.1. Ares 10	2
2.2. Ares 12	2
2.3. Omni - GRD-3301	3
2.4. Delphin Expert Logger	3
2.5. Rshydro, Jednotka A757	4
2.6. Rshydro, Jednotka A753	4
2.7. Rshydro, Jednotka A755	4
2.8. Smart-Con - DA4 IP20	5
2.9. Smart-Con - DA4 IP54	5
2.10. Onset HOBO RX300 a senzory ..	5
3.1. Můstkové zapojení pro dvouvodičové připojení RTD senzoru	7
3.2. Můstkové zapojení pro třívodičové připojení RTD senzoru ...	7
3.3. Struktura piezoodporového senzoru tlaku	8
3.4. Struktura kapacitního senzoru tlaku	9
3.5. Příklad provedení srážkoměru .	11
5.1. Blokové schéma systému	14
5.2. Schéma zapojení nabíječe	15
5.3. Časová analýza nabíjecího napětí a proudu nabíječe	16
5.4. Schéma zapojení odpojovače ...	17
5.5. Převodní charakteristika při vybíjení	17
5.6. Schéma zapojení zvyšujícího měniče	18
5.7. Obrázek GSM modulu SIM800C	20
5.8. Osazovací výkres řídicí jednotky	21
5.9. Osazovací výkres základní desky	22
5.10. Jednotná podoba měřicích karet	24
5.11. Schéma zapojení vstupní části pro analogové senzory	25
5.12. Blokové schéma obvodu MAX31865	27
5.13. Schéma zapojení měřicí karty anemometr	29
5.14. Převodní charakteristika zapojení RCV420	31

6.1.	Vývojový diagram programu řídicí jednotky	32
6.2.	Vývojový diagram programu měřících karet	33
7.1.	Konstrukční krabice Kradex Z90	34
7.2.	Navržené dno konstrukční krabice	34
7.3.	Výmezovací vložka	35
7.4.	Box pro baterie	35
7.5.	Fotografie umístění systému do konstrukční krabice	36
8.1.	Snímek obrazovky serveru freeboard	38
9.1.	Konektory Teneo	41

Kapitola 1

Úvod

Práce je rozdělena do několika částí, v prvních kapitolách je proveden rozbor dostupných integrovaných senzorů na trhu s důrazem na porovnání jejich výstupů, který poslouží jako podklad pro následný návrh vhodného řešení vstupních a vyhodnocovacích obvodů. Dále je provedeno porovnání stávajících řešení záznamových zařízení, která odesílají data pomocí standardu GSM, včetně porovnání dostupných speciálních mobilních tarifů M2M, vhodných pro komunikaci mezi zařízeními. Na tento teoretický rozbor navazují kapitoly věnované samotnému návrhu a realizaci záznamníku. Nejprve je nastíněna koncepce a jsou popsány jednotlivé díly zařízení, včetně rozboru schémat zapojení a popisu konektorů. Důraz je kladen také na popis obslužného programu pro zpracování a odesílání dat na server.

1.1 Cíl práce

V této práci si kladu za cíl navrhnout a zrealizovat jednotku pro automatický sběr senzorových dat. Ta budou odesílána s určitou časovou periodou pomocí standardu GSM na server a následně vhodně interpretována. Takováto zařízení jsou v době internetu věci velice atraktivní, a proto jsem se rozhodl toto zařízení zrealizovat. Vyvíjené zařízení bude uzpůsobeno pro sběr meteorologických dat. Z toho plyne, že bude nutné zabezpečit dostatečnou odolnost vůči vodě, nízkou energetickou náročnost a spolehlivost celého systému. Mezi základní meteorologické parametry, které charakterizují stav atmosféry v daném místě a čase, můžeme zařadit teplotu, tlak a vlhkost vzduchu, směr a sílu větru. Základní parametry lze ještě doplnit například měřením množství prachových částic, znečištění vzduchu určitými chemickými látkami, případně o měření hladiny hluku. Při návrhu je kladen důraz na modulárnost systému a snadnou rozšiřitelnost.

Kapitola 2

GSM záznamníky

Výhodou použití sítě GSM pro přenos sensorových dat je široké území pokryté tímto signálem. Navíc je síť GSM mezinárodně standardizovaná, proto je možné stanici umístit téměř kdekoli. Mezi nevýhody patří vyšší spotřeba energie při odesílání dat, to lze eliminovat snížením počtu intervalů, ve kterých budou data odesílána na web. Na trhu jsou k dostání různé druhy záznamníků, které odesílají data přes tuto síť. Můžeme je rozdělit na dva základní druhy, první z nich tvoří pouze záznamovou jednotku s měřicími vstupy a GSM modul je k nim připojen externě jako samostatný modul. Druhou skupinu pak tvoří zařízení, u kterých je GSM modul již přímo jeho součástí. Pro tuto práci je stěžejní porovnání se zařízeními z druhé skupiny, protože ve vytvářeném výrobku bude GSM modul implementován.

GSM záznamníky můžeme dále rozdělit podle prostředí, ve kterém jsou schopné pracovat, tedy pro vnitřní nebo vnější použití. Na základě tohoto dělení budou v následující části shrnuta různá komerční řešení.

2.1 Vnitřní použití

2.1.1 HW group - rodina Ares

Česká firma HW group, zabývající se výrobou IP sériových produktů, IP senzorů a systémů pro M2M, má ve své nabídce mimo jiné také jednotky pro vzdálený dohled. Jedná se o dvě jednotky, základní Ares 10 a rozšířenou Ares 12. K jednotkám je možné připojit až 14 senzorů, kompatibilních se sběrnici 1-Wire (3 senzory pro Ares 10). Napájené jsou ze stejnosměrného zdroje a jednotka Ares 12 obsahuje navíc zálohovací baterii, ze které je schopna pracovat několik hodin. Data odesílá na portál „SmartDesk“, případně je možné zobrazení také v programu „HWg-PDMS“. Tento program je dodáván přímo výrobcem. Zařízení jsou také schopné udávat různá chybová hlášení pomocí textových zpráv, jako například ztrátu napájení a podobně. Obě jednotky jsou ještě vybaveny skupinou světelných diod, které signalizují základní stavy zařízení. V závislosti na tom, kde chceme, aby byla jednotka umístěna, můžeme v příslušenství volit mezi adaptérem do 19-ti palcového rozvaděče, adaptérem na DIN lištu, případně na zeď. Mezi další příslušenství patří různé sensorové vybavení a podobně.[1]. Fotografie obou jednotek jsou na obrázku 2.1 a 2.2.



Obrázek 2.1. Ares 10, převzato z: [1]



Obrázek 2.2. Ares 12, převzato z: [1]

■ 2.1.2 Omni - řada GRD

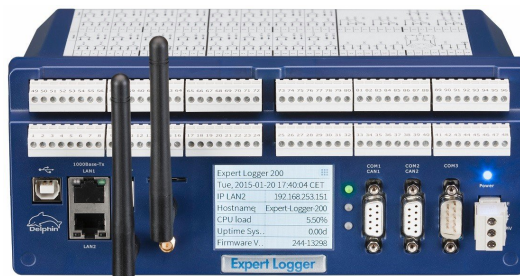
Dalším zástupcem záznamových zařízení pro vnitřní použití je výrobek firmy Omni, a to konkrétně GRD-3301. Umožňuje odesílání dat na vzdálený server ze dvou analogových a čtyř digitálních vstupů. Analogové vstupy jsou uzpůsobeny pro připojení senzorů s výstupem 0-10 V, 0-1 V, proudovou smyčku, případně pro připojení odporového senzoru teploty Pt100. Digitální vstupy jsou schopny číst pulzy, nebo zpracovávat standardní logické stavy. Napájen je ze stejnosměrného zdroje, v případě výpadku signálu sítě GSM je schopen uchovat až 100000 přečtených dat na vnitřní paměť a následně odeslat. Další funkcionalitou je možnost konfigurace alarmů. Zařízení je uzpůsobeno pro montáž na DIN lištu.[2]



Obrázek 2.3. Omni - GRD-3301, převzato z: <http://www.omniinstruments.co.uk/media/catalog/product/8/2/8262.jpg>

■ 2.1.3 Delphin - Expert Logger

Výrobce Delphin má v nabídce velice univerzální záznamový systém Expert Logger. Přístroje jsou dodávány v několika variantách, v závislosti na tom, kolik vstupních obvodů požadujeme. V nejvyšší konfiguraci může jednotka obsahovat až 46 analogových vstupů pro snímání napětí, proudu, pro připojení termočlánku, odporových senzorů teploty a dalších. Dále je k dispozici až 8 digitálních vstupů plnicích funkci čítače a obecného digitálního vstupu. Zařízení také obsahuje interní paměť pro záložní ukládání dat a port pro připojení externí paměti. S jednotkou je možné komunikovat nejen přes standard GSM, ale také pomocí sítí, jako RS485, RS232, LAN, WiFi, USB a CAN, navíc je vybavena také barevným dotykovým displejem, který slouží pro základní konfiguraci, případně pro sledování měřených dat. Napájení je možné ze stejnosměrného zdroje, případně z baterií. Sensory se k jednotce připojují pomocí šroubovacích svorkovnic, stejně jako u jednotek Omni a HW group. [3] Fotografie jednotky je na obrázku 2.4.



Obrázek 2.4. Delphin Expert Logger, převzato z: http://www.daqlog-systems.co.uk/media/djcatalog2/images/item/0/expert-logger_f.jpg

2.2 Vnější použití

2.2.1 Rshydro - řada A75x

Záznamníky této firmy jsou dodávány ve třech provedeních, v závislosti na konkrétní aplikaci, ve které má být zařízení používáno. Pro monitorování množství srážek je možné využít jednotku A757. Ta obsahuje pouze jeden vstup uzpůsobený pro čítání pulzů ze senzoru množství srážek. Dalším v nabídce je typ A755, což je již univerzální systém obsahující 2 obecné digitální vstupy, dva vstupy v režimu čítání pulzů a sběrnici SDI-12¹. Posledním představitelem je pak A753, ten obsahuje již 4 analogové napěťové vstupy, 4 digitální ve funkci čítače a obecné digitální, dále pak také sběrnici SDI-12. Všechny jednotky jsou dodávány v provedení s krytím IP67². Napájeny jsou z vnitřních bateriových článků, které je možné dobít ze solárního panelu, případně stejnosměrného zdroje. Dodávaná anténa pro GSM je opatřena dodatečným vodotěsným krytím. Senzory a napájení se k jednotce připojují konektory Binder řady M9. Fotografie všech tří jednotek jsou na následujících obrázcích:



Obrázek 2.5. Rshydro Jednotka A757, převzato z: <http://www.rshydro.co.uk/cp/admin/uploads/products/images/update/A757-GPRS-Wireless-Data-Logger-Img-1.jpg>



Obrázek 2.6. Rshydro, Jednotka A753, převzato z: <http://www.rshydro.co.uk/cp/admin/uploads/products/images/update/A753-GSM-GPRS-Telemetry-Data-Logger-Img-1.jpg>



Obrázek 2.7. Rshydro, Jednotka A755, převzato z: <http://www.rshydro.co.uk/cp/admin/uploads/products/images/update/A755-Img1.jpg>

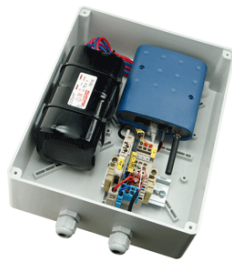
2.2.2 Smart-Con - DA4

Zajímavým řešením záznamníku je výrobek firmy Smart-Con. Jejich řešení je prezentováno jako nízkospotřebové, určené do objektů, kde není dostupné síťové napájení. V katalogovém listu výrobce deklaruje výdrž 10 a více let provozu bez nutnosti výměny baterií. Jednotku je možné konfigurovat pomocí sériové linky RS232 a měnit tak parametry jako četnost odesílání dat, případně formů v jaké mají být odesílána, zda pomocí

¹ asynchronní seriový komunikační protokol pro připojení inteligentních senzorů

² dle: ČSN EN 60 529 chráněno: 6 - prachotěsné (úplně), 7 - zařízení ponořené dočasně do vody

textových zpráv nebo na server, který spravuje přímo výrobce. Sensory lze k zařízení připojit ke dvěma digitálním a analogovým vstupům, případně ke vstupům čítače pulzů, navíc lze jednotku rozšířit až o 5 přídatných modulů, které Smart-Con vyrábí. Základní verze je dodávána v provedení s krytím IP20¹, ale lze zakoupit i provedení s krytím IP54². [4]



Obrázek 2.8. Smart-Con - DA4 IP20, převzato z: [4]



Obrázek 2.9. Smart-Con - DA4 IP54, převzato z: <http://www.smart-con.cz/wp-content/uploads/2016/07/d11.jpg>

■ 2.2.3 Onset HOBO RX300

Z mého pohledu je z prohlédnutých řešení nejzajímavější zařízení HOBO RX300 od firmy Onset z USA. Hlavní výhoda řešení spočívá v možnostech uživatelské konfigurace. Jednotka, respektive její složení, je totiž v několika krocích konfigurovatelná z webu výrobce. Můžeme volit druh komunikačního rozhraní, kde máme na výběr připojení pomocí GSM, WiFi, nebo sítě LAN. Dále můžeme volit druh napájení od solárního panelu po napájení ze střídavé sítě. Následuje volba provedení buď pro vnitřní nebo vnější použití. Poté můžeme zvolit sensorové vybavení, které výrobce ke stanici dodává. Dostupná je široká nabídka „chytrých“ senzorů, jako například senzor barometrického tlaku, teploty, množství srážek, rychlosti a směru větru a podobně. Celkově lze k jednotce připojit až deset těchto senzorů. Obsahuje také LCD panel pro ovládání, paměť pro záznam dat a vnitřní záložní baterie. Výhodou je také programové vybavení pro správu a zobrazení dat. Výrobce nabízí jak mobilní aplikaci, tak počítačový program a také internetový server. [5]



Obrázek 2.10. Onset HOBO RX300 a senzory, převzato z: <http://www.onsetcomp.com/sites/all/themes/onset/onset-images/landing-pages/hobolink/hobolink-rx3000-kit.jpg>

¹ dle: ČSN EN 60 529 chráněno: 2 - vnik malých předmětů, 0 - bez ochrany proti vodě

² dle: ČSN EN 60 529 chráněno: 5 - prachotěsné (částečně), 4 - chráněno proti stříkající vodě

Kapitola 3

Rešerše dostupných senzorů

Některé ze senzorů, zmíněných v následující části, lze zakoupit také s výstupem na některou z průmyslových sběrnic, jako je proudová smyčka nebo napěťový výstup 0-10V. Větší část kapitoly je věnována senzorům pro měření základních meteorologických prvků. V závěru jsou pak uvedeny příklady několika dalších senzorů pro monitorování stavu znečištění atmosféry.

3.1 Sensory pro měření meteorologických prvků

3.1.1 Teplota

Sensory pro měření teploty můžeme rozdělit podle fyzikálního principu, na kterém pracují. V této kapitole budou popsány tři nejpoužívanější: termočlánky, odporové mikrosensory a teplotní mikrosensory s PN přechodem.

3.1.1.1 Termočlánky

U senzorů tohoto typu se využívá Seebeckova jevu, kdy při použití dvou vodičů z různého elektricky vodivého materiálu, které jsou spojeny do uzavřeného obvodu a mají na svých koncích rozdílnou teplotu, začne obvodem protékat elektrický proud. Velikost napětí, kterou v případě rozpojení obvodu termočlánek vytvoří, se řídí následujícím vztahem:

$$E = \alpha_A(t_1 - t_2) + \alpha_B(t_1 - t_2) \quad (1)$$

kde: E - elektromotorické napětí, α_A a α_B - Seebeckovy koeficienty použitých materiálů, t_1 a t_2 - teplota měřicího a referenčního vodiče.

Pro výrobu termočlánků se využívá specifických kombinací materiálu v závislosti na využitelném teplotním rozsahu. Takto je vytvořena celá řada standardizovaných termočlánků. Druhy, jejich označení, materiál použitý pro výrobu vodičů a teplotní rozsah je v následující tabulce:

označení dle IEC 584	materiál vodičů	Seebeckovy koeficienty $\mu V/K$
K	Nikl - Chrom / Nikl - Alumel	40
J	Železo / Konstantan	51
T	Měď / Konstantan	40
E	Nikl - Chrom / Konstantan	60
N	Nicrosil / Nisil	38
S	Platina Rhodium (10%) / Platina	11
R	Platina Rhodium (13%) / Platina	12
B	Platina Rhodium (30%) / Platina Rhodium (6%)	8

Tabulka 3.1. Porovnání termočlánků převzato z [6].

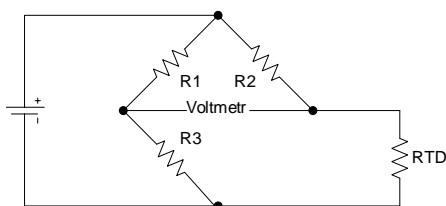
Vývody pro připojení k měřicí jednotce se označují jako „měřicí“ a „referenční“, v anglických textech jako „hot“ a „cold“. Výsledná teplota pak odpovídá rozdílu napětí mezi těmito vývody. Pro správné vyhodnocení je potřeba kompenzovat teplotu referenčního spoje, použít lze několik metod. První, starší a poměrně implementačně složitá spočívá v udržování referenčního vodiče po celou dobu měření v konstantní teplotě.

Další metoda je založena na připojení dodatečných kompenzačních obvodů, případně v číslicové kompenzaci. Pro vyhodnocení dat z termočlánu je jedním z možných řešení využití integrovaného obvodu firmy Maxim Integrated, typ: MAX31855. Ten zajišťuje kompenzaci studeného konce a převod napětí z termočlánu na digitální signál, kompatibilní se sběrníci SPI. Pro správnou funkci kompenzace referenčního vodiče musí být konektor pro připojení termočlánu umístěn přímo na desce plošného spoje s integrovaným obvodem. Samotná kompenzace pak zjednodušeně funguje tak, že obvod nejprve změří svou vnitřní teplotu, následně změří napětí na referenčním vodiči. Takto si vytvoří korekční hodnotu, kterou pak zanesou do měření. Obvod má několik variant, které jsou přímo určené pro konkrétní typ termočlánu.[7]

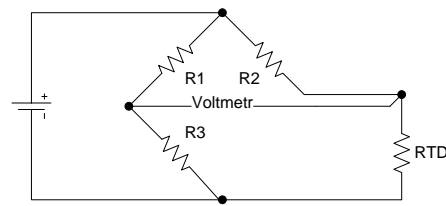
3.1.1.2 Odporové senzory teploty

Odporové senzory, v anglické literatuře značeny jako RTD (Resistance Temperature Device), jsou jedny z často využívaných senzorů pro měření teploty. Využívá se u nich závislost odporu na teplotě. Pro použité materiály je hlavním kritériem konstantní teplotní součinitel odporu a dostatečně vysoký měrný odpor. Jedněmi z typických kovů pro výrobu jsou platina, nikl a molybden. Hlavní výhodou těchto senzorů je v určitém teplotním rozsahu lineární závislost mezi změnou odporu a změnou teploty. Hojně používané jsou zejména senzory vyrobené z platiny. Lze ji použít v rozsahu od přibližně $-200\text{ }^{\circ}\text{C}$ do $+860\text{ }^{\circ}\text{C}$. Platinové senzory se vyrábí v několika základních provedeních, vždy s typickou hodnotou odporu při $0\text{ }^{\circ}\text{C}$. Standardem mezi nimi je senzor značený jako Pt100. Při teplotě $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ má odpor $100\ \Omega$ a citlivost $0.385\ \Omega/^{\circ}\text{C}$. Pokud je požadována vyšší citlivost, je možné použít senzor Pt1000.

Pro vyhodnocení dat ze senzorů je vhodné použít například můstkové zapojení, znázorněné na následujících obrázcích:



Obrázek 3.1. Můstkové zapojení (dvouvodičové)



Obrázek 3.2. Můstkové zapojení (třívodičové)

Tímto způsobem je měření odporu převedeno na měření napětí. Třívodičové zapojení je výhodné v tom, že kompenzuje vliv odporu přívodních kabelů. Další možností vyhodnocení jsou různá zapojení s operačním zesilovačem. Je možné také využít integrovaných senzorů pro vyhodnocení, jako je například integrovaný obvod firmy Maxim Integrated, typ MAX31865. Tento kompaktní obvod převádí odpor RTD senzoru na digitální signál.

Závislosti změny odporu na teplotě také využívají polovodičové senzory, jako jsou termistory. U nich je však závislost mezi teplotou a odporem značně nelineární a pro vyhodnocení je potřeba provést linearizaci průběhu. Tyto senzory lze k obvodu MAX31865

také připojit. Je pouze nutné zvolit hodnotu referenčního odporu tak, aby byla stejná jako je maximální hodnota odporu termistoru v požadovaném teplotním rozsahu.

■ 3.1.1.3 Sensory teploty s PN přechodem

Tyto senzory využívají teplotní závislosti napětí PN přechodu v propustném směru, který se řídí Shockleyovou rovnicí PN přechodu:

$$I_D = I_S(e^{\frac{U_D}{mU_T}}) - 1 \quad (2)$$

z které pro napětí v propustném směru plyne vztah:

$$U_D = mU_T \ln\left(\frac{I_D}{I_S} + 1\right) \quad (3)$$

kde: U_D - napětí na PN přechodu v propustném směru, I_S - saturační proud PN přechodu v závěrném směru, I_D - proud PN přechodu v propustném směru, m - rekombinační koeficient, U_T napětí dané vztahem $U_T = kT/e$, kde: k je Boltzmannova konstanta, e elementární náboj a T je teplota v kelvinech.

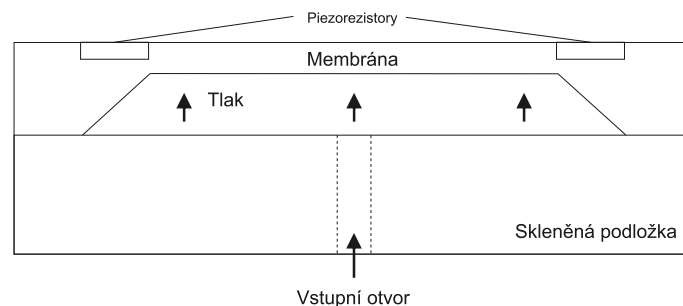
Na tomto principu je založena celá řada integrovaných senzorů pro měření teploty. Ve většině případů se však neuvádí pouze jednoduchého PN přechodu diody, ale jde o tranzistorové struktury, které mohou ještě obsahovat převodník z proudového výstupu na napěťový, případně převodník na některou z digitálních sběrnic, jako je I2C, SPI či 1-Wire. Hlavní výhodou je jejich snadné použití. Sensory s analogovým výstupem mají zisk v řádech desítek mV/°C a v závislosti na technologii daného senzoru může napětí v závislosti na teplotě klesat nebo růst. Vyhodnocení dat z těchto senzorů je možné přímo pomocí vhodného AD převodníku.

■ 3.1.2 Tlak

Senzory pro měření tlaku mohou pracovat na různých principech. Hlavní a v současnosti hojně používané jsou popsány v následující části práce.

■ 3.1.2.1 Piezodporové

U těchto senzorů je změnou tlaku vyvolána změna odporu vnitřní struktury senzoru. Základem této technologie je pružná křemíková membrána, do které jsou pomocí difuze nebo implantace vytvořeny piezodporové elementy. Membrána pak může být umístěna například na skleněnou podložku nebo v mikrometrové struktuře na křemíkovém substrátu. Model takovéto struktury je na následujícím obrázku:



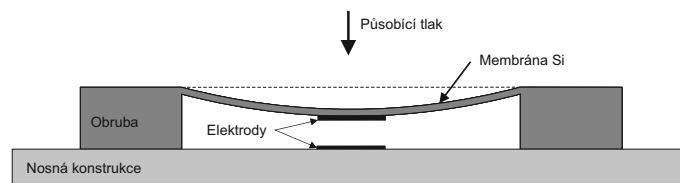
Obrázek 3.3. Struktura piezodporového senzoru tlaku, převzato z: [8]

Výhodou piezodporové struktury je její lineární převodní charakteristika. Pro správnou funkci je potřeba vhodným zapojením elektronických obvodů kompenzovat teplotní

závislost polovodičových piezorezistorů. Obvody pro teplotní kompenzaci a další podpůrné obvody bývají zpravidla integrovány spolu se samotným senzorem do jednoho pouzdra.[8] Příkladem tohoto řešení může být integrovaný senzor firmy STMicroelectronics, typ: LPS25HB. Tento obvod již přímo poskytuje digitální údaj o naměřeném tlaku na sběrnici SPI nebo I2C.

3.1.2.2 Kapacitní

Sensory jsou tvořeny strukturou podobnou deskovému kondenzátoru. Základem jsou dvě elektrody a dielektrikum, které je nejčastěji vzduchové. Jedna z elektrod je vyrobena jako pružná křemíková membrána potažená tenkou vrstvou hliníku. Druhá elektroda je tvořena také tenkou hliníkovou vrstvou, ta je ale v tomto případě nanášena na pevnou podložku. Působením tlaku na pružnou membránu je vyvolána změna kapacity v řádu jednotek až desítek pF. Ukázka struktury je na následujícím obrázku:



Obrázek 3.4. Struktura kapacitního senzoru tlaku, převzato z: [8]

Při integraci na čip se obvykle umísťují tyto kondenzátorové struktury dvě, jedna jako referenční a druhá jako měřicí. Takto vytvořená struktura je na čipu připojena k porovnávacím obvodům a tím jsou kompenzovány parazitní veličiny. Měřený tlak je převeden na elektrický signál.

Zástupcem této skupiny jsou například senzory od výrobce Infineon. Ty jsou vyráběny s analogovým (KP234) nebo digitálním (KP253) výstupem. Konkrétně u analogového senzoru KP234 je závislost výstupního tlaku řízena vztahem:

$$U_{OUT} = U_{DD}(aP + b) \quad (4)$$

kde: U_{OUT} - výstupní napětí, U_{DD} - napájecí napětí, $a = 0,009$ (zisk), $b = -0,095$ (offset) jsou konstanty získané kalibrací ve výrobě.

Tlak je měřen v rozsahu od 40 kPa do 115 kPa, tomu při napájení pěti volty odpovídá výstupní napětí $U_{OUT} = 1,325$ V pro spodní mez a $U_{OUT} = 4,7$ V pro horní mez. Citlivost je 45 mV/kPa. Vyhodnocení je možné přímo pomocí vhodného AD převodníku.

Senzor s digitálním výstupem je kompatibilní se sběrnici SPI a je možné jej přímo spojit s mikrokontrolerem.

3.1.3 Vlhkost

Dalším meteorologickým prvkem, který je možné pomocí elektronických senzorů sledovat je vlhkost, tedy množství vodní páry, která je v suchém vzduchu daného množství. Základní principy jsou podobné jako u senzorů barometrického tlaku, tedy kapacitní a odporový. Rozlišujeme dvě metody zobrazení výsledku měření vlhkosti a to buď absolutní:

$$AH = \frac{m}{V} \quad (5)$$

kde: AH - absolutní vlhkost, m - hmotnost vodní páry, V objem vlhkého vzduchu

a nebo relativní, která udává poměr mezi aktuálním tlakem páry ve vzduchu při určité teplotě a maximálního tlaku nasycené páry při stejné teplotě.

$$RH = \frac{P_w}{P_s} \quad (6)$$

kde: RH - relativní vlhkost, P_w - aktuální tlak, P_s - maximální tlak.

Dostupné integrované senzory většinou výsledky interpretují ve formě relativní vlhkosti. Mohou být analogové jako například senzor firmy Multicomp, typ: HCZ-D5-A. U tohoto senzoru odpovídá jeho impedance hodnotě relativní vlhkosti, převodní charakteristika je však závislá na teplotě. Pro správné vyhodnocení je potřeba zaznamenat i údaj o teplotě a podle doporučení v katalogovém listu, převést na údaj o relativní vlhkosti.[9] Další možností jsou integrované senzory, u nich je na jednom čipu umístěn samotný senzor spolu s obvody vyhodnocovací elektroniky a AD převodník, většina z nich také obsahuje integrovaný senzor teploty. Příkladem může být senzor s výstupem na sběrnici I2C, případně SPI od firmy Honeywell, řady: HIH6000. Výstupem je 14ti bitová hodnota, odpovídající relativní vlhkosti a 14ti bitová hodnota odpovídající teplotě.[10]

■ 3.1.4 Směr a rychlost větru

Pro určení směru a rychlosti větru je potřeba tuto „mechanickou“ veličinu převést na elektrickou. Jednoduchým a dostupným řešením je převod pomocí miskového anemometru. Ten pracuje tak, že ve statoru je umístěn magnetický kontakt a v rotoru magnet. Působením větru je rotor uveden do pohybu a periodicky spíná a rozepíná magnetický kontakt. Počet pulzů za vteřinu pak odpovídá rychlosti větru [11]. U miskových anemometrů je také možné jazýčkový kontakt nahradit například Hallovým senzorem. Toto řešení je velice levné a jednoduché, hlavním nedostatkem je pomalá reakce na náhlé změny rychlosti a směru větru. Při delším používání také dochází k opotřebení mechanických částí a nejde s jejich pomocí určovat směr větru. Pro určení rychlosti a směru větru zároveň je možné využít rezonanční ultrazvukové anemometry, u nichž není převod mechanický, proto odpadá jejich opotřebení. Na druhou stranu jsou několikanásobně dražší. Výše zmíněné anemometry jsou na trhu dostupné, většinou s analogovým výstupem, nebo jsou kompatibilní s některou z průmyslových sběrnic, jako je proudová smyčka, nebo napěťový výstup 0-10 V.

U senzorů směru větru lze princip s magnetickým spínačem také využít. Například senzor podle [11] je zkonstruován z šesti magnetických kontaktů, ke každému z nich je v sérii zařazen rezistor. V závislosti na tom, jaký kontakt je sepnut, je mezi výstupní svorky připojen odpovídající rezistor. Vyhodnocení můžeme realizovat například zapojením této struktury do odporového děliče.

3.1.5 Množství srážek

Množství spadných srážek se nejčastěji měří srážkoměrem, ten může vypadat podobně jako na obrázku:



Obrázek 3.5. příklad provedení srážkoměru, převzato z: <https://www.bc-robotics.com/wp-content/uploads/2015/12/weather3.jpg>

Vnitřní část senzoru obsahuje „misku“, do které přitéká voda otvorem z vnější části. Po jejím naplnění určitým množstvím vody dojde k překlopení a je sepnut magnetický kontakt. Každé sepnutí odpovídá 0,2794 mm spadných srážek. Vyhodnocení je tedy velice snadné, stačí pouze snímat spínání kontaktu a na základě převodní charakteristiky vypočítat množství spadlých srážek.

3.2 Senzory pro měření ostatních parametrů prostředí

Problematika parametrů prostředí je velice rozsáhlá a v ovzduší najdeme velké množství látek, které jsou pro zdraví lidí nebezpečné. Většina z nich se však vyskytuje v poměrně malých koncentracích a ne všechny lze monitorovat elektronickými senzory. Parametry, které je možné snadno elektrickými senzory monitorovat, jsou například koncentrace oxidu uhelnatého, oxidu uhličitého a ozonu. Tyto senzory většinou v sobě obsahují tenkou vrstvu, která reaguje s daným plynem a v závislosti na jeho koncentraci mění svůj vnitřní odpor. Jsou však zpravidla určeny pro měření v interiéru, protože pro správné měření je nutné zabezpečit stabilní teplotu a vlhkost. Zástupci těchto senzorů jsou například MQ-135, detekující různé plyny jako NH₃ NO_x, alkohol, benzen, kouř a CO₂. Pro měření koncentrací oxidu uhelnatého je pak určen například senzor MQ-7. Pro vyhodnocení se většinou senzor zapojí do odporového děliče, a měříme analogové napětí. Poměrem mezi odporem senzoru a druhého odporu v obvodu děliče určíme citlivost senzoru na snímáný plyn, tak jak je doporučeno v katalogovém listu.[12]

Dalším parametrem, který je možné měřit, jsou například koncentrace prachových částic. Pro toto měření existuje několik senzorů, které jsou vesměs všechny založeny na principu optického snímání prachových částic. V senzoru je umístěna infračervená dioda a detektor, který detekuje záření, které je odraženo od prachových částic. Jsou vyráběny v různých provedeních a detekují částice od rozměru 1 μm do asi 20 μm , v závislosti na druhu senzoru.[13]

Kapitola 4

Možnosti přenosu a zobrazení dat

Pokud pro komunikaci mezi zařízením a serverem využíváme síť GSM, je nutné použít speciální mobilní tarif, určený k tomuto druhu komunikace. Jedná se o tarify M2M, z anglického spojení Machine to Machine. Tyto tarify v České republice nabízí všichni tři velcí poskytovatelé mobilních služeb. T-mobile poskytuje tři tarify, nejnižší, který je bez jakýchkoli volných jednotek pro textové zprávy, volání a internet. Vyšší tarif uživateli poskytne již volné jednotky pro volání a textové zprávy, nicméně využití internetu je zpoplatněno. Další tarif je více zaměřen na využívání dat, zde máme možnost pořídit až 500MB volných jednotek za měsíc. V závislosti na velikosti datového limitu se odvíjí cena tarifu. Konkurenční O2 má cenově přívětivější tarify a to konkrétně dva druhy. Jeden je určen pro volání a SMS, je vhodný spíše pro aplikace, kdy potřebujeme odesílat příkazy do zařízení, tedy například pro ovládání vytápění, spotřebičů, alarmů a podobně. Druhý typ tarifu je více zaměřen na datový provoz, zde se ceny liší v závislosti na tom, kolik dat potřebujeme odeslat nebo přijmout. V následující tabulce jsou uvedeny aktuální ceny tarifů, které jsou dostupné na webu poskytovatele:

T- Mobile		
tarif	Kč/měsíc	výhody
M2M mini	15	-
M2M	99	5 volných minut, 30 volných SMS do T-Mobile
M2M premium	100	50 MB dat
	250	200 MB dat
	500	500 MB dat
data nad limit	0,02 Kč / KB	
O2		
Machine	19	-
Machine 1MB	46	1 MB dat
Machine 5MB	60	5 MB dat
Machine 10MB	71	10 MB dat
data nad limit	0,04 Kč / KB	

Tabulka 4.1. Porovnání tarifů M2, převzato z: www.t-mobile.cz/podnikatele/internet/m2m/m2m-tarify a www.o2.cz/osobni/machine-tarify

U tarifů, které nemají žádné volné datové balíčky, jsou data účtována jako nadlimitní, tedy 0,02 Kč / KB pro T-mobile a 0,04 Kč / KB pro O2.

Třetí z velkých poskytovatelů, tedy Vodafone, nabízí také tyto tarify. Jejich nabídka je však individuální a není veřejně dohledatelná.

Důležitou součástí řešení práce je ukládání a zobrazení naměřených dat na webu. Rozhodl jsem se využít některou z dostupných „cloud“ platforem, kterých můžeme najít celou řadu. Významné internetové společnosti, jako je Google, Microsoft nebo Amazon, nabízí platformu pro uchovávání dat z IOT zařízení. Komunikace mezi serverem

a zařízením probíhá pomocí HTTP příkazů. Výhodou je zabezpečené připojení, možnost naprogramovat si vlastní prostředí pro zobrazení dat. Tyto platformy jsou však směřovány spíše na velké společnosti a implementace vlastního řešení na tyto služby je poměrně složitá a vyplatí se při konstruování projektů, kde budeme spravovat více zařízení. Najdeme však i uživatelsky přívětivější řešení, jako nabízí třeba společnost Hologram.

Tato platforma má tři hlavní části. První z nich je mezinárodní SIM karta v ceně 5 USD s některým ze tří M2M tarifů, nabízen je základní, který není nijak zpoplatněn, ale umožňuje na server odeslat pouze 1MB dat za jeden měsíc. Následuje tarif s názvem Pay-AS-You-Go, u tohoto tarifu je každý odeslaný megabajt dat zpoplatněn a ještě je nutné zaplatit pravidelný měsíční poplatek za tento tarif. Poslední z možností je tarif „Monthly“, u kterého si zákazník na každý měsíc předplatí určitý objem dat. Další částí platformy je server pro odesílání a správu dat. Každá SIM karta má na sobě vytištěné unikátní identifikační číslo, které je při první registraci do platformy nutné zadat a slouží jako identifikátor daného zařízení. Data ze zařízení lze na server odeslat pomocí HTTP příkazů, textových zpráv, případně dalších možností, tak jak je popsáno v manuálu. Další částí řešení je zobrazení dat, k tomu můžeme využít přímo stránek výrobce a naprogramovat si zde stránku pro zobrazení dat. Další z možností interpretace je odeslání dat na server třetí strany a až na něm data zobrazit. Vybírat můžeme také z možností jako je přeposílání dat na email, případně zobrazení na mobilním telefonu za pomoci textové zprávy. Na webu poskytovatele je dostupný podrobný návod s konkrétními příklady řešení, a dále jsou také nabízena různá HW řešení modemů, které je také možné zakoupit.[14]

Dále můžeme najít řešení, která jsou založena na konkrétním hardware, který poskytují dané společnosti. Jde například o řešení firmy Particle. Ta nabízí dva moduly, jeden pro síť GSM a druhý pro WiFi. S těmito zařízeními je pak možné se připojovat k Particle cloudu. Zde můžeme data spravovat, případně odesílat k zobrazení, například na server ThingSpeak. Nevýhodou je poměrně nepřehledný web a návody.

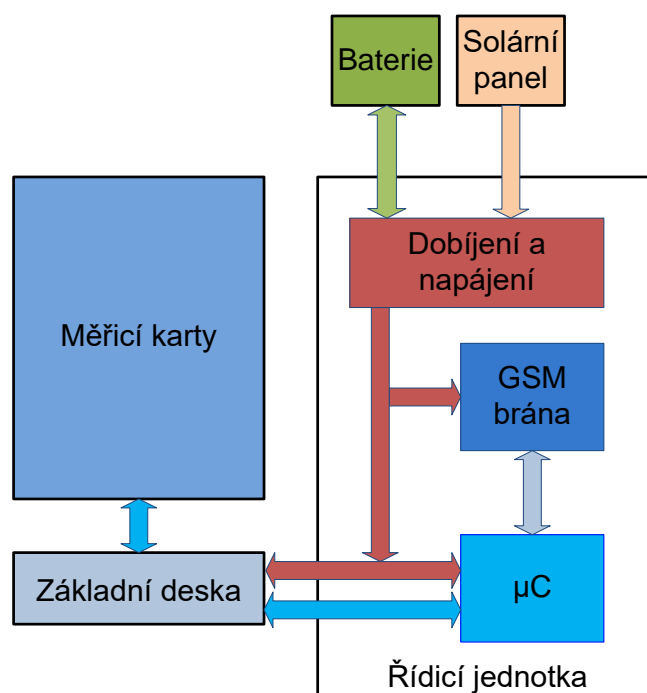
Výrobce GSM modulů firma Telit nabízí jako podporu ke svým produktům platformu deviceWISE. Výhodou tohoto řešení je možnost zobrazení dat přímo na tomto IoT portálu. Máme zde možnost využít předdefinovanou knihovnu ukazatelů, případně je možné si naprogramovat vlastní ukazatel. Odesílání dat na sever je možné pomocí HTTP příkazů nebo MQTT zpráv. Výhodou je podrobný a přehledný návod dostupný na webu poskytovatele. Dále máme možnost zakoupit SIM kartu s tarifem, který podporuje M2M přenosy. U karet máme k dispozici několika tarifů, v závislosti na tom, kolik dat každý měsíc budeme využívat.

Implementačně jednoduché, nicméně dobře funkční řešení je cloud dweet.io. Na něj pouze jednoduchým příkazem HTTP odešleme naměřená data v jednoduchém tvaru, který také obsahuje identifikaci zařízení, ze kterého jsou data odesílána. Platforma je zcela bezplatně přístupná, zpoplatněné jsou pouze další dodatečné služby, jako je uchování naměřených dat po dobu 30 dní a podobně. Data, která na server ze zařízení odešleme, můžeme zobrazit na serveru freeboard.io. Zde si vytvoříme vlastní pracovní plochu, na kterou můžeme umísťovat ukazatele z dostupné knihovny případně si vytvořit vlastní. Jako zdroj si vybereme data ze serveru dweet.io, zadáme identifikační číslo zařízení a můžeme data zobrazit. Další výhodou je možnost sdílení této plochy pro veřejnost, čímž je zpřístupněna pro kohokoli odkudkoli.

Kapitola 5

Konstrukce

Z cílů práce plyne pro konstrukci systému hned několik požadavků, které musí být při návrhu zohledněny, tedy univerzálnost systému, odesílání dat na server pomocí sítě GSM, umístění do vhodné konstrukční krabice tak, aby byl splněn požadavek na vodotěsnost. Na základě těchto požadavků byl vytvořen koncept systému, který je znázorněn na následujícím blokovém schématu:



Obrázek 5.1. Blokové schéma systému

V následující části práce jsou podrobně popsány postupy při návrhu jednotlivých bloků včetně obslužných programů a mechanického umístění do konstrukční krabice.

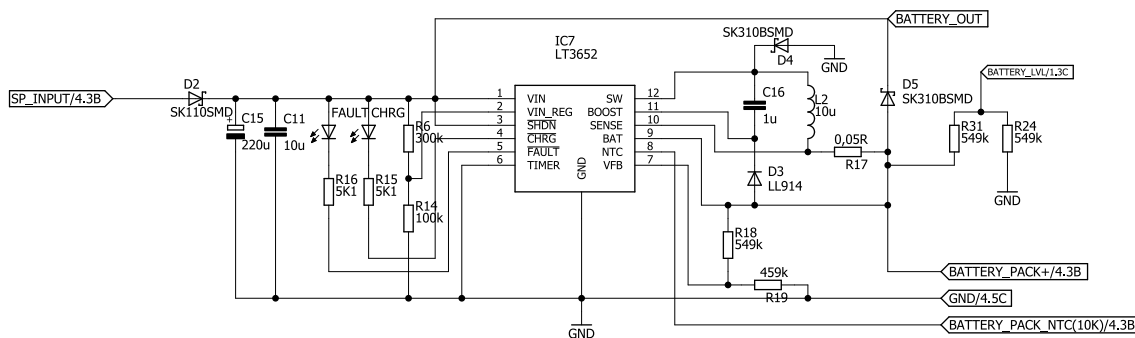
5.1 Řídicí jednotka

Největším blokem zařízení je řídicí jednotka, zabezpečuje hned několik úkolů. Sbírá data z měřicích karet, která ve vhodném tvaru odesílá na vzdálený server k dalšímu zpracování. Je na ní umístěn nabíjecí obvod a napájení, jak pro samotnou řídicí jednotku, tak pro měřicí karty. V této kapitole budou rozebrány její jednotlivé části.

5.1.1 Napájení

Navrhované zařízení je primárně určeno pro provoz bez přítomnosti síťového napájení, hlavní zdroj energie tvoří baterie. Zařízení je navrženo tak, aby bylo možné v případě

potřeby baterie dobíjet. O nabíjení baterií se stará integrovaný nabíječ firmy Linear Technology, typ: LT3652. Tento integrovaný obvod je vhodný pro aplikace se solárními panely a umožňuje připojit bateriové články $LiFePO_4$, $Li - Ion$, Li-Pol a olověné akumulátory. Poskytuje nabíjecí charakteristiku s konstantním napětím / konstantním proudem. Vstupní napětí se může pohybovat v rozmezí od 4,95 V do 32 V. Použité schéma zapojení je na následujícím obrázku:



Obrázek 5.2. Schéma zapojení nabíječe

Diodou D2 teče do obvodu vstupní proud ze solárního panelu (12 V/3 W). Integrovaný obvod na vstupu obsahuje regulační smyčku, která umožňuje omezit nabíjecí proud v případě, kdy vstupní napětí klesne pod určitou mez. Limit, při němž dojde k omezení proudu, je nastaven pomocí odporového děliče mezi piny „VIN“ a „VIN_REG“. Pomocí vztahu z katalogového listu[15] je vypočtena hodnota těchto rezistorů:

$$\frac{R6}{R14} = \frac{U_{IN(MIN)}}{2,7} - 1 \quad (1)$$

Jelikož obvod pracuje jako snižující měnič, je pro jeho správnou funkci nutné zabezpečit, aby vstupní napětí bylo o 3,3 V vyšší než je nastavená hodnota nabíjecího napětí. Doporučené nabíjecí napětí pro plně nabití článku $LiFePO_4$ odpovídá hodnotě 7,2 V, tedy mez pro vstupní napětí musí být minimálně 10,5 V. Hodnoty rezistoru byly stanoveny na $R6 = 300 \text{ k}\Omega$ a $R14 = 100 \text{ k}\Omega$. Tomu odpovídá reálně limit vstupního napětí 10,8 V.

Na vstupní části obvodu jsou ještě připojeny kondenzátory C15 a C11, které slouží pro filtraci vstupního napětí. Dále dvě signalizační diody „FAULT“ a „CHRG“, které udávají stav nabíječe, tak jak je popsáno v následující tabulce:

Signalizační diody		Stav nabíječe
CHRG	FAULT	
OFF	OFF	Nenabíjí se - režim StBy
OFF	ON	Špatná baterie
ON	OFF	Normální nabíjení
ON	ON	Přehřátí baterie

Tabulka 5.1. Význam signalizačních diod obvodu LT3652, převzato z [15].

Výstupní část obvodu obsahuje mezi piny „BAT“ a „VFB“ rezistorovou síť, kterou je nastaveno nabíjecí napětí baterie. Pro nižší hodnoty nabíjecího napětí je nutné využít tří rezistorové sítě. V našem případě je však možné využít jednodušší dvou rezistorové

zapojení, tak jak je uvedeno ve schématu zapojení 5.2. Pro výpočet jejich hodnot je v katalogovém listu [15] uvedena soustava rovnic:

$$R18 = \frac{U_{BAT} \times 2.5 \times 10^5}{3.3} \quad (2)$$

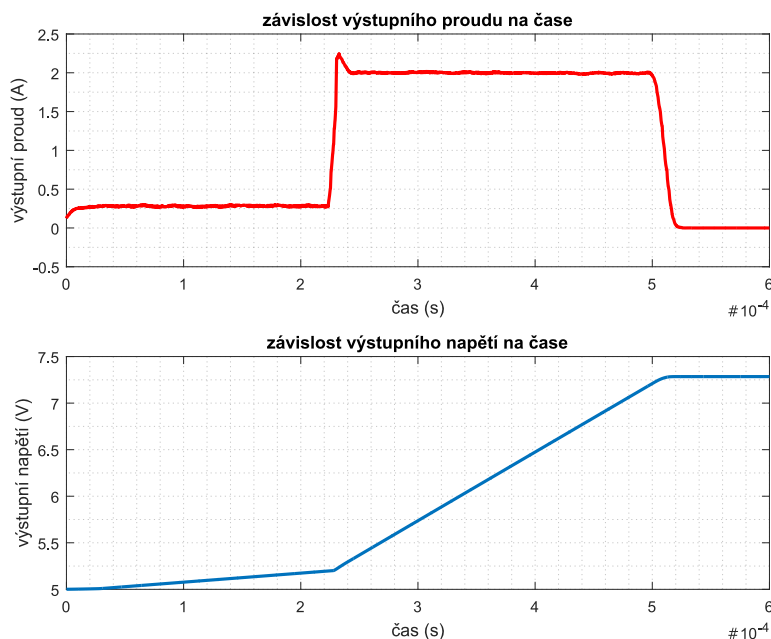
$$R19 = \frac{R18 \times (2.5 \times 10^5)}{R18 - (2.5 \times 10^5)} \quad (3)$$

Z těchto rovnic plynou hodnoty odporu pro $R18 \approx 546 \text{ k}\Omega$ a $R14 \approx 461 \text{ k}\Omega$. Tyto rezistory však nejsou dostupné jako reálné součástky v SMD pouzdře 0805, proto byly nahrazeny hodnotami $R18 = 549 \text{ k}\Omega$ a $R14 = 459 \text{ k}\Omega$, tímto se dopustíme chyby výstupního napětí pod jedno procento.

Dále je nutné pomocí rezistoru R17 nastavit maximální nabíjecí proud, ten byl stanoven na maximum, tedy 2 A, tomu odpovídá hodnota rezistoru $R17 = 0,05 \Omega$.

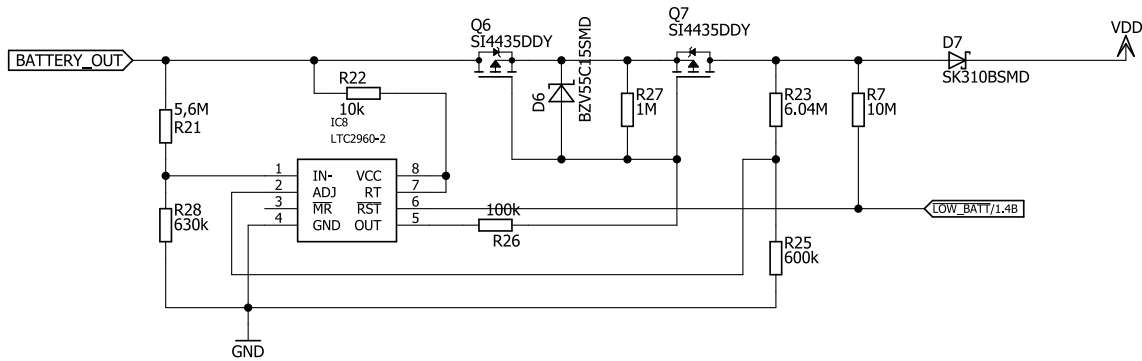
Pro řízení vnitřního spínacího tranzistoru je nutné zabezpečit dostatečné napájení, k tomu slouží nábojová pumpa typu Bootstrap, ke které náleží komponenty D4, C16, L2 a D3, tak jak je doporučeno v typickém zapojení z katalogového listu.

Zapojení je ještě doplněno o odporový dělič, tvořený rezistory R31 a R24. Výstupní napětí z děliče je pak přivedeno k analogově digitálnímu převodníku mikrokontroleru a slouží pro monitorování napětí na baterii. Samotné baterie jsou spolu s termočlánkem, monitorujícím její teplotu, připojeny na konektor X3, který je umístěn na čtvrtém listu schématu základní desky (viz přílohy E) a odkazují na něj vývody: „BATTERY_PACK+“ „BATTERY_PACK+_NTC(10K)“ a „GND“. Výsledné schéma zapojení bylo simulováno pomocí programu LTspice, verze: XVII. Simulovaná data byla následně zpracována v programu MATLAB. Výsledkem je časová analýza proudu tečoucího rezistorem R17 (červený průběh) a nabíjecího napětí (modrý průběh):



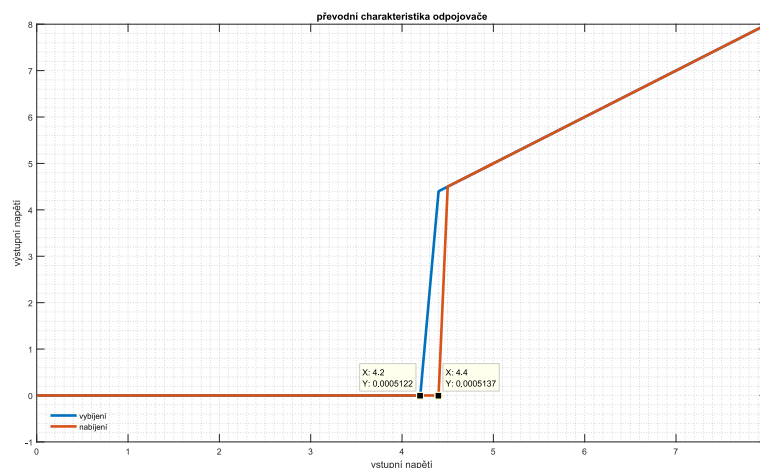
Obrázek 5.3. Časová analýza nabíjecího napětí a proudu nabíječe

Nabíječ baterií je ještě doplněn obvodem firmy Linear Technology, typ: LTC2960-2. Ten sleduje napětí na baterii, a v závislosti na jeho hodnotě je schopen ji odpojit od zátěže. Toto opatření je důležité z hlediska životnosti baterie, pokud ji totiž nadměrně vybíjíme, může za krátkou dobu dojít ke ztrátě kapacity, případně k úplnému zničení. Schéma zapojení vychází z typického zapojení z katalogového listu [16] a je na následujícím obrázku:



Obrázek 5.4. Schéma zapojení odpojovače, převzato z:[16]

Baterie je připojena mezi svorku GND a „BATTERY_OUT“, přes dva tranzistory PMOS Q6 a Q7 teče z baterie proud do zátěže. Tyto tranzistory jsou ovládány z výstupu (OUT) integrovaného obvodu LTC2960. Pomocí odporových děličů R21,R28 a R23,R25 je nastaveno napětí, při kterém dojde k odpojení zátěže od baterie. Pro článek $LiFePO_4$ je stanovena mez vybití na 2 V na jeden článek. Odpojovací napětí je proto nastaveno tak, že při vybíjení akumulátoru dojde při poklesu napětí pod 4.2 V k jeho odpojení. Pokud při nabíjení stoupne napětí na baterii nad hodnotu 4,4 V, dojde k opětovnému připojení. Chování zapojení bylo simulováno pomocí programu LTspice, verze: XVII, simulovaná data byla následně zpracována v programu MATLAB. Konkrétně byla simulována převodní charakteristika, tedy závislost výstupního napětí na vstupním. Výsledky simulace jsou na následujícím obrázku:



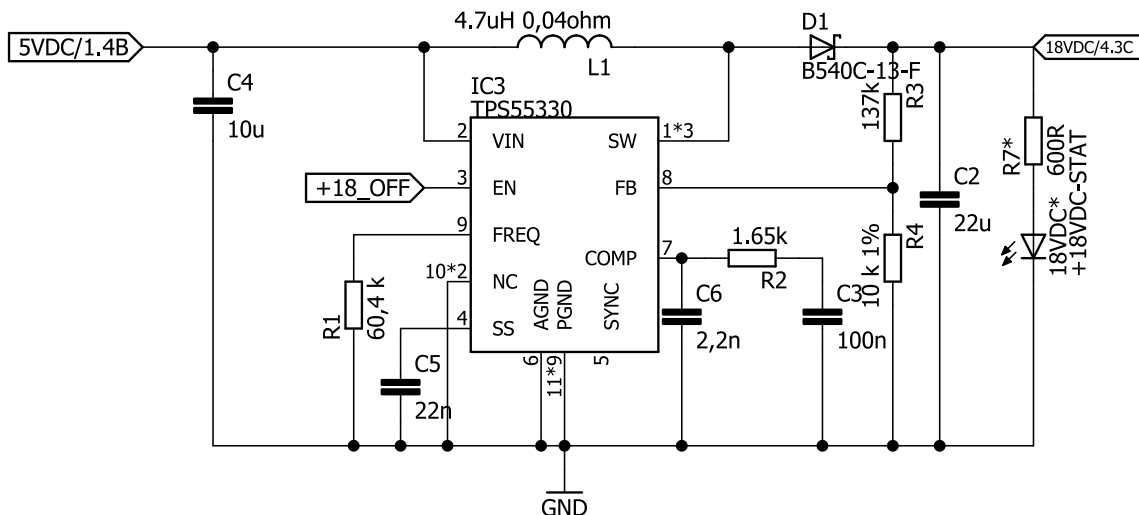
Obrázek 5.5. Převodní charakteristika při vybíjení

Z odpojovače baterie vede napájení již k integrovaným stabilizátorům napětí. K zařízení bude možné připojit několik měřicích karet, pro ně je potřeba zabezpečit potřebné napájecí napětí. Hlavním napájecím napětím pro mikrokontrolery tvoří integrovaný stabilizátor LM7805 s výstupním napětím 5 V. K němu jsou zapojeny další tři napájecí větve.

Jedna větev je potřebná pro napájení GSM brány. Ta pro svou správnou funkci potřebuje napájecí napětí v rozsahu od 3,4 V do 4,4 V s tím, že podle katalogového listu je optimální modul napájet 4 V. O toto napájení se stará obvod MCP1826T-ADJ, což je opět jednoduchý lineární stabilizátor napětí s nízkým zvlněním výstupního napětí, u kterého lze pomocí odporového děliče nastavit hodnotu výstupního napětí. Na základní desce je použité typové zapojení z katalogového listu obvodu a hodnota výstupního napětí je nastavena na 4,01 V.

Obdobné zapojení s obvodem MCP1826T-ADJ je použité i pro další napájecí větev. U té je odporovým děličem nastavena hodnota výstupního napětí na 3,34 V. U obou těchto napájecích větví jsou pro testování osazeny ještě signalizační diody.

Poslední napájecí část je tvořena zvyšujícím měničem firmy Texas Instruments, typ: TPS55330. Pomocí něj je vytvářeno napětí 18V. Návrh měniče byl proveden pomocí webového návrhového softwaru společnosti Texas Instruments webench. Zapojení je na následujícím obrázku:



Obrázek 5.6. Schéma zapojení zvyšujícího měniče

Pomocí rezistorů R3 a R4 je nastaveno výstupní napětí na 18 V. Kondenzátory C4 a C2 plní funkci filtrace vstupního, respektive výstupního napětí. Cívka L1 a dioda D1 je potřeba pro správnou funkci nábojové pumpy v obvodu, a musí být vhodně dimenzovány v závislosti na potřebném výstupním proudu. Dále je na výstupu ještě umístěna signalizační dioda.

Všechny výše zmíněné napájecí větve, kromě té hlavní (5 V), je možné vypínat v závislosti na tom, jaké jsou přítomné měřicí karty. Případně pouze v době, kdy je potřeba odečítat data ze senzorů. K vypínání slouží jednoduché zapojení s tranzistorem MOS jako spínačem, přičemž hradlo tranzistoru je řízeno z výstupních pinů mikrokontroleru. Kompletní zapojení integrovaných stabilizátorů je uvedeno v příloze C.

Pro vstup napájení jsou na základní desce umístěny tři konektory s ESD ochranou. Konkrétně X2 pro připojení solárního panelu, X3 pro připojení baterie a poslední X1 pro připojení externího napájecího zdroje, viz příloha E. Pomocí dvou zkratovacích propojek můžeme volit, jaký zdroj napájecího napětí budeme používat. Jsou ve dvou úrovních, první tvoří propojka JP1. Ta je umístěna před nabíječem a druhá propojka JP2 je umístěna až za odpojovačem baterie. Význam propojení je v následující tabulce:

propojka	kontakt	význam
JP1	1-2	nabíjení z externího zdroje
	2-3	nabíjení ze solárního panelu
JP2	1-2	napájení z externího zdroje
	2-3	napájení z baterii

Tabulka 5.2. Význam zkratovacích propojek

■ 5.1.2 Mikrokontroler

Zpracování dat, komunikaci, a správu všech zbylých částí systému zabezpečuje mikrokontroler firmy Microchip, typ: PIC18F45K22. V pouzdře pro povrchovou montáž se 44 piny. Tento čip byl zvolen z důvodu předchozí zkušenosti s ním a také nízké ceně. Dalším kladem je dostupné velké množství vnitřních periférií, které jsou pro toto konkrétní řešení potřebné.

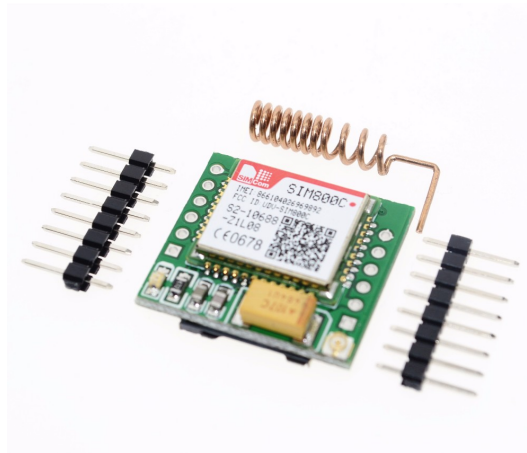
Pro sběr dat z měřicích karet bude využito periférie MSSP, ta může pracovat ve dvou režimech, buď SPI, nebo I2C, a u obou jako master nebo slave. Tyto periférie jsou v mikrokontroleru dvě, využita je pouze jedna. Z těchto dvou dostupných sběrnic pro komunikaci mezi integrovanými obvody na desce plošných spojů jsem pro své řešení zvolil sběrnici I2C. U ní totiž na rozdíl od SPI neroste počet potřebných portů mikrokontroleru s počtem připojených podružných obvodů. Jsou potřeba pouze dva vývody, jeden pro hodiny „SCL“, generovaný hlavním obvodem a jeden pro obousměrný přenos dat „SDI“. Adresace podružných zařízení pak probíhá v rámci komunikačního rámce. U řídicí jednotky je tedy modul MSSP nastaven do režimu I2C a bude pracovat jako hlavní obvod, tedy Master. Příslušné vývody („SCL“ a „SDI“) jsou přivedeny na konektor X5.

Pro komunikaci mezi mikrokontrolerem a GSM modulem je využito sběrnice, respektive vnitřní periférie USART. Komunikace probíhá pomocí standardních AT příkazů, tak jak je popsáno v manuálu ke GSM modulu. Kromě těchto dvou periférií jsou dále využity standardní vstupně výstupní brány pro zapínání a vypínání jednotlivých částí napájecího zdroje a také jsou přivedeny k jednotlivým slotům měřicích karet, kde je lze v případě potřeby využít. Pomocí vnitřního dvanácti bitového analogově digitálního převodníku je měřeno napětí na baterii. [17] Kompletní schéma zapojení části mikrokontroleru je umístěno v příloze: B

■ 5.1.3 GSM brána

Jako modul pro komunikaci přes síť GSM byl vybrán modul firmy SimCom, typ: SIM800C. Je to totiž jeden z nejdostupnějších komunikačních modulů na internetu za velice příznivou cenu. Můžeme ho najít hned v několika variantách, buď jako samostatný modul bez dalšího hardware, a nebo jako již hotový blok. Hotové bloky jsou dostupné v několika variantách, buď jednodušší pouze s minimem dalších součástí, nebo sofistikovanější, které obsahují například konektory pro připojení mikrofonu, reproduktoru a podobně. Výhodou těchto hotových bloků je konektor pro anténu. U něj je při návrhu potřeba dodržet přesných pokynů pro návrh, aby bylo zabezpečeno správné impedanční

přizpůsobení. Do výrobku jsem se rozhodl zakoupit nejjednodušší verzi hotové brány s co nejmenším počtem dalších součástek.



Obrázek 5.7. Obrázek GSM modulu SIM800C, převzato z: https://ae01.alicdn.com/kf/HTB11ep80FXXXadXVXXq6xXFXXW/Smallest-SIM800C-GPRS-GSM-Module-MicroSIM-Card-Core-Board-Quad-band-TTL-Serial-Port-Compatible-SIM800L.jpg_640x640.jpg

Tento modul obsahuje pouze konektor pro připojení SIM karty (umístěn zespodu) kondenzátory pro blokování napájení, rezistory, signalizační LED diodu a konektor pro připojení antény. Se základní deskou je propojen pomocí lišty s kontakty na straně modulu a zásuvné lišty na straně základní desky.

Na základní desce bylo nutné ještě přizpůsobit logické úrovně. Modul totiž pracuje s nižšími napěťovými úrovněmi pro jednotlivé logické stavy, tak jak je uvedeno v následující tabulce:

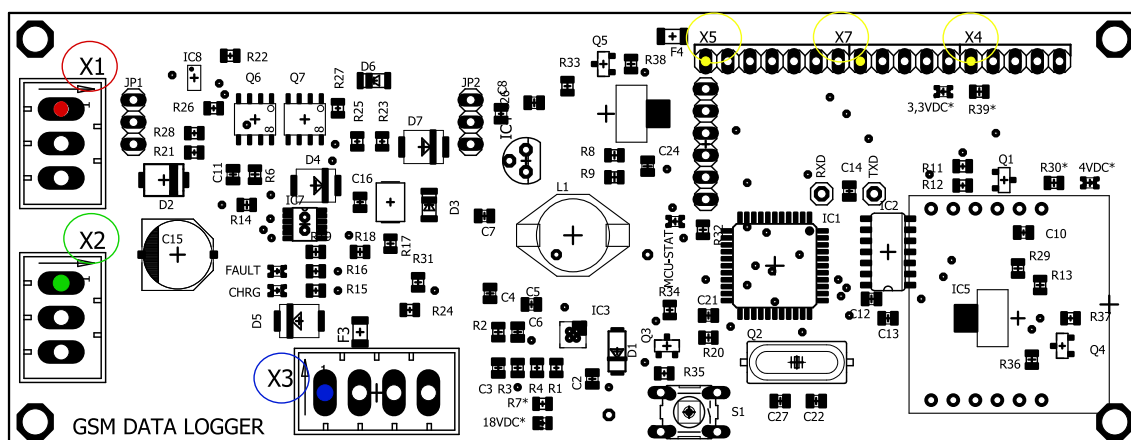
směr	logická úroveň	MAX	MIN
vstup	1	-0.3 V	0.7 V
	0	2.1 V	3.0 V
výstup	1	-	0.4 V
	0	2.4 V	-

Tabulka 5.3. Napěťové úrovně logických stavů GSM modulu, převzato z: [18]

Převod z úrovní v tabulce na standardní úrovně TTL zabezpečuje převodník logických úrovní firmy Texas Instrument TXB0104. Obvod je rozdělen na dvě části, mezi kterými je proveden převod úrovní. Obě tyto části obsahují čtyři vstupně výstupní porty. Jedna část je napájena napájecím napětím dané periferie a druhá polovina napájením mikrokontroleru. V závislosti na rozdílných velikostech těchto napájecích napětí je rozdílná také napěťová úroveň logické jedničky a nuly na příslušné části obvodu. Určení, zda jde o vstupní nebo výstupní port, zabezpečuje samotný obvod. [19]

5.1.4 Konektory

Základní deska je osazena několika konektory, tak jak je patrné z následujícího obrázku:



Obrázek 5.8. Osazovací výkres řídicí jednotky

Konektor **X1** je určen pro vstup externího napájecího napětí v rozsahu 10.8 V - 32 V a je jištěn SMD pojistkou, dimenzovanou na proud 2 A. Další konektor pro vstup napájení je označen jako **X2**. K němu je možné připojit solární panel s minimálním nominálním výstupním napětím 12 V a je opět jištěn pojistkou 2 A. Baterie se připojuje ke konektoru **X3**. Příslušnou barvou je u všech konektorů označen pin číslo jedna a jejich zapojení je v následující tabulce:

Pin	Význam
X1	
1, 3	Zem
2	Vstup externího zdroje 10 V až 32 V
X2	
1, 3	Zem
2	Vstup solárního panelu 10 V až 32 V
X3	
1, 4	Zem
2	Vstup baterie
3	Vstup NTC termistoru

Tabulka 5.4. Zapojení napájecích konektorů

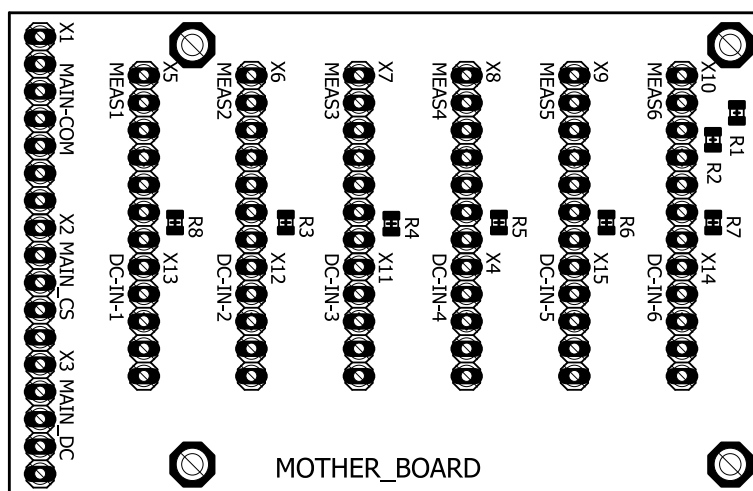
Dále jsou zde konektory **X5**, **X7** a **X4**, které jsou spojeny k sobě a tvoří jeden konektor určený pro propojení se základní deskou. Konektorem **X4** se k nim přivádí napájecí napětí, **X5** je určen pro komunikaci a **X7** je určen pro obecné IO piny. Fyzicky je konektor tvořen 17-ti pinovou lištou s kontakty zahnutými o 90°. Popis je v následující tabulce:

Pin	Význam
X4	
1, 5	Zem
2	Napájecí napětí 5 V
3	Napájecí napětí 3,3 V
4	Napájecí napětí 18 V
X5	
1, 4, 7	Zem
2	I2C hodiny
3	I2C data
5, 6	SPI data
X7	
1-5	obecné IO piny

Tabulka 5.5. Zapojení konektorů k měřicím kartám

5.2 Základní deska

Měřicí karty nejsou připojeny k řídicí jednotce přímo. Toto propojení zprostředkovává základní deska. Osazovací výkres je na následujícím obrázku:



Obrázek 5.9. Osazovací výkres základní desky

Jde pouze o jednoduchou propojovací desku, na které jsou umístěny konektory pro propojení s řídicí jednotkou (X1, X2 a X3), tvořeny dutinkovou lištou se 17-ti zahnutými piny o 90°. Dále jsou zde konektory (X4 - X15), tvořeny přímou dutinkovou lištou s 12-ti piny, do které se připojují měřicí karty. Kromě konektorů jsou zde ještě umístěny Pull-Up rezistory, příslušné ke sběrnici I2C a také k obecným IO pinům. Hlavním důvodem použití tohoto řešení je snadná rozšiřitelnost celého systému. Pokud bude potřeba umístit do zařízení větší množství měřicích karet, stačí pouze vyměnit základní desku za větší bez nutnosti zásahu do obslužného programu v řídicí jednotce.

5.3 Měřicí karty

V rámci této práce bylo vytvořeno několik měřicích karet pro různé druhy senzorů. V této kapitole budou v úvodu popsány základní principy společné pro všechny karty a následně bude ke každé z nich uveden podrobnější popis.

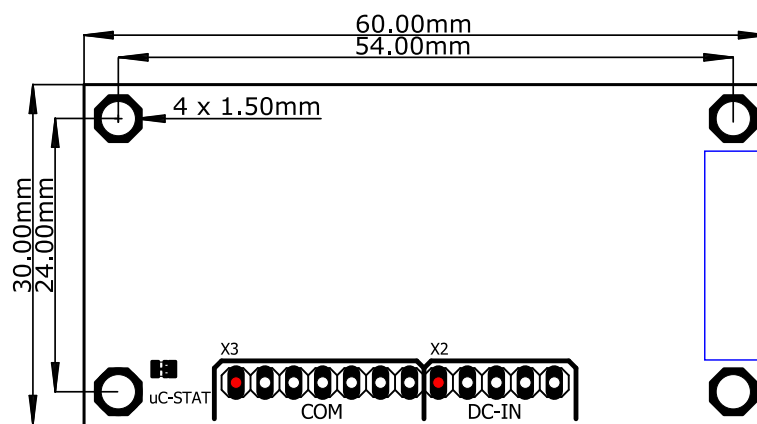
Při návrhu celého zařízení byl kladen důraz na univerzálnost, proto je řešení rozděleno na menší problémy, které jsou řešeny samostatně. To znamená, že řídicí jednotka se stará pouze o příjem dat z měřicích karet a jejich odesílání na server. Jednotlivé karty pak samy zpracovávají tu veličinu, pro kterou byly navrženy. Na každé z karet bylo tedy nutné umístit mikrokontroler, který zabezpečí zpracování naměřené veličiny, převod do vhodného tvaru a odeslání po sběrnici I2C směrem k řídicí jednotce. Při výběru jsem se zaměřil na portfolio firmy Microchip, konkrétně na nabídku 8-bitových mikrokontrolerů řady PIC. Na webu výrobce je dostupný parametrický vyhledávač ¹, který na základě požadovaných parametrů porovná nabídku výrobce. Hlavním parametrem byla přítomnost periférií MSSP (Modul I2C), A/D převodníku a čítače. Z důvodu úspory místa pak bylo nutné vybrat pouzdro s 14 nebo 20 piny. Jelikož tento mikropočítač bude obsažen v každé z měřicích karet, bylo z důvodu zlevnění návrhu přihlédnuto také k ceně. Z tohoto výběru jsem zvolil mikrokontroler PIC16F1503. Není sice z celé nabídky nejlevnější, ale byl vybrán z ohledem na to, že je možné do něj nahrát obslužný program pomocí staršího programátoru pro mikrokontrolery PIC, typ: PIC-Kit2, který jsem v dřívější době zakoupil.

K mikrokontroleru je připojena externí paměť EEPROM. Do té je předem uloženo, jaký konkrétní senzor je ke kartě připojen a konstanty nutné pro převod digitálních dat na hodnotu měřené veličiny. Na začátku podprogramu budou tato data načtena a na jejich základě dojde ke správnému vyhodnocení. Tímto je docíleno dalšího stupně volnosti v možnostech volby senzoru pro danou měřicí kartu.

Nedílnou součástí každé z desek je jednotný komunikační a napájecí konektor. Ten je tvořen 12ti pinovou lištou s kontakty zahnutými o 90°. Dále je zde umístěn konektor pro připojení programátoru. Jeho umístění však není pevně dané a je u každé měřicí karty umístěn v místě s nejmenším počtem spojů. Pro připojení senzorů je umístěn konektor, tvořen lištou s piny zahnutými o 90°, který je z hlediska počtu kontaktů dimenzován tak, aby bylo možné daný senzor připojit.

¹ dostupný z adresy: <http://www.microchip.com/ParamChartSearch/Chart.aspx?branchID=30048>

Všechny měřicí desky jsou navrženy v jednotném designu, to obnáší jednotné rozměry, umístění napájecího a komunikačního konektoru (červeně označeny piny číslo 1), umístění upevňovacích otvorů a stavové LED diody (označené „uC-STAT“). Konektor pro připojení senzorů je u každé desky v části označené modrým obdélníkem. Koncept je znázorněn na následujícím obrázku:



Obrázek 5.10. Jednotná podoba měřicích karet

zapojení komunikačního a napájecího konektoru je v následující tabulce:

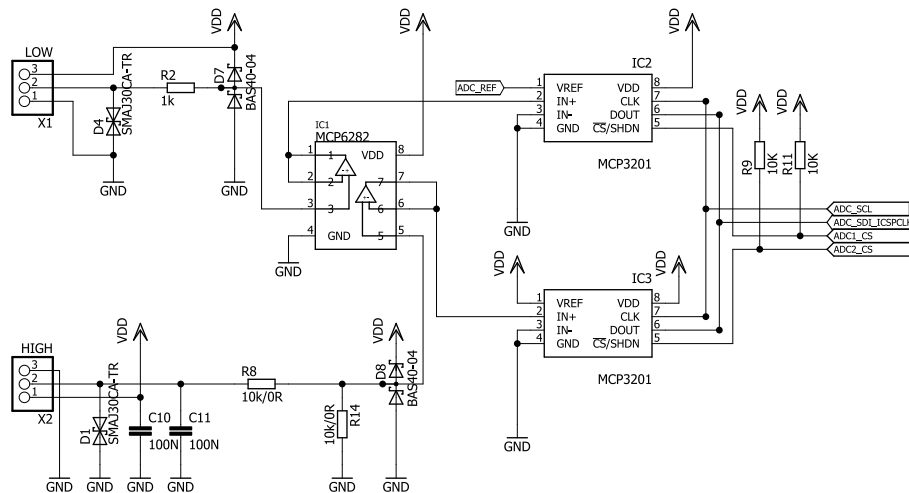
Pin	Význam
X3	
1, 4, 7	Zem
2	I2C data
3	I2C data
5	Obecný IO
6	Obecný IO
X2	
1, 5	Zem
2	Napájecí napětí 5 V
3	Napájecí napětí 3,3 V
4	Napájecí napětí 18 V

Tabulka 5.6. Propojovací konektor na měřicí kartě

V rámci práce byl proveden návrh několika měřicích karet. Jejich popis je uveden v další části textu.

5.3.1 Analogové senzory

Tato měřicí karta je navržena pro připojení senzorů s napětovým výstupem. Toto napětí je pomocí analogově digitálního převodníku převedeno na digitální signál a v mikrokontroleru přepočítáno na výslednou měřenou veličinu. Základ zapojení tvoří A/D převodník z portfolia firmy Microchip, typ: MCP3201. Jedná se o 12-ti bitový převodník s postupnou aproximací. Výstup digitálních dat je kompatibilní se sběrnici SPI a je k němu možné připojit potřebnou napětovou referenci. Před vstupní svorky převodníků je ještě zařazen operační zesilovač firmy Microchip, typ: MCP6282. Ten je zapojen jako napětový sledovač. Celá měřicí karta je napájena z jednotného napájecího konektoru napětím 5V. Schéma zapojení vstupní části je na následujícím obrázku:



Obrázek 5.11. Schéma zapojení vstupní části pro analogové senzory

V levé části schématu jsou umístěny dva konektory X1 a X2, k nim je možné připojit senzory s napětovým výstupem. Oba tyto konektory jsou opatřeny jednoduchou ESD ochranou, tvořenou TVS diodami D1 a D4 a dvěma sériově řazenými diodami D8 a D7. Signál z konektoru X1, označen jako „LOW“ je veden přes napětový sledovač, tvořen operačním zesilovačem IC1 do A/D převodníku IC2. K převodníku je připojena napětová reference s výstupním napětím 3 V. Tento vstup je schopen měřit napětí v rozsahu 0-3 V, s rozlišením přibližně 0.7 mV. Vhodným senzorem pro připojení k tomuto vstupu je například analogový senzor teploty firmy Texas Instrument, typ: LMT85 se ziskem $-8.2 \text{ mV}/^\circ\text{C}$ a maximálním výstupním napětím 2 V při teplotě $-50 \text{ }^\circ\text{C}$ [20].

Vstupní obvody, náležející ke konektoru X2 (označen „HIGH“), jsou oproti těm pro konektor X1 upraveny. Reference u analogově digitálního převodníku je v tomto případě tvořena napájecím napětím (5 V). Na tomto vstupu je tedy možné měřit napětí v rozsahu 0-5 V s rozlišením přibližně 1.2 mV. Tento rozsah je možné ještě zvýšit vhodnou volbou poměru mezi rezistory v odporovém děliči R8 a R14. Pokud této možnosti nevyužijeme, je nutné na místo R8 osadit odpor $0 \text{ } \Omega$ a R14 neosadit. K tomuto rozhraní můžeme připojit například integrovaný senzor s výstupem na sběrnici 0-10 V s osazenými rezistory $R8=10 \text{ k}\Omega$ a $R14=10 \text{ k}\Omega$, případně analogový senzor barometrického tlaku od firmy Infineon, typ: KP234.

Dalším důležitým prvkem je paměť typu EEPROM, do které je možné uložit až 4K-bity dat. U této měřicí karty jsou do ní předem pro oba porty uloženy konstanty, potřebné pro převod napětí z AD převodníku na měřenou veličinu a její název. Příklad obsazení paměti je v tabulce 5.7

Adresa	Význam	formát
1 - 4	offset pro X1	4-byte float (dle IEEE)
5 - 8	zisk pro X1	4-byte float (dle IEEE)
9 - 12	identifikace měřené veličiny na X1	4 x char
13 - 16	offset pro X2	4-byte float (dle IEEE)
17 - 20	zisk pro X2	4-byte float (dle IEEE)
21 - 24	identifikace měřené veličiny na X2	4 x char

Tabulka 5.7. Obsazení paměti EEPROM

V případě použití senzorů LMT85 na vstup X1 a KP234 na vstup X2 by bylo třeba do paměti uložit hodnoty, tak jak je uvedeno v tabulce 5.8

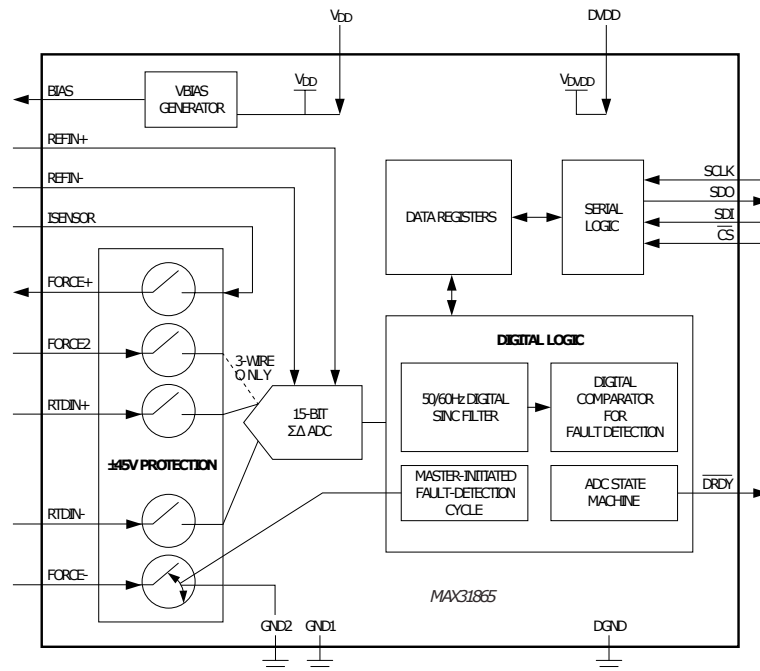
Význam	hodnota dekadicky	hodnota hexadecimálně	hodnota „char“
offset pro X1	1567	44 C3 E0 00	-
zisk pro X1	-8.2	C1 03 33 33	-
identifikace měřené veličiny na X1	84 69 77 80	54 45 4D 50	T E M P
offset pro X2	0.045	3D 38 51 EC	-
zisk pro X2	0.475	3E F3 33 33	-
identifikace měřené veličiny na X2	80 82 69 83	50 52 45 53	P R E S

Tabulka 5.8. Hodnoty paměti EEPROM pro LMT85 a KP234

Jak bylo uvedeno v předchozím textu, hlavní komunikace mezi řídicí jednotkou a měřicí kartou probíhá po sběrnici I2C. Aby na sběrnici nedocházelo ke kolizím adres, jsou vnitřní komunikační sběrnice v rámci měřicí karty odděleny od hlavní sběrnice. Paměť EEPROM a také A/D převodníky jsou k mikrokontroleru připojeny k obecným IO portům a v obslužném programu je navržena rutina, která softwarově zprostředkovává přenos po sběrnici I2C a SPI. Kompletní schéma zapojení je uvedeno v příloze F.

5.3.2 RTD senzory

Další z měřících karet je navržena pro připojení odporových senzorů teploty, jako je například senzor PT100. Jádrem této karty je integrovaný obvod firmy Maxim Integrated, typ: MAX31865. Tento obvod převádí odpor RTD senzoru na digitální signál. Blokové schéma obvodu je na následujícím obrázku:



Obrázek 5.12. Blokové schéma obvodu MAX31865, převzato z: [21]

V obvodu je integrován patnácti bitový analogově digitální převodník a vstupní ochrana. Měření pak probíhá tak, že se k obvodu mezi piny REFIN+ a REFIN- připojí referenční rezistor. Ten je napájen z výstupu BIAS. Napětí na referenčním rezistoru tvoří referenci pro integrovaný AD převodník. Proud, který referenčním odporem protéká, je následně přiveden i k RTD senzoru. Vytvoří se na něm odpovídající úbytek napětí. Ten je snímán převodníkem na pinech RTDIN+ a RTDIN-. Vhodnou modifikací zapojení lze termočlánek připojit dvou, tří nebo čtyř vodičovou metodou. Výstupní digitální data z převodníku však neodpovídají přímo změřené teplotě, ale odporu senzoru. Pro vyhodnocení je pak potřeba odpor na teplotu převést. Je možné použít dvě metody. Jednou z nich je numerický převod podle následujících převodních vztahů. Pokud není kladen velký důraz na přesnost a RTD senzor je využíván v rozsahu 0 - 100 °C, lze použít tuto lineární aproximaci:

$$R_{RTD} = R_{RTD0}(1 + T\alpha)$$

$$T = \frac{R_{RTD} - R_{RTD0}}{R_{RTD0}\alpha} \quad (4)$$

kde: R_{RTD} - odpor při měřené teplotě, R_{RTD0} - odpor při nulové teplotě, α - teplotní koeficient pro platinu 0,00385 $\Omega/\Omega/^\circ C$. převzato z: [22]

Přesnějších výsledků lze v rozsahu od -100 °C do 600 °C dosáhnout použitím kubické aproximace :

$$T = -242,09 + 2,2276 \cdot R + 2,5178 \cdot 10^{-3} \cdot R^2 - 5,8620 \cdot 10^{-6} \cdot R^3 \quad (5)$$

kde: R - odpor při měřené teplotě, převzato z [23]

Pokud však budeme uvažovat měření teplot pouze v rozsahu -100 °C až $+100\text{ °C}$ a odpor referenčního rezistoru bude $400\ \Omega$, je možné pro integrovaný obvod MAX31865 použít linearizovaný vztah:

$$T \approx (ADC/32) - 256(6)$$

kde: T - teplota, ADC - hodnota z AD převodníku, převzato z: [21]

Touto metodou se dopustíme chyby $-1,75\text{ °C}$ při -100 °C a $-1,4\text{ °C}$ při $+100\text{ °C}$, přičemž při teplotě 0 °C je chyba nulová. Další možností je vytvoření přiřazovací tabulky s požadovanou přesností na základě vztahu (5).

K obvodu MAX31865 lze připojit senzory Pt100 i Pt1000, ale je nutné změnit i hodnotu referenčního odporu. Pro Pt100 je doporučená hodnota $400\ \Omega$ a pro Pt1000 $4000\ \Omega$. U této karty je hodnota referenčního rezistoru zvolena na $400\ \Omega$. Obvod je zapojen do čtyř vodičového režimu. Pro napájecí napětí integrovaného obvodu je z katalogového listu patrný limit maximálně 4 V . Proto je z napájecího konektoru ke kartě přivedeno napájecí napětí $3,3\text{ V}$ pro integrovaný obvod a 5 V pro zbytek obvodů. Převod logických úrovní je proveden opět pomocí integrovaného obvodu TXB0104, obdobně jak bylo uvedeno na straně:21.

Paměť EEPROM je v tomto případě obsazena následovně:

adresa	význam	formát
1 - 2	odpor senzoru při 0 °C	double
3 - 4	odpor referenčního rezistoru	double
5 - 8	identifikace měřené veličiny	4 x char

Tabulka 5.9. Obsazení paměti EEPROM

V případě použití senzorů PT100 a referenčního rezistoru $400\ \Omega$ 5.10

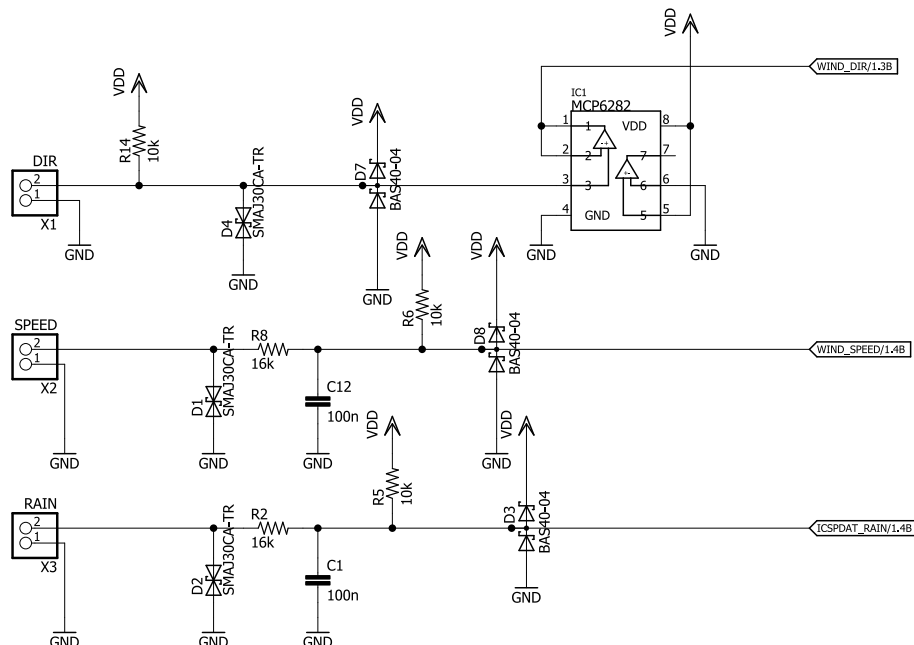
význam	hodnota dekadicky	hodnota hexadecimálně	hodnota „char“
odpor senzoru při 0 °C	100	00 64	-
odpor referenčního rezistoru	400	01 90	-
identifikace měřené veličiny	84 69 77 80	54 45 4D 50	T E M P

Tabulka 5.10. Hodnoty paměti EEPROM pro PT100 a $R_{REF} = 400\ \Omega$

Kompletní schéma zapojení je umístěno v příloze:G

5.3.3 Anemometr

Zde máme k dispozici tři vstupní porty, pro měření množství srážek, rychlosti a směru větru. Karta je schopna pracovat se senzory, které jsou založeny na principu spínání magnetického kontaktu. Schéma zapojení těchto rozhraní je na následujícím obrázku:



Obrázek 5.13. Schéma zapojení měřicí karty anemometr

Ke konektoru X1 se připojuje senzor udávající směr větru. Vyhodnocení dat z tohoto senzoru je založeno na měření výstupního napětí odporového děliče. Ten je tvořen rezistorem, příslušným k danému magnetickému kontaktu v samotném senzoru a rezistorem R14, který je umístěn na měřicí kartě a je připojen na napájecí napětí 5 V. Rozhraní je vybaveno jednoduchou ESD ochranou a signál je dále veden k napětovému sledovači, tvořenému operačním zesilovačem MCP6282. Výstup z něj je přiveden k jednomu z portů mikrokontroleru, který v sobě obsahuje analogově digitální převodník. Převod z napětí na směr větru je pak proveden podle následující tabulky:

směr větru	napětí na děliči
0°	3,84 V
45°	2,25 V
90°	0,45 V
135°	0,90 V
180°	1,40 V
225°	3,08 V
270°	4,62 V
315°	4,78 V

Tabulka 5.11. Převodní tabulka mezi napětím a směrem větru

Rozhraní pro rychlost větru a množství srážek jsou navržena totožně. Obsahují jednoduchou ESD ochranu, dále je zde umístěn filtr typu dolní propust, tvořený odporem R8 a kondenzátorem C12 pro jeden vstup a R2 a C1 pro druhý. Mezní frekvence je u obou

nastavena na hodnotu přibližně 100 Hz. Tím je omezen rozsah měření rychlosti větru přibližně na 240 km/h, a množství srážek na přibližně 30 mm. Signál je dále přiveden k portu mikrokontroleru, který umožňuje vyvolat softwarové přerušení na základě změny na příslušném portu. V obslužném programu je pak spočítána průměrná rychlost a průměrné množství spadných srážek.

Paměť EEPROM v tomto případě obsahuje převodní hodnoty mezi směrem větru a napětím jako v tabulce 5.11, rychlostí větru a počtem pulzů ($2,4 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1} \cdot \text{Hz}^{-1}$), množstvím srážek a počtu pulzů ($0,2794 \text{ mm} \cdot \text{Hz}^{-1}$). To znamená, že je vyhrazeno místo 10x4 bajty pro hodnoty formátu IEEE float.

5.3.4 Proudový vstup

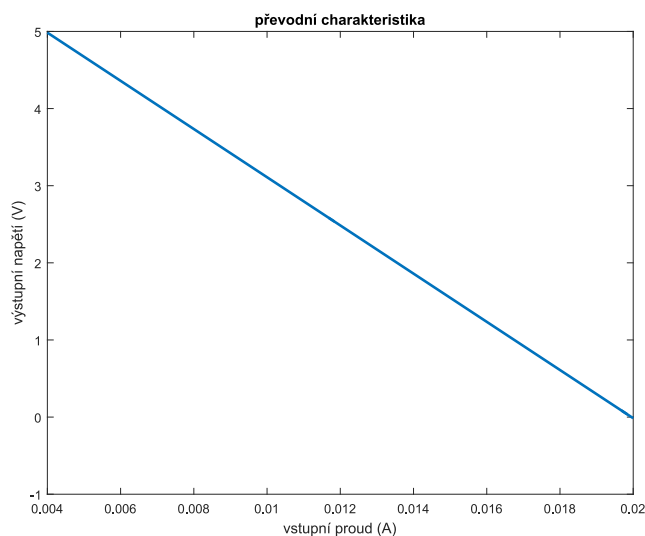
Pro připojení senzorů s proudovým výstupem slouží tato měřicí karta. Zpracování signálu vychází ze zapojení s integrovaným obvodem RCV420 od firmy Texas Instrument. Jedná se o precizní přijímač proudové smyčky, ten zajišťuje převod proudového signálu na napěťový. Standardně se používá se symetrickým napájením $\pm 18\text{V}$, ale podle aplikační poznámky [24] je možné zapojení modifikovat pro použití s jedním napájecím napětím, čehož bylo při návrhu využito. Pro připojení senzoru je na desce umístěn vstupní konektor X1 v provedení 4 pinové lišty s kontakty. Zapojení této karty umožňuje připojit jednak aktivní senzory, tedy ty co jsou již napájeny, ale je také možné sensor pomocí proudové smyčky napájet. Výstupem z obvodu je napětí, které je úměrné vstupnímu proudu podle vztahu:

$$U_{OUT} = 6.25 - 0.3125 \cdot I_{IN} \quad (7)$$

převzato z: [25]

tento signál je následně přiveden ke zpracování pomocí analogově digitálního převodníku mikrokontroleru. Z jednotného napájecího konektoru je pro tuto měřicí kartu přivedeno napájení +18 V pro obvod RCV420 a 5V pro další obvody.

Upravené zapojení pracující s jedním napájecím napětím bylo podrobena simulaci v programu Tina-TI V9. Simulovaná data byla následně zpracována v programu MATLAB. Výsledkem je závislost mezi vstupním proudem a výstupním napětím. Charakteristika je patrná z následujícího obrázku:



Obrázek 5.14. Převodní charakteristika zapojení RCV420

Paměť EEPROM je obsazena převodním koeficientem mezi proudem a měřenou veličinou. Kompletní schéma zapojení je v příloze H.

■ 5.3.5 Integrované senzory

Poslední vyvinutou měřicí kartou je karta pro připojení integrovaných senzorů, respektive senzorů s přímým digitálním výstupem. Jedná se o jednoduchou desku, která obsahuje pouze vstupní konektor pro připojení senzorů kompatibilních se sběrnicí I2C nebo SPI a napájených napětím 3,3 V. Mezi mikrokontroler, pracující s napájením 5 V, je ještě zařazen převodník úrovní TXB0104. Toto rozhraní je primárně určeno pro kombinované senzory relativní vlhkosti a teploty SHT31-DIS nebo HTU21D. Pro převod jsou v katalogovém listu uvedeny vztahy:

$$RH = a + b \cdot \frac{\text{hodnota}}{2^{\text{rozlišení}} - c} \quad (8)$$

$$T = a + b \cdot \frac{\text{Hodnota}}{2^{\text{rozlišení}} - c} \quad (9)$$

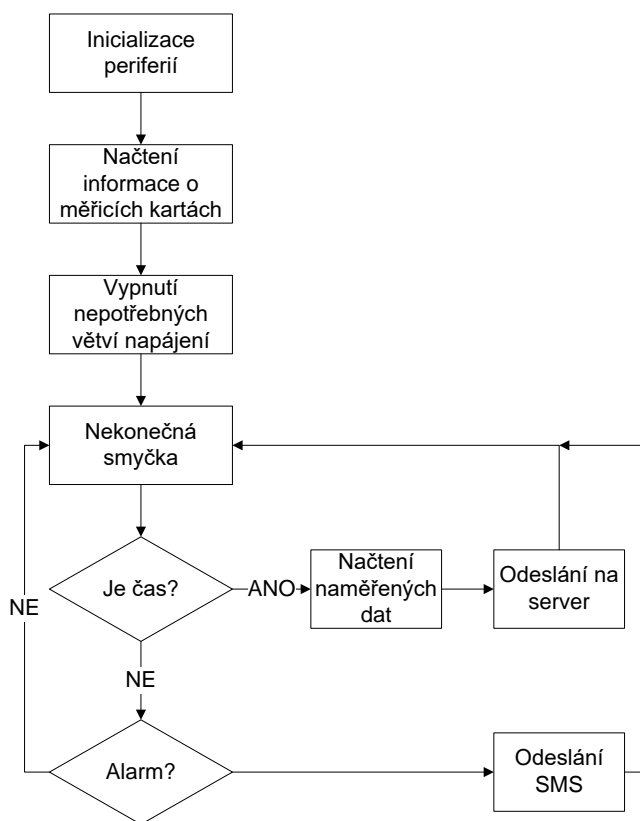
kde: a, b, c - převodní konstanty, Hodnota - údaj o vlhkosti nebo teploty, rozlišení - rozlišení vnitřního A/D převodníku senzoru, převzato z: [26]

Do paměti je nutné uložit konstanty pro převod digitálních dat na měřenou veličinu. Jsou rezervovány 3x4 bajty pro konstanty potřebné k výpočtu tlaku a 3x4 bajty pro převodní konstanty teploty. Kompletní schéma zapojení je v příloze I.

Kapitola 6

Software

Nedílnou součástí celého návrhu jsou obslužné programy pro jednotlivé měřicí karty a řídicí jednotku. V této kapitole budou zjednodušeně popsány stěžejní funkce jednotlivých programů a také celková koncepce fungování systému. Pro programování všech obslužných programů bylo použito vývojové prostředí firmy Mikroelektronika MikroC PRO for PIC ve verzi 6.6.3 a programovací jazyk C. Výhodou tohoto vývojového prostředí jsou dostupné knihovny zjednodušující práci s vnitřními periferiemi a podobně. Popis začneme vývojovým diagramem obslužného programu řídicí jednotky.



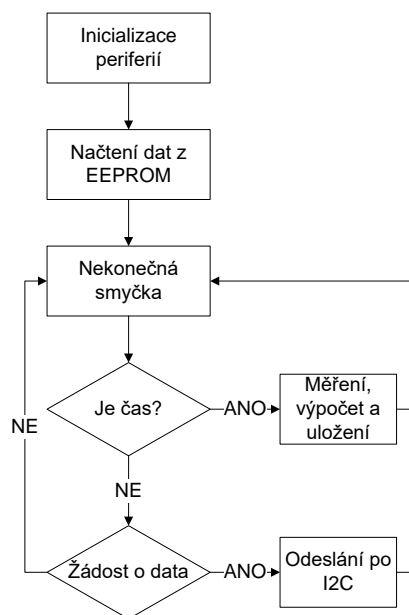
Obrázek 6.1. Vývojový diagram programu řídicí jednotky

Po náběhu napájení je nutné v řídicí jednotce inicializovat potřebné periferie. Nejprve je provedena inicializace vstupně výstupních portů pro ovládání napájecích větví a pro vstup analogově digitálního převodníku, kterým se měří napětí na baterii. Dále nastavit oscilátor a přerušeni. Následuje nastavení komunikačních periferií. Modul sériové linky USART je nastaven do režimu komunikace s osmi bitovým datovým rámcem, jedním stop bitem, bez parity a přenosovou rychlostí 9600 baudů. Tato sběrnice je potřeba pro komunikaci s GSM modulem. Dále je nutné nastavit modul MSSP do režimu I2C master s přenosovou rychlostí 100 kb/s, po této sběrnici jsou načítána data z měřicích karet.

Po inicializaci vnitřních periférií je nutné nastavit GSM modul do výchozího stavu. To obnáší vypnutí echa (odesílání stejného příkazu jako byl k modulu odeslán zpět) a konfigurovat datové připojení. To je provedeno pomocí následujících „AT“ příkazů. Následně jsou prohledány všechny porty měřicích karet a k řídicí jednotce jsou odeslány údaje, o jakou kartu se jedná a jakou veličinu měří. Na základě těchto parametrů jsou pak konstruovány datové rámce pro odesílání dat na vzdálený server.

Dále dochází k vypnutí nepotřebných částí napájení. Po inicializační rutině se program dostane do nekonečné smyčky, kde čeká předem určený čas. Během čekání kontroluje napětí na baterii a v případě, že klesne pod danou mez, je pomocí textové zprávy odesláno hlášení. Po uplynutí času dojde k odeslání požadavku o data ke konkrétní měřicí kartě, ta jsou následně načtena. Po malé časové prodlevě je znovu odeslán požadavek k další kartě v pořadí. Po načtení dat ze všech karet dojde ke konstrukci datového rámce, sestavení spojení se serverem a odeslání dat.

Chování měřicích karet lze popsat následujícím vývojovým diagramem:



Obrázek 6.2. Vývojový diagram programu měřicích karet

Základem je inicializace potřebných periférií, jako jsou vstupně výstupní porty, AD převodníky a přerušování. V tomto případě je u všech karet modul MSSP nastaven do režimu Slave. Následně je provedena inicializace softwarově simulované sběrnice I2C pro komunikaci s pamětí EEPROM a u některých desek nastavení softwarového SPI pro komunikaci s externím AD převodníkem, případně integrovaným digitálním senzorem. To obnáší namapování potřebných signálů na příslušné piny mikropočítače. Následně dojde k načtení údajů z paměti EEPROM a program se dostane do čekací smyčky. Zde probíhá periodické měření a následně výpočet dané veličiny podle vztahů uvedených v předchozí kapitole. V případě, že přijde po sběrnici I2C žádost o data, a adresa žádosti se shoduje s adresou dané měřicí karty, je vyvoláno přerušování běhu hlavního programu. V přerušování jsou odeslána naměřená data, která jsou ukončena přesně definovaným bajtem tak, aby řídicí jednotka poznala konec rámce a mohla ukončit přenos.

Kapitola 7

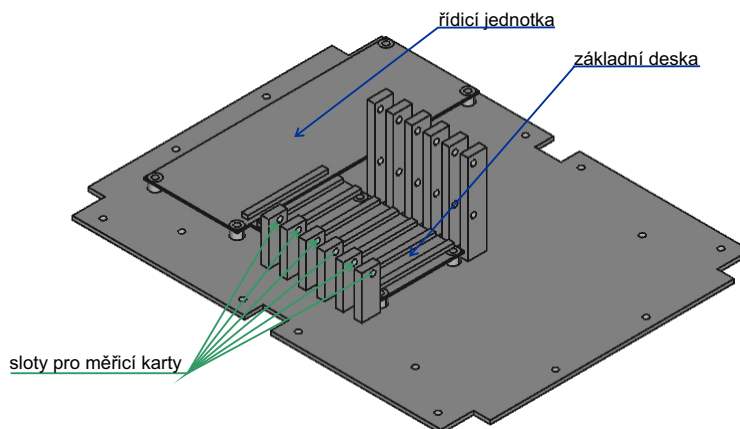
Mechanická část

V cílech práce bylo stanoveno, že zařízení bude určeno pro provoz ve venkovním prostředí. Z toho plyne, že bylo nutné jej umístit do vhodné konstrukční krabičky, která bude dostatečně kryta proti vodě a prachu. Byla vybrána krabice od polského výrobce Kradex, typ Z90 s transparentním víkem a těsněním s vnitřním rozměrem 160.85 mm x 216.85 mm a hloubkou včetně víka 73.75 mm. Výrobce pro ni udává stupeň krytí IP67¹. Její fotografie je na následujícím obrázku:



Obrázek 7.1. Konstrukční krabice Kradex Z90, převzato z: <https://goo.gl/Qmxxpg>

Z hlediska rozměrů je krabice dostatečně dimenzovaná, bylo však nutné do ní všechny komponenty systému umístit a vhodným způsobem fixovat. Proto byl pomocí volně dostupného 3D CAD programu FreeCAD navržen 3D model dna do této konstrukční krabičky, tak jak je vidět na následujícím obrázku:

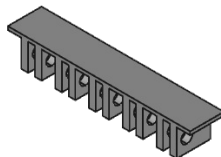


Obrázek 7.2. Navržené dno konstrukční krabičky

Na obrázku je znázorněno i rozmístění základní desky a řídicí jednotky. Do dna jsou zakomponovány upevňovací otvory pro montáž do krabičky a na místech pro řídicí jednotku a základní desku jsou umístěny dvě čtveřice 2 mm vysokých distantních sloupků

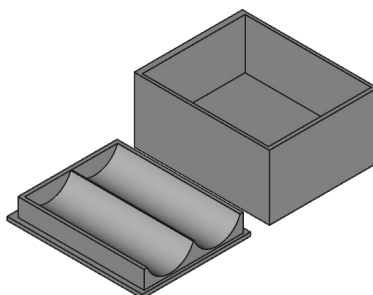
¹ dle: ČSN EN 60 529 chráněno: 6 - prachotěsné (úplně), 7 - zařízení ponořené dočasně do vody

s dírou o průměru 3 mm. K těmto sloupkům je možné pomocí samořezných vrtů M3 obě desky plošných spojů fixovat. Měřicí karty se umístí mezi vysoké sloupky, na které ukazují zelené šipky.



Obrázek 7.3. Vymezovací vložka

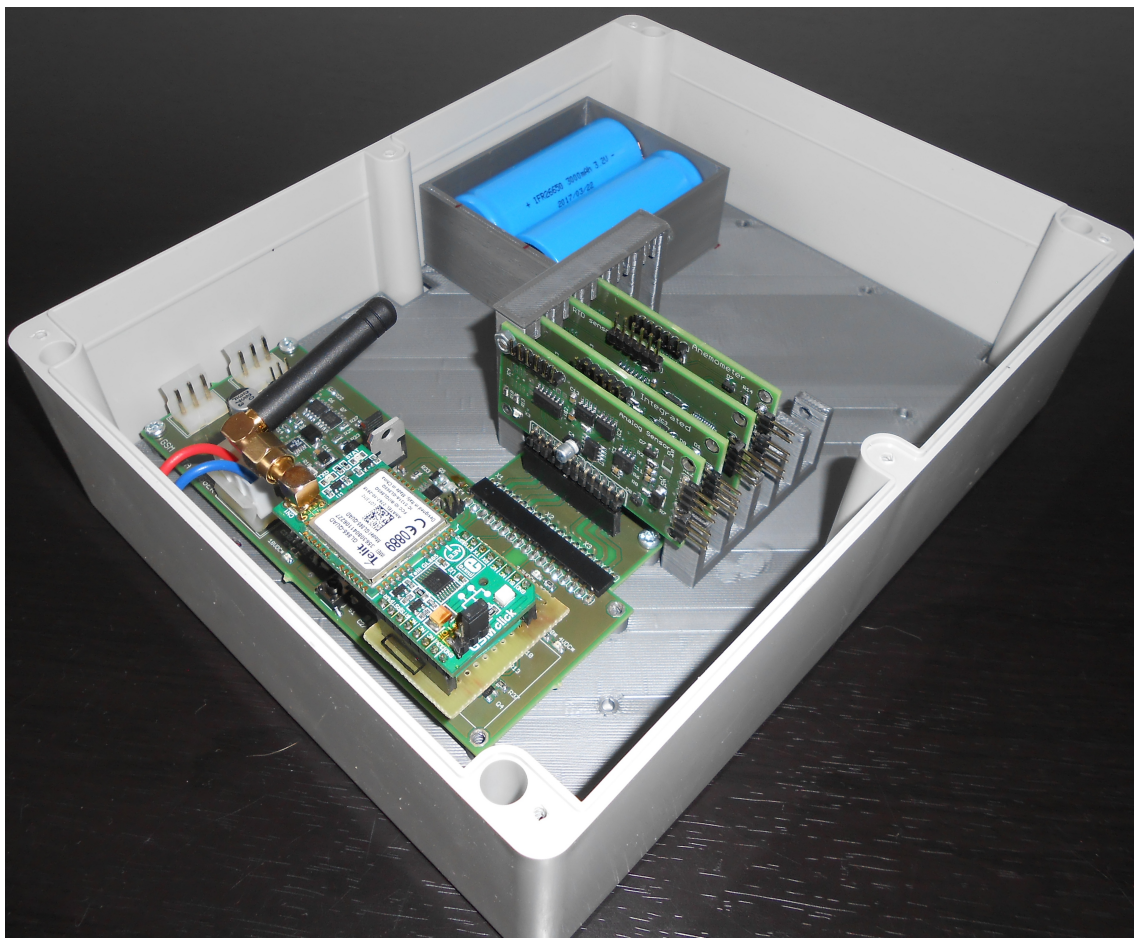
Pozice měřicích karet je vymezena pomocí vložky 7.3, která se umístí shora na řadu vyšších sloupků. Následně je celé spojení zpevněno sešroubováním pomocí tří závitových tyčí M3 o velikosti 70 mm a maticemi M3. Celá koncepce zařízení, včetně dostatečně dimenzované konstrukční krabice, umožňují snadné rozšíření o další měřicí karty. Stačí pouze přidat další vysoké sloupky a zaměnit základní desku za větší. Jak bylo zmíněno v jedné z předchozích kapitol, zařízení umožňuje provoz na baterii. Konkrétně byly vybrány průmyslové bateriové články $LiFePO_4$ s průměrem 26 mm a délkou 65 mm. Tyto rozměry se neshodují ani s jedním druhem standardních baterií. Proto byl speciálně pro ně navržen box, do kterého lze baterie umístit a fixovat je vhodným způsobem ke dnu konstrukční krabice.



Obrázek 7.4. Box pro baterie

Na jednu z užších stěn boxu je umístěna vodivá měděná páska, která slouží pro sériové spojení baterií. Na druhé straně jsou dva pružinové kontakty, od kterých jsou odvedeny vodiče kladného a záporného pólu baterií. Tyto vodiče vedou skrz průchod ve spodní stěně boxu pod vytvořené dno krabice a dále k příslušnému konektoru řídicí jednotky. Součástí navrženého boxu je také vrchní kryt. Ten slouží hlavně k fixaci baterií uvnitř boxu. Box je záměrně vytvořen jako samostatný prvek, v případě potřeby jej lze nahradit jiným druhem bateriového článku a není nutná úprava stávajícího dna. Všechny tyto navržené komponenty (kromě šroubů a vrtů) byly vyrobeny pomocí 3D tisku. Tisk proběhl na tiskárně Original Prusa i3 MK2, byla použita tisková struna z materiálu PLA.

Reálné umístění čtyř měřicích karet, řídicí jednotky, základní desky, GSM modulu a boxu pro baterie je patrný z následující fotografie:



Obrázek 7.5. Fotografie umístění systému do konstrukční krabice

Dále jsou na konstrukční krabici umístěny dvě průchodky s krytím IP67. Jedna slouží pro přívod napájení ze solárního panelu, případně externího napáječe. Druhá je určena pro připojení senzorů.

Kapitola 8

Realizace a testování

Před fyzickou realizací systému byly prověřeny funkce jednotlivých digitálních bloků v simulačním nástroji Proteus. V rámci těchto simulací byly vytvořeny jednoduché obslužné programy, které řešily dílčí problémy a umožnily tak zvláště otestovat jednotlivé periferie před testováním „ostré“ verze obslužného programu na prototypu. Z navržených desek byl realizován prototyp systému. Osazeny byly moduly řídicí jednotky, základní desky a měřicích karet pro integrované senzory, analogové, s proudovou smyčkou, pro RTD senzory a pro měření rychlosti větru, směru větru a množství srážek. V první části testování byla důkladně prověřena komunikace mezi měřicími deskami a řídicí jednotkou po sběrnici I2C. Z řídicí jednotky byl do jednotlivých karet postupně odeslán požadavek o data. Měřicí karta měla za úkol odeslat zpět známý rámec dat tak, aby bylo jasné, co má být přijato a bylo možné analyzovat, zda každá z karet odpovídá. Data přijatá řídicí jednotkou byla odesílána po sběrnici UART přes programátor PICKIT2 do počítače, kde byla komunikace odchycena a analyzována. Při tomto testu se nevyskytl problém a bylo ověřeno, že navržené programové funkce pro komunikaci mezi deskami jsou zkonstruovány správně.

Následovalo ověření funkčnosti použitého GSM modulu SIMCom800C. Modul byl spojen sběrnici USART s počítačem pomocí programátoru PICKIT2 tak, aby bylo možné z terminálu na počítači přímo odesílat příkazy a byla vidět odezva modulu. Před samotným spojením modulu s mikrokontrolerem bylo důležité ověřit správnost navržených AT příkazů pro konfiguraci modulu a také pro odeslání naměřených dat na vzdálený server. Při tomto testu nejprve vypadalo vše tak jak má, nicméně po dlouhodobějším testování přestal modul fungovat. Z toho plyne, že použití tohoto levného modulu z Číny nebylo vhodné. Tento modul byl nahrazen jiným z nabídky firmy Mikroelektronika, typ: GSM click. Tato deska v sobě obsahuje GSM modul firmy Telit, typ: GL865. K němu bylo dodatečně nutné vytvořit adaptér tak, aby jej bylo možné zapojit na místo původního GSM modulu. Dále bylo také nutné upravit konfigurační sekvenci AT příkazů a příkazů pro odesílání dat. Výsledná konfigurační sekvence je znázorněna na následujícím výpisu:

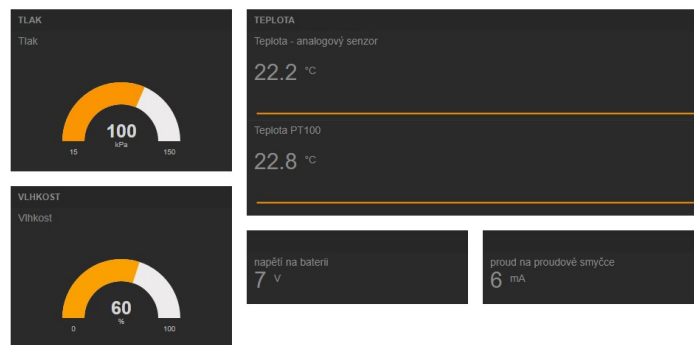
```
PC:      AT
MODUL:   OK
%% Ověření dostupnosti modulu
PC:      ATE0
MODUL:   OK
%% Vypnotí echo modu GSM modulu
PC:      AT+CGDCONT=1,"IP","internet.t-mobile.cz"
MODUL:   OK
PC:      AT#SCFG=1,1,300,90,600,50
MODUL:   OK
%% Nastavení APN a dalších parametrů GPRS komunikace
PC:      AT#SGACT=1,1
MODUL:   #SGACT: 100.88.226.51
%% Aktivace datového spojení
```

Následně jsem vytvořil sekvenci pro odeslání dat na server. Jako řešení serverové části jsem vybral jednu z variant z kapitoly: 4. Konkrétně jsem zvolil platformu dweet.io. V dokumentaci k platformě je uveden přesný formát příkazu POST, který je nutné k serveru odeslat:

```
POST /dweet/for/nazev?parametr=xxxx HTTP/1.1,
%% název - jednoznačný identifikátor zařízení
%% parametr - měřená veličina
%% xxxx - hodnota měřené veličiny
```

V obslužném programu řídicí jednotky je vytvořena funkce, která přijatá data z měřicích karet přizpůsobí do tohoto formátu. Následně byla ověřena funkce jednotlivých měřicích karet.

Data ze serveru dweet.io jsou zobrazena na portále freeboard.io. Zde je možné si vytvořit vlastní pracovní plochu se standardními ukazateli. Práce s tímto serverem je velice jednoduchá. Po registraci se dostaneme k tvorbě plochy. Nejprve musíme přidat zdroj dat. V našem případě tedy server dweet.io. Dále je nutné uvést specifický identifikátor zařízení. Poté můžeme přidávat jednotlivé ukazatele. U každého zvolíme měřenou veličinu, kterou má zobrazovat. Vytvořená plocha může vypadat například takto:



Obrázek 8.1. Snímek obrazovky serveru freeboard

Všechny desky plošných spojů byly navrženy jako dvoustranné se servisním potiskem na horní straně a nepájivou maskou. Výroba proběhla ve firmě Pragoboard. Většina z použitých součástek byla objednána na internetovém obchodu farnell.com, zbytek v českém obchodě GM elektronik. Konstrukční krabice byla zakoupena v obchodě krabicky.cz. Osazení proběhlo v domácích podmínkách. Finální cena vyrobeného prototypu byla přibližně 5650 Kč. K této ceně je však třeba započítat ještě cenu za vývoj obslužných programů, návrh desek plošných spojů, osazení a oživení přístroje. Zjednodušený rozklad na jednotlivé položky je patrný z následující tabulky:

položka	částka (kč)
výroba plošných spojů	3000
součástky	1500
senzory	500
baterie	200
konstrukční krabice	300
3D tisk	150
celkem	5650

Tabulka 8.1. rozložení ceny: hardware

položka	počet hodin	částka (kč)
návrh desek plošných spojů	30	6000
software	40	8000
podklady pro 3D tisk	5	1000
osazení a oživení	20	4000
instalace do krabice	2	400
celkem	97	19400

Tabulka 8.2. Rozložení ceny: návrh a software

V případě, že by zařízení bylo komerčně vyráběno, by byly reálné náklady na jeden kus výrobku nižší. Náklady na vývoj hardware a software by se rozprostřely mezi vyrobené kusy. Ceny součástek a plošných spojů jsou také nižší v případě, kdy je odebráno větší množství kusů. Prodejní cena výrobku by se odvíjela od počtu osazených měřicích karet, druhu bateriového článku a druhu napájení. Přibližný výpočet prodejní ceny je v následující tabulce:

položka	částka (kč)
řídící jednotka	1300
měřicí karta	400-600
senzor	70-200
baterie	200-1000
konstrukční krabice	400
solární panel	500
AC/DC adaptér	300

Tabulka 8.3. Výpočet prodejní ceny

parametr	hodnota
napájení z externího zdroje	7 V - 30 V
nabíjení	15 V - 30 V
odpojení baterie od zátěže	4,13 V
opětovné připojení baterie	4,24 V
průměrný proudový odběr při měření	
řídící jednotky	60 mA
měřicí karta	15 mA
GSM modulu	20 mA
průměrný proudový odběr v nečinnosti	
řídící jednotky	10 mA
měřicí karta	1 mA
GSM modulu	1 mA

Tabulka 8.4. Základní elektrické parametry prototypu

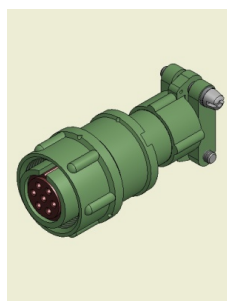
V rámci testování byly také stanoveny základní elektrické parametry vyrobeného prototypu, tak jak je uvedeno v tabulce 8.4. Z výsledků je patrné, že by bylo pro napájení vhodnější použít solární panel s vyšším nominálním napětím než 12V.

Na základě změřených parametrů zařízení by bylo vhodné upravit zapojení pro použití článku $LiFePO_4$ s nominálním napětím 9,6 V a použít solární panel s nominálním napětím 18 V.

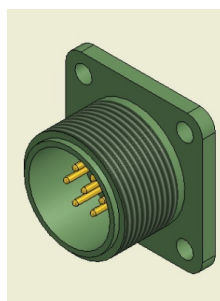
Kapitola 9

Návrh na zlepšení

Během testování se vyskytl největší problém s GSM modulem SIM800C. V realizaci další revize zařízení by bylo vhodné tento modul nahradit jiným. Při testování se osvědčil modul Telit GL865, bylo by tedy pravděpodobně vhodnější využít tento a integrovat přímo do desky řídicí jednotky. Z důvodu snížení finální ceny výrobku jsem také ustoupil od použití kulatých konektorů ve vojenském standardu pro připojení solárního panelu a senzorů. Místo těchto konektorů jsem nakonec použil průchodky s krytím IP67. Konkrétně jsem uvažoval o zakoupení konektorů české firmy Teneo z následujícího obrázku:



a)



b)

Obrázek 9.1. Konektory firmy Teneo, a)-2RM18KPN7G1A1, převzato z: <http://www.konektory.cz/data/products/2RM/2RM18KPN7G1A1-ax.jpg>, b)-2RM18B7S1A1, převzato z: <http://www.konektory.cz/data/products/2RM/2RM18B7S1A1-ax.jpg>

Odeslal jsem poptávku a z obchodního oddělení mi byla sdělena cena řádově 700 za jednu tuto kombinaci. Přičemž potřeba by bylo minimálně dvou kusů konektorů z obrázku pro připojení senzorů a jednoho pro připojení napájení. V komerční realizaci by bylo rozhodně vhodnější zvolit tyto nebo podobné konektory. Dalším zlepšením by mohlo být umístění slotu pro paměťové karty, kam by se ukládala naměřená data v případě výpadku GSM spojení.

Dále by bylo možné do řídicí jednotky implementovat změnu některých parametrů pomocí textových zpráv. Zde by bylo například možné zvolit čas, kdy má dojít k odměru dat, případně provést okamžitý odměr a podobně.

Kapitola 10

Závěr

V rámci diplomové práce byl vyvinut univerzální systém pro sběr dat ze senzorů a jejich odesílání na vzdálený server. Systém umožňuje volbu druhu napájení mezi externím zdrojem a bateriovým článkem. Bateriový článek je chráněn proti nadměrnému vybití a je možné jej nabíjet z externího zdroje nebo solárního panelu. Z provedeného návrhu byl realizován testovací prototyp, na němž byly ověřeny základní parametry a funkce systému. Systém byl umístěn do konstrukční krabice s krytím IP67 a je tak schopen odolávat vnějším povětrnostním vlivům. Cíle práce stanovené v úvodní kapitole byly naplněny, byly vyvinuty obslužné programy pro jednotlivé bloky zařízení, a byla otestována jeho funkčnost se senzory barometrického tlaku, teploty, vlhkosti a odporovým senzorem teploty PT100. Dále byla provedena realizace vlastní pracovní plochy pro zobrazení naměřených dat. V závěru byl nabídnut návrh na zlepšení systému pro navazující práce.

Literatura

- [1] *Ares 10/12 – Uživatelský manuál*. HW group s.r.o, 2017.
https://www.hw-group.com/download/HWg-Ares_MAN_cz.pdf.
- [2] *Webová stránka výrobce omni instruments*. Omniinstruments,
<http://www.omniinstruments.co.uk/data-logger-multi-channel-programmable/remote-data-logging-web-enabled-gprs-ethernet-and-wireless-systems/grd-3300-series-gprs-data-logger-with-web-interface-for-analogue-and-digital-inputs.html>.
- [3] *Expert Logger - produktová brožura*. Delphin Technology, 2017.
<http://www.trinstruments.cz/data/files/expert-logger-broschuere-en-1742.pdf>.
- [4] *Prospekt GSM datalogge DA4l*. Smart-Con, 2017.
http://www.smart-con.cz/wp-content/uploads/2016/07/DA4_PRO_2010_10_1_cz.pdf.
- [5] *Webová stránka výrobce onset*. Onsetcomp,
<http://www.onsetcomp.com/products/data-loggers/rx3000>.
- [6] *Types of Thermocouples*. REOTEMP Instrument Corporation, 2017.
<http://www.thermocoupleinfo.com/>.
- [7] *Katalogový list obvodu MAX31855*.
<https://datasheets.maximintegrated.com/en/ds/MAX31855.pdf>.
- [8] Miroslav Husák. *Mikrosenzory a mikroaktuátory*. Vyd. 1. vydání. Praha: Academia, 2008. ISBN 978-80-200-1478-8.
- [9] *Katalogový list senzoru HCZ-D5*. Multicomp, 2017.
http://www.farnell.com/datasheets/1355476.pdf?_ga=2.170406624.1750044652.1512915404-119480303.1511276309&_gac=1.227724911.1511600553.CjwKCAiAxuTQBRBmEiwAAkFF1mSueb_HuldZuqdu7a8S0yHZb9aHTVcJsRoCoHIQAvD_BwE.
- [10] *Katalogový list senzorů řady HIH6000*. Honeywell, 2017.
http://www.farnell.com/datasheets/1927619.pdf?_ga=2.170406624.1750044652.1512915404-119480303.1511276309&_gac=1.227724911.1511600553.CjwKCAiAxuTQBRBmEiwAAkFF1mSueb_HuldZuqdu7a8S0yHZb9aHTVcJsRoCoHIQAvD_BwE.
- [11] *Katalogový list sensorové sestavy k meteostanici*. Argent data systems, 2017.
https://www.argentdata.com/files/80422_datasheet.pdf.
- [12] *Katalogový list senzoru MQ-135l*. Mikroelektronika, 2017.
<https://download.mikroe.com/documents/datasheets/mq135.pdf>.
- [13] *Katalogový list senzoru SM-PWM-01A*. Amphenol Advanced Sensors, 2017.
<http://www.mouser.com/ds/2/18/01C%20dust%20sensor%20datasheet-850747.pdf>.
- [14] *Dokumentace*. Hologram, 2017.
<https://hologram.io/docs/>.
- [15] *Katalogový list senzoru integrovaného obvodu LT3653*. Linear Technology, 2017.
<http://cds.linear.com/docs/en/datasheet/3652fe.pdf>.

- [16] *Katalogový list integrovaného obvodu LTC2960*. Linear Technology, 2017.
<http://cds.linear.com/docs/en/datasheet/2960fa.pdf>.
- [17] *Katalogový list mikrokontroleru PIC18F45K22*. Microchip, 2017.
<http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/40001412G.pdf>.
- [18] *Příručka HW designu modulu SIM800C*. SIMCom, 2017.
http://www.sabreadv.com/wp-content/uploads/SIM800C_Hardware_Design_V1.00.pdf.
- [19] *Katalogový list integrovaného obvodu TXB0104*. Texas Instruments, 2017.
<http://www.ti.com/lit/ds/symlink/txb0104.pdf>.
- [20] *Katalogový list senzoru LMT85-Q1*. Texas Instruments, 2017.
<http://www.ti.com/lit/ds/symlink/lmt85-q1.pdf>.
- [21] *Katalogový list integrovaného obvodu MAX31865*. Maxim Integrated, 2017.
<https://datasheets.maximintegrated.com/en/ds/MAX31865.pdf>.
- [22] *RTD Calibration*. Mosaic Industries, 2017.
<http://www.mosaic-industries.com/embedded-systems/microcontroller-projects/temperature-measurement/platinum-rtd-sensors/resistance-calibration-table>.
- [23] Mike Looney. *Aplikační poznámka AN-0970*. Norwood: Analog Devices, 2017.
<http://www.analog.com/media/en/technical-documentation/application-notes/AN-0970.pdf>.
- [24] Mark Stitt a David Kunst. *Aplikační poznámka - SBOA023 SINGLE SUPPLY 4-20mA CURRENT LOOP RECEIVER*. Burr Brown, 1992.
<http://www.ti.com/lit/an/sboa023/sboa023.pdf>.
- [25] *Katalogový list obvodu RCV420*. Texas Instruments, 2009.
<http://www.ti.com/lit/ds/symlink/rcv420.pdf>.
- [26] *Katalogový list senzoru SHT3x-DIS*. Sensirion, 2017.
http://www.farnell.com/datasheets/1905459.pdf?_ga=2.162247612.1059028079.1514997626-119480303.1511276309&_gac=1.183136084.1511600553.CjwKCAiAxuTQBRBmEiwAAkFF1mSUeb_HuldZuqdu7a8S0yHZb9aHTVcJsRoCoHIQAvD_BwE.

Příloha A

Zkratky a symboly

A.1 Zkratky

GSM	globální Systém pro Mobilní komunikaci, původně francouzsky „Groupe Spécial Mobile“
HW	hardware
IP	internet protocol
M2M	machine-to-machine
1-Wire	komunikační sběrnice vyvinutá firmou Dallas Semiconductor Corp. pro komunikaci zařízení nízkou datovou rychlostí, signalizaci i napájením
DIN	deutsche Industrie-Norm, německá národní norma
RS485	standard sériové komunikace
RS232	komunikační rozhraní osobních počítačů a další elektroniky
LAN	Local Area Network - počítačová síť, která pokrývá malé geografické území
WiFi	standardy IEEE 802.11 popisující bezdrátovou komunikaci v počítačových sítích
USB	universal Serial Bus, univerzální sériová sběrnice primárně určená pro připojení periférií k počítači
CAN	controller Area Network, sběrnice, využívaná nejčastěji pro vnitřní komunikační síť senzorů a funkčních jednotek v automobilu
SDI-12	sériové digitální rozhraní pro inteligentní senzory
IPxx	Stupně ochrany krytem (krytí - IP kód) podle normy: ČSN EN 60529
USA	Spojené státy americké
LCD	displej z tekutých krystalů
RTD	odporový senzor teploty, z anglického Resistance Temperature Device
AD , A/D	analogově digitální
IEC	mezinárodní elektrotechnická komise, světová organizace, která vypracovává a publikuje mezinárodní normy pro elektrotechniku, elektroniku, sdělovací techniku a příbuzné obory.
PN přechod	rozhraní mezi polovodičem, u kterého jsou majoritním nosičem elektrického náboje díry a polovodičem, u kterého jsou majoritním nosičem elektrického náboje elektrony
I2C	komunikační sběrnice, z anglického Inter-Integrated Circuit
SPI	komunikační sběrnice, z anglického Serial Peripheral Interface
NH3	Amoniak
NOx	souhrnné označení pro oxidy dusíku
CO2	oxid uhličitý
MB	megabajt
IoT	internet věcí

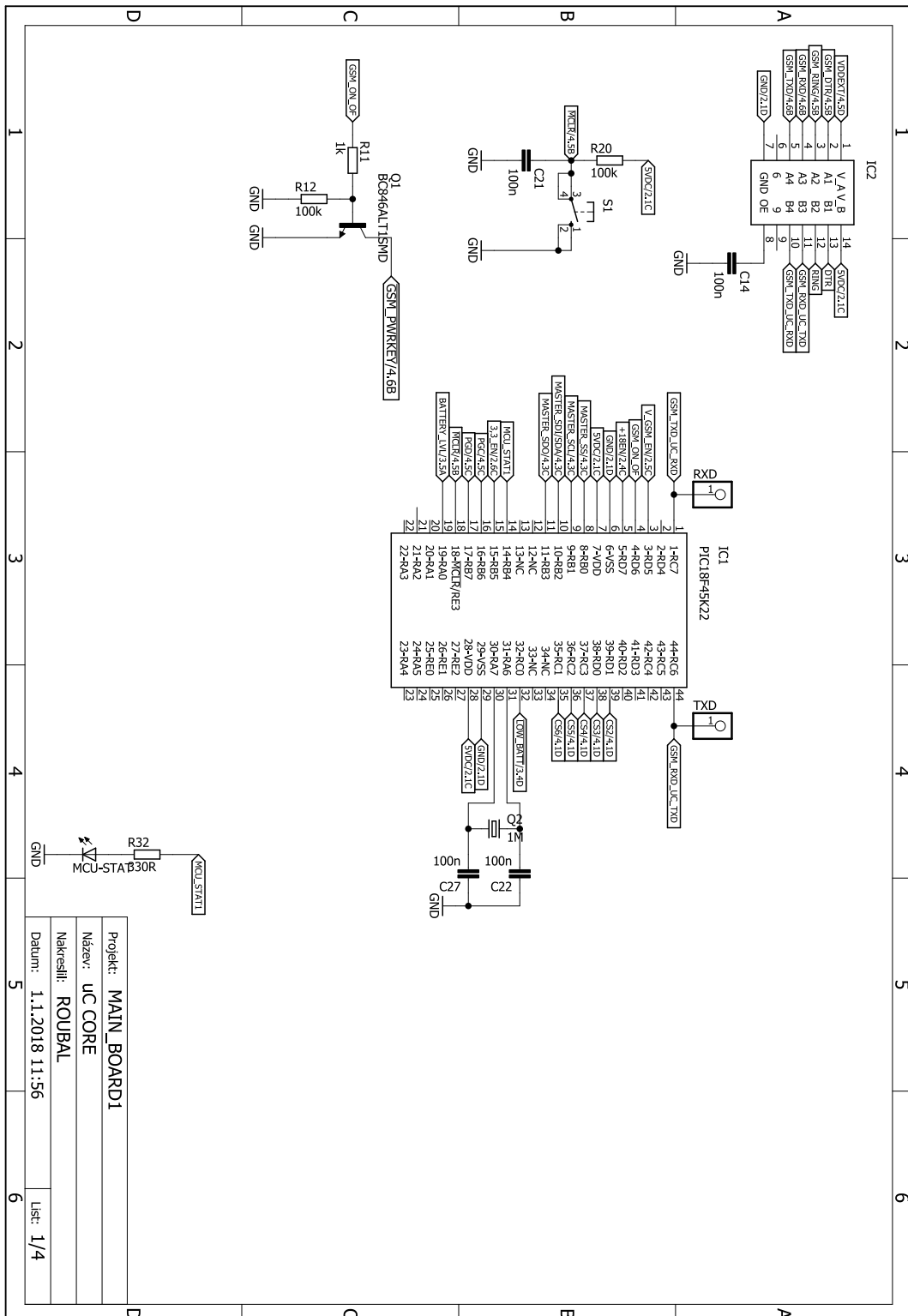
HTTP	Hypertext Transfer Protocol - internetový protokol určený pro výměnu hypertextových dokumentů
SIM karta	účastnická identifikační karta podle standardu 3GPP TS 51.011
MQTT	komunikační standard pro IoT
GND	uzemnění
MOS	tranzistor řízený elektrickým polem
MSSP	modul sériového rozhraní používaný pro komunikaci s periferiemi nebo mikrokontrolery
USART	synchronní / asynchronní sériové rozhraní
LED	svítivá dioda
TTL	tranzistorově-tranzistorová logika
IO	vstupně výstupní
PIC	rodina mikrokontrolerů firmy Microchip
EEPROM	elektronicky vymazatelná paměť
ESD	elektrostatický výboj
IEEE	Institut pro elektrotechnické a elektronické inženýrství
3D	trojdimenzionální
CAD	computer-aided drafting – počítačem podporované kreslení
PLA	polymléčná kyselina - biologicky rozložitelný polyesterový výrobek z rostlinných materiálů

A.2 Symboly

R	elektrický odpor, jednotka: (Ω)
C	elektrická kapacita, jednotka (pF)
P	barometrický tlak, jednotka (kPa)
U	elektrické napětí, jednotka (V)
E	elektromotorické napětí, jednotka (V)
α	Seebeckův koeficient, jednotka: ($\mu V/K$)
t	teplota, jednotka: ($^{\circ}C$)
I	elektrický proud, jednotka: (A)
k	Boltzmannova konstanta, hodnota: $1,38064852 \cdot 10^{-23} J \cdot K^{-1}$
T	teplota, jednotka: (K)
e	elementární náboj, hodnota: $1,6021766208 \cdot 10^{-19} C$
AH	absolutní vlhkost, jednotka ($g \cdot m^{-3}$)
m	hmotnost, jednotka: (g)
V	objem, jednotka (m^3)
RH	relativní vlhkost (%)

Příloha B

Schéma základní desky 1/4

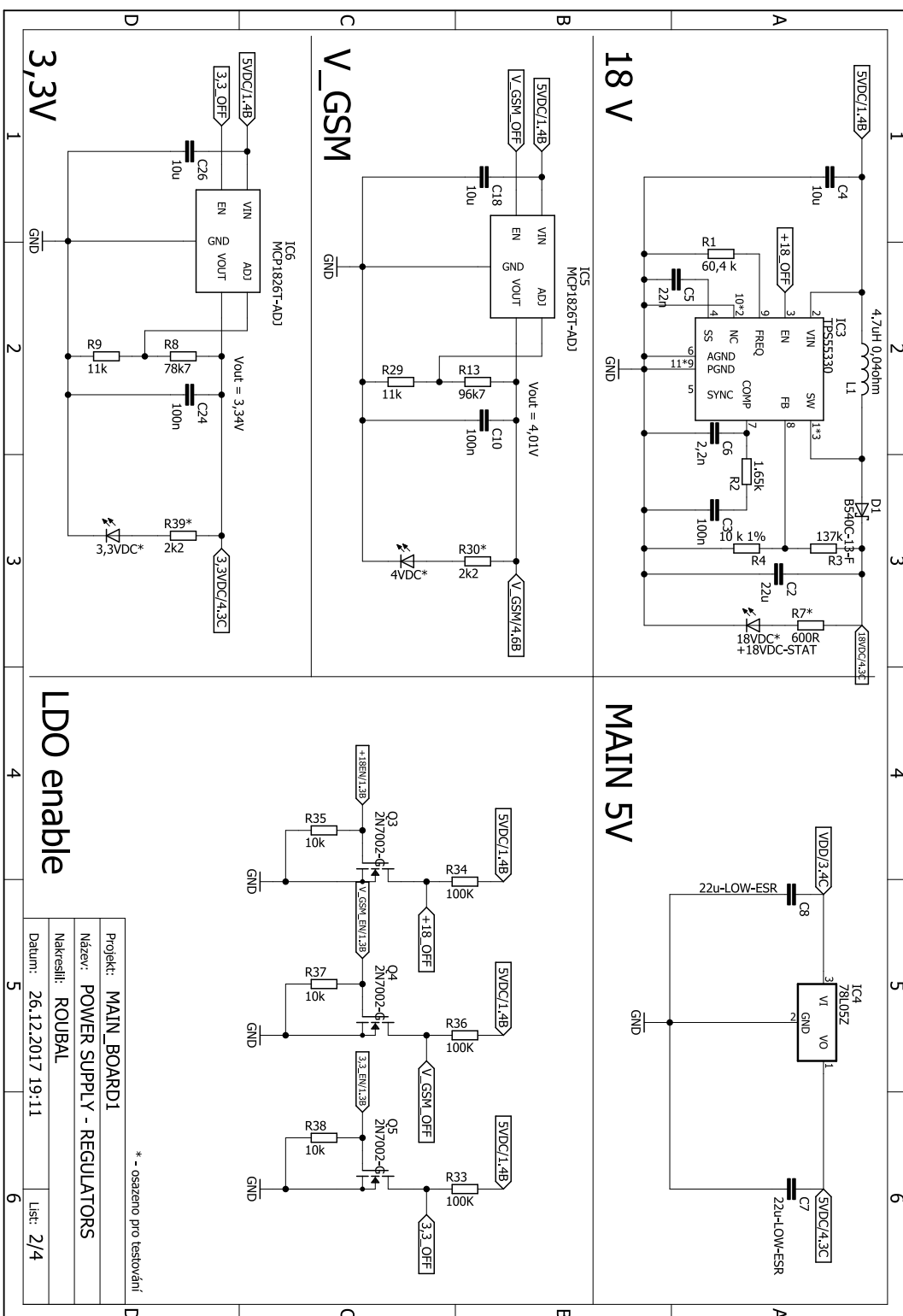


Projekt:	MAIN_BOARD1
Název:	UC CORE
Nakreslil:	ROUBAL
Datum:	1.1.2018 11:56

List: 1/4

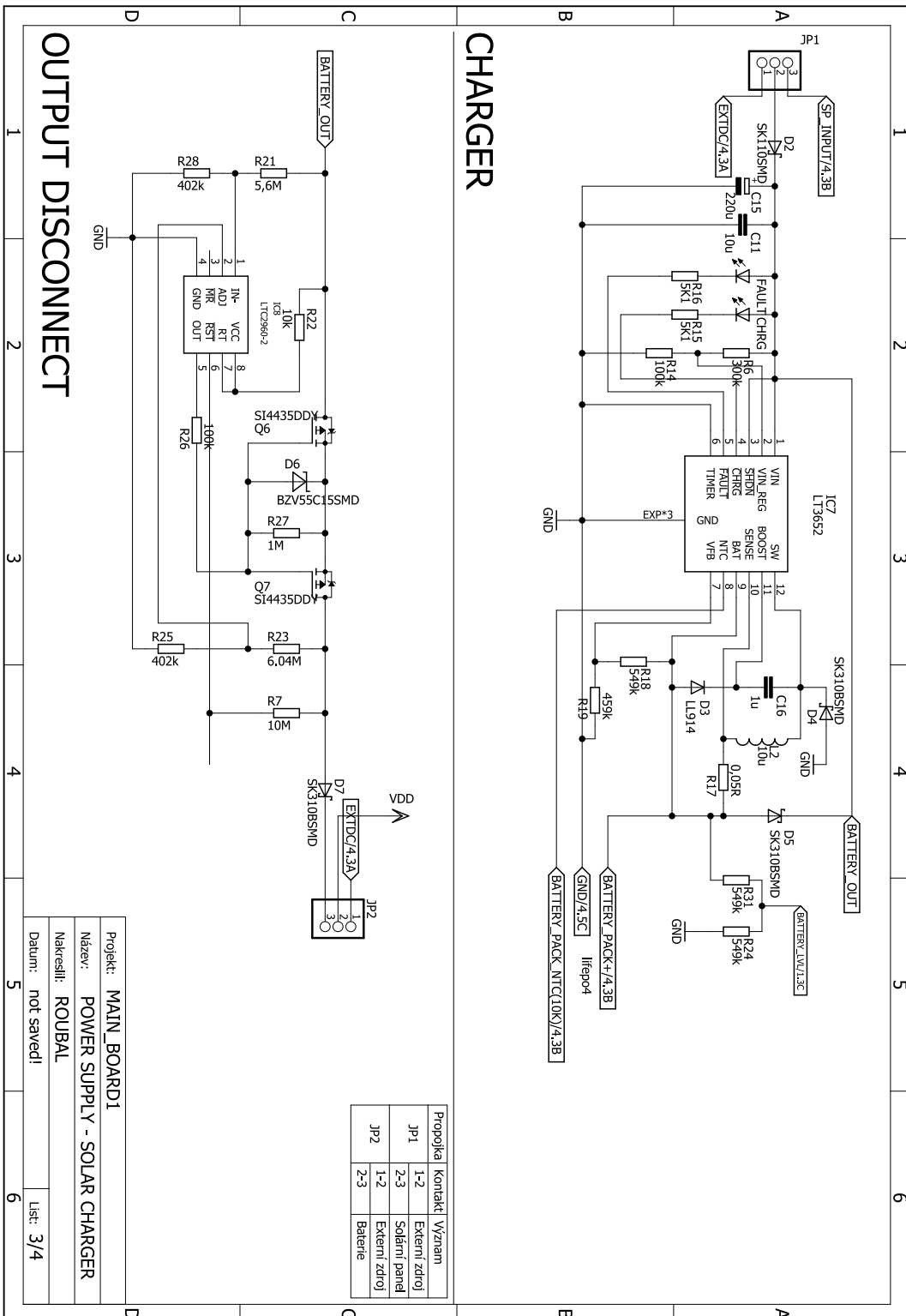
Příloha C

Schéma základní desky 2/4



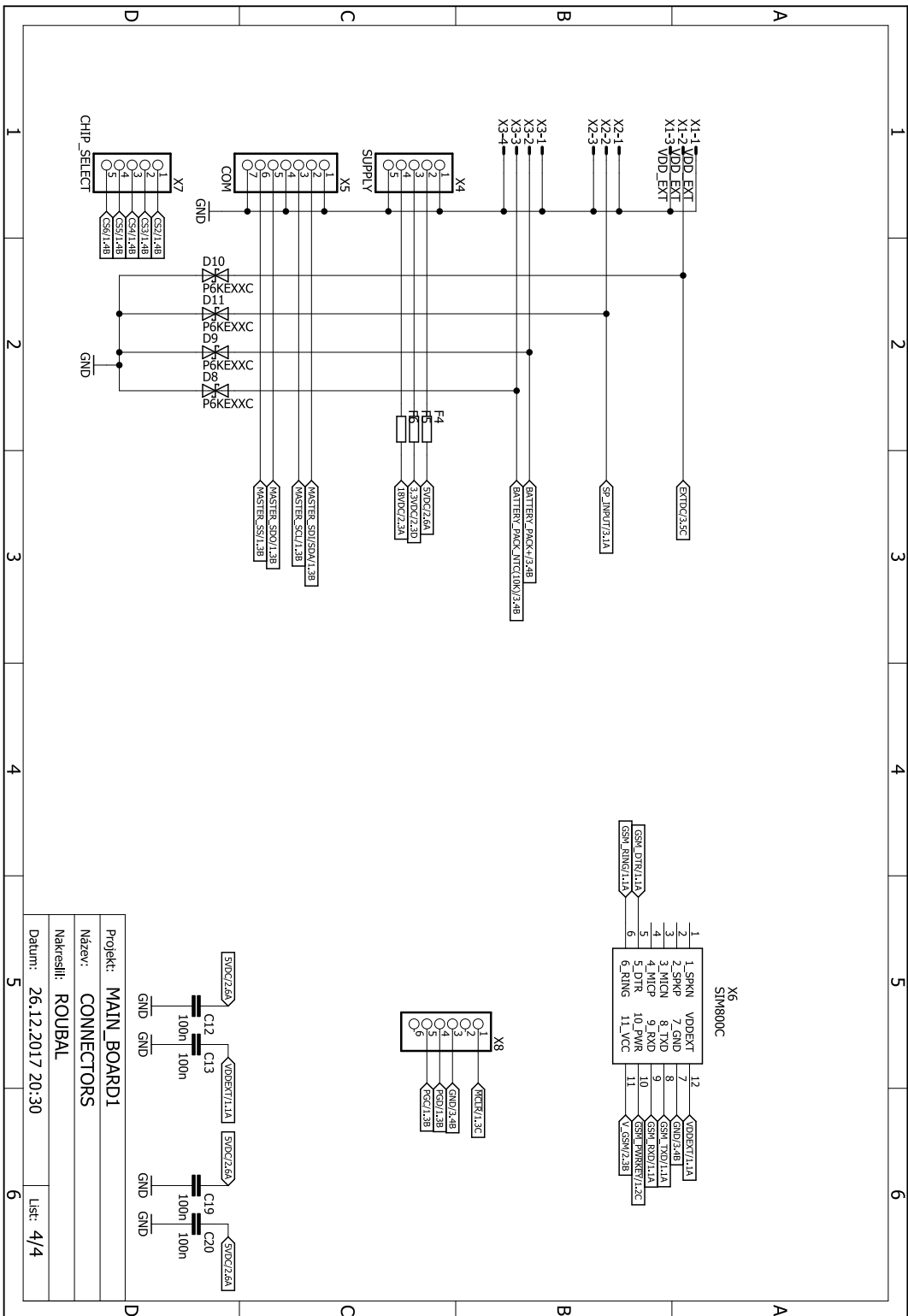
Příloha D

Schéma základní desky 3/4



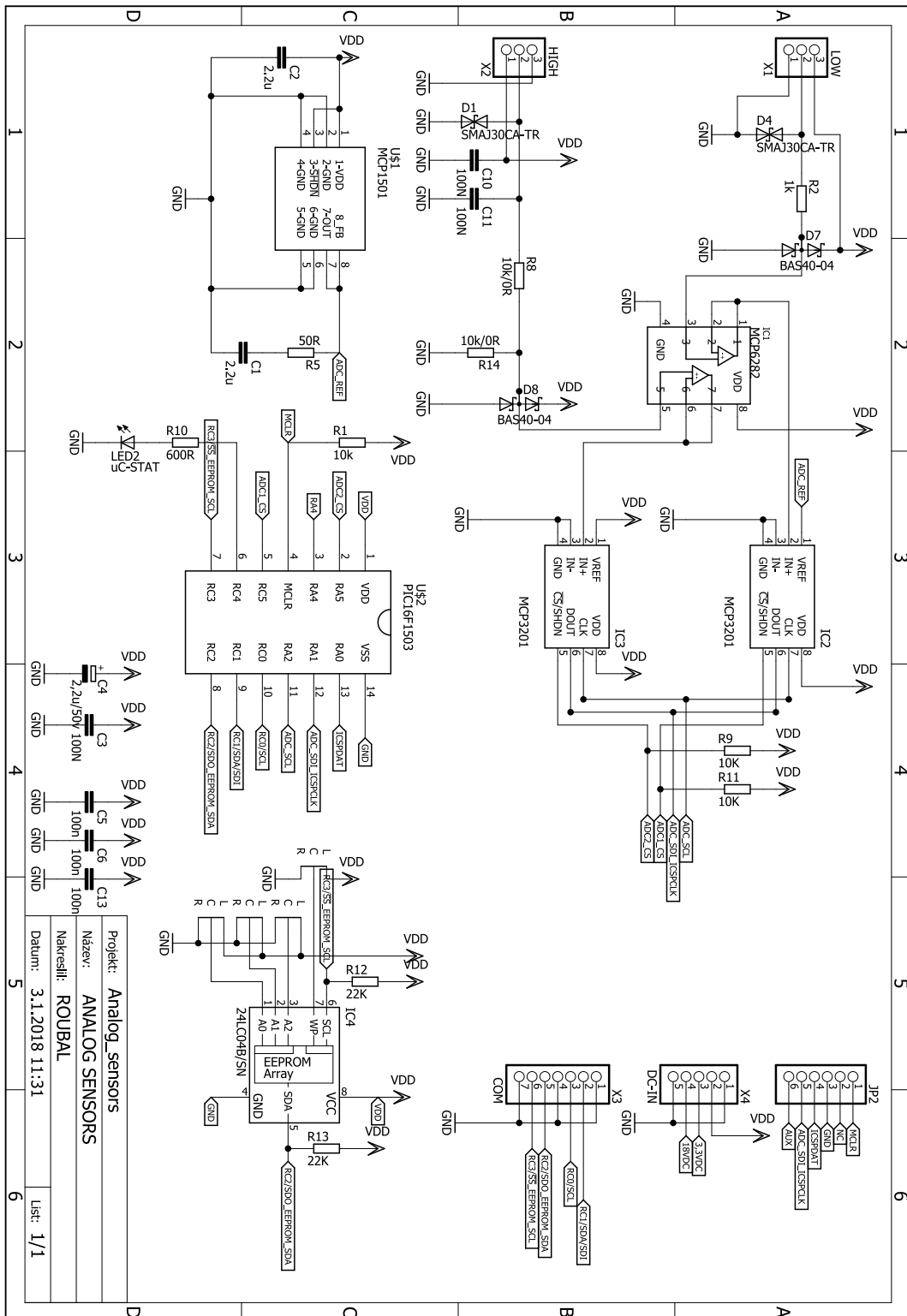
Příloha E

Schéma základní desky 4/4



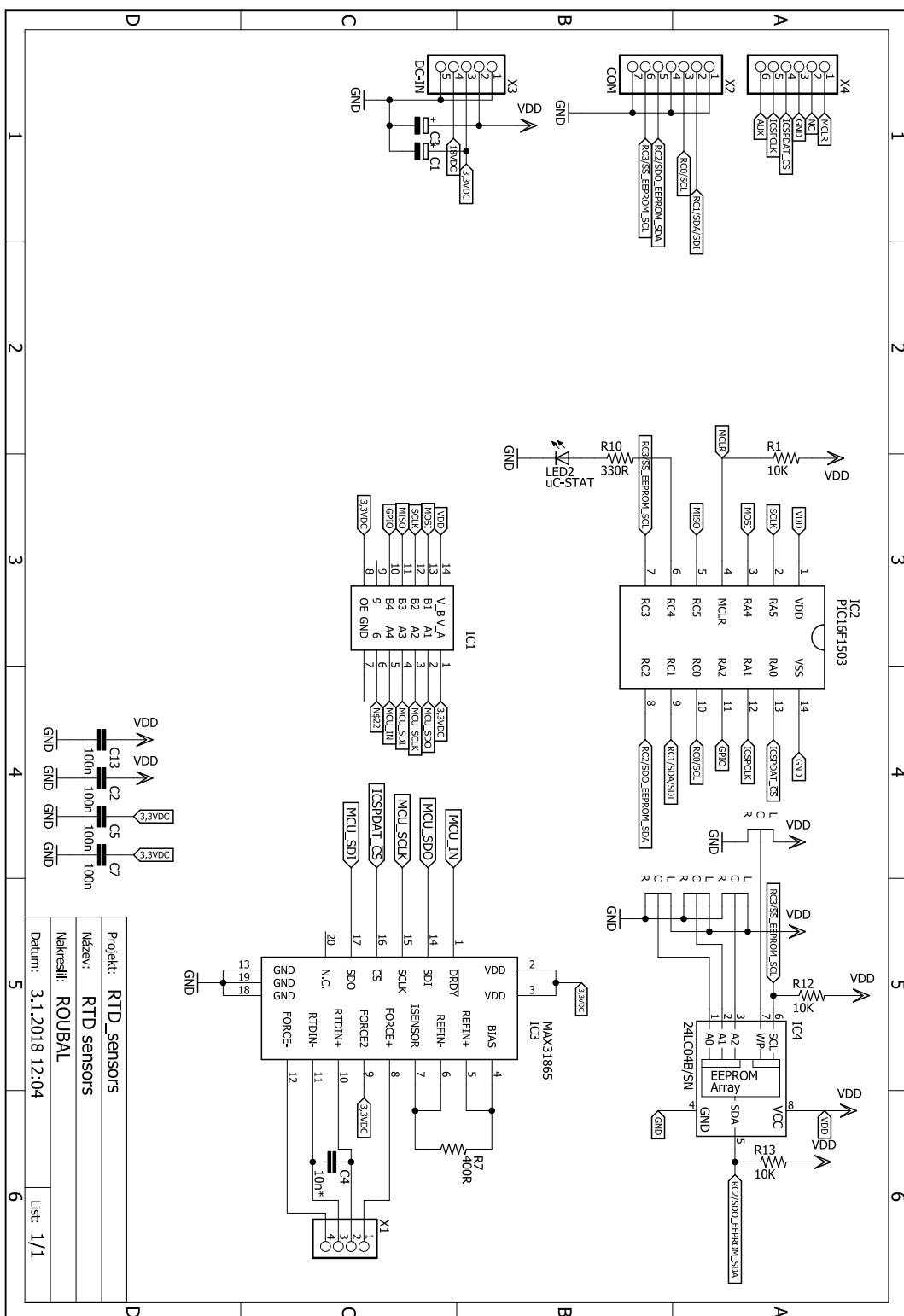
Příloha F

Schéma měřicí karty pro analogové senzory



Příloha G

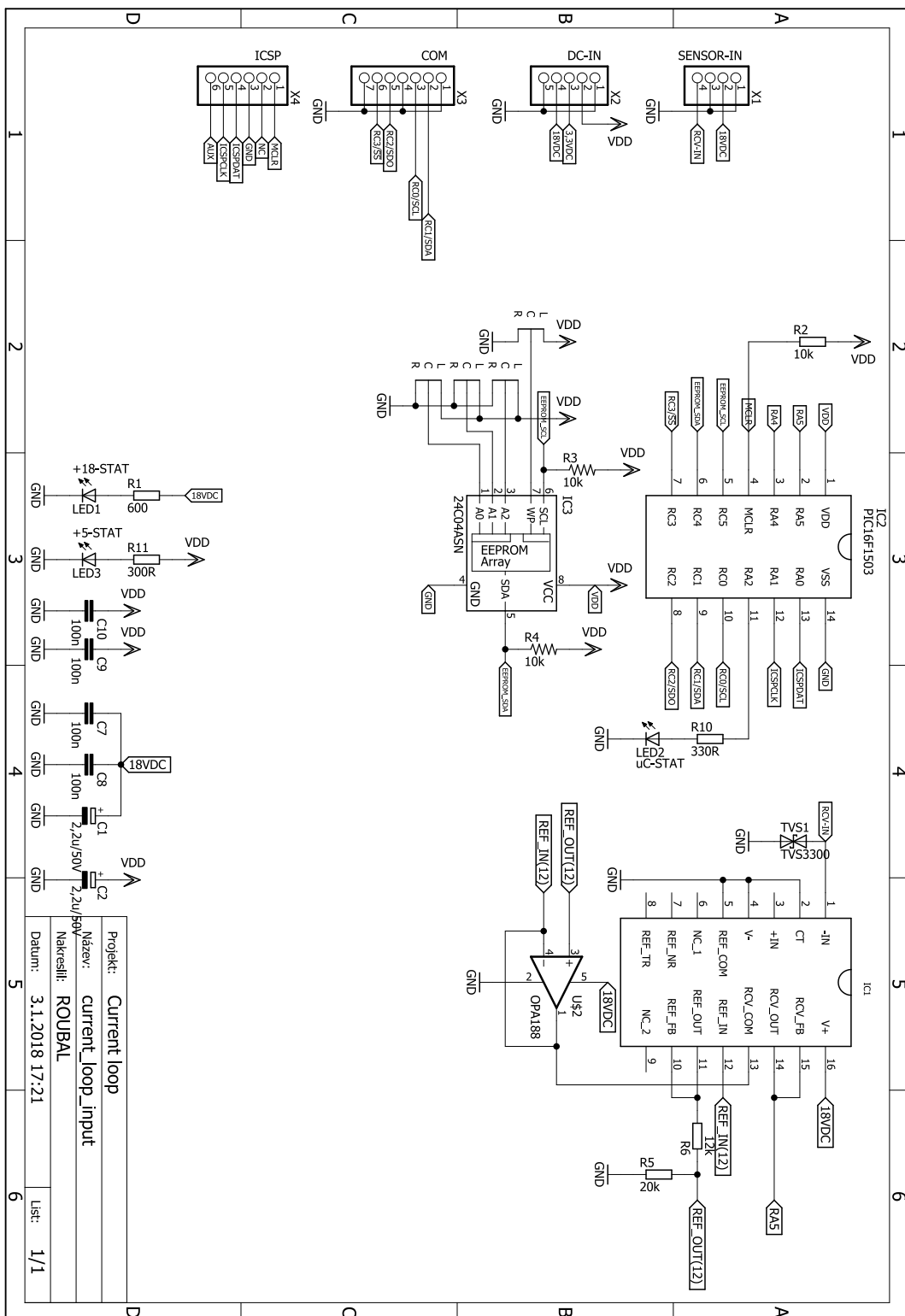
Schéma měřicí karty pro RTD senzory



Projekt:	RTD_sensors
Název:	RTD sensors
Nakreslil:	ROUBAL
Datum:	3.1.2018 12:04
Líst:	1/1

Příloha H

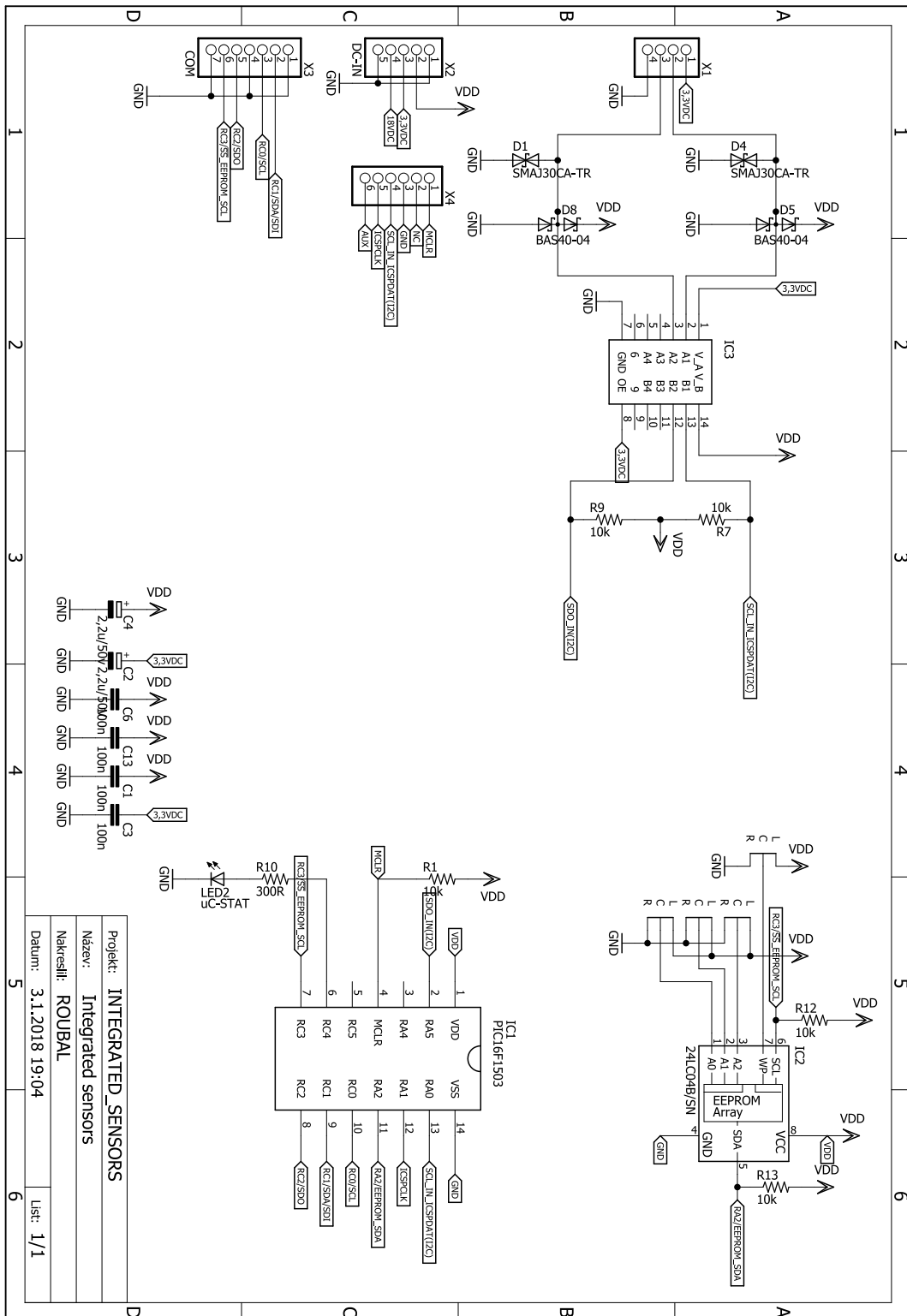
Schéma Měřicí karty pro Senzory 4-20mA



Projekt:	Current loop
Název:	current_loop_input
Nakreslil:	ROUBAL
Datum:	3.1.2018 17:21
Lišt:	1/1

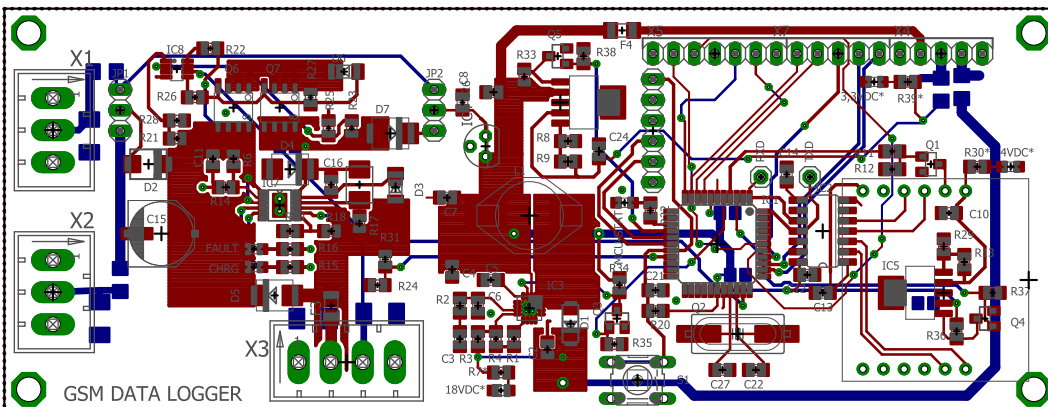
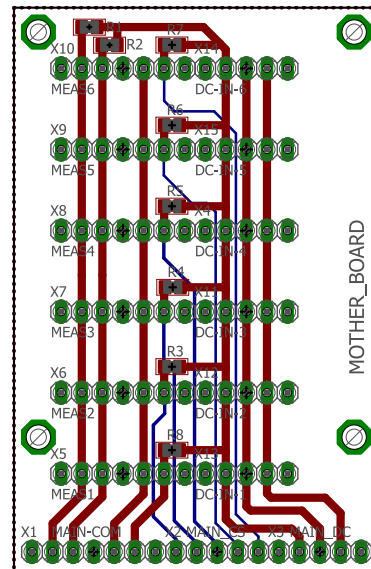
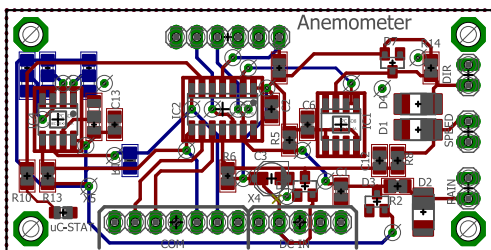
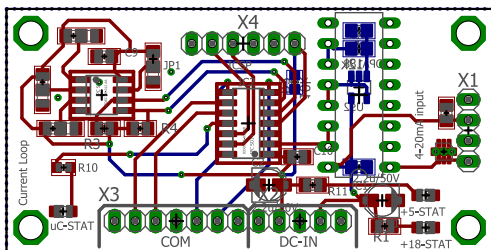
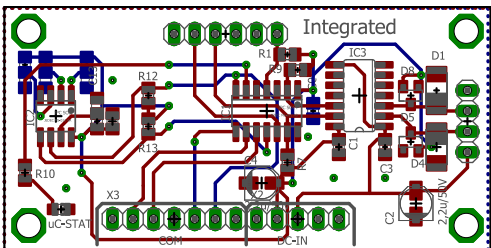
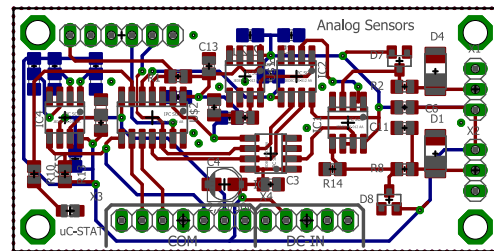
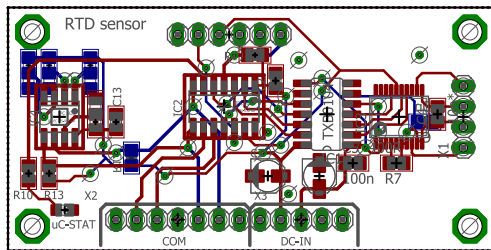
Příloha I

Schéma Měřicí karty pro Integrované senzory



Příloha J

Navržené desky plošných spojů



Příloha K

Obsah přiloženého CD

- Text práce.
- Soubory simulací v programech Tina a LTspice.
- Funkce obloužných programů.
- Navržená schémata zapojení a návrhy desek plošných spojů pro program EAGLE 7.6.0 včetně vytvořených knihoven.
- Soupiska materiálu.