



TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI
Fakulta mechatroniky, informatiky
a mezioborových studií ■

TERÉNNÍ BEZDRÁTOVÉ SNÍMAČE FYZIKÁLNÍCH A CHEMICKÝCH VELIČIN

Bakalářská práce

Studijní program: B2612 – Elektrotechnika a informatika
Studijní obor: 2612R011 – Elektronické informační a řídicí systémy
Autor práce: **Michal Dostálek**
Vedoucí práce: Ing. Miloš Hernych



ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Michal Dostálek**
Osobní číslo: **M11000149**
Studijní program: **B2612 Elektrotechnika a informatika**
Studijní obor: **Elektronické informační a řídicí systémy**
Název tématu: **Terénní bezdrátové snímače fyzikálních a chemických veličin**
Zadávací katedra: **Ústav mechatroniky a technické informatiky**

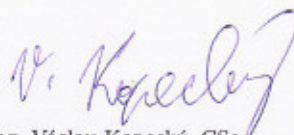
Z á s a d y p r o v ý p r a c o v á n í :

1. Seznamte se s problematikou snímání fyzikálních a chemických veličin v geochemii a geofyzice.
2. Navrhněte bezdrátový systém, který by byl schopen s minimálními energetickými nároky data získávat, přenášet a archivovat.
3. Navržený systém realizujte a ověřte jeho funkčnost.

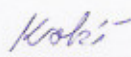
Rozsah grafických prací: dle potřeby dokumentace
Rozsah pracovní zprávy: 30–40 stran
Forma zpracování bakalářské práce: tištěná/elektronická
Seznam odborné literatury:

- [1] Holger, Karl - Willig, Andreas. Protocols and Architectures for Wireless Sensor Networks. Chichester: John Wiley and Sons, 2007. ISBN 978-0-470-09510-2.
- [2] Grudler, Peter: Chemical Sensors. Berlin, Springer, 2007. ISBN 978-3-540-45742-8.
- [3] John G. Webster and all: The Measurement, Instrumentation and Sensors. Boca Raton, CRC Press, 1999. ISBN 978-0-8493-8347-2.

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Miloš Hernych
Ústav mechatroniky a technické informatiky
Konzultant bakalářské práce: Ing. Lubomír Slavík, Ph.D.
Ústav mechatroniky a technické informatiky
Datum zadání bakalářské práce: 10. října 2013
Termín odevzdání bakalářské práce: 16. května 2014


prof. Ing. Václav Kopecký, CSc.
děkan




doc. Ing. Milan Kolář, CSc.
vedoucí ústavu

V Liberci dne 10. října 2013

Prohlášení

Byl jsem seznámen s tím, že na mou bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., o právu autorském, zejména § 60 – školní dílo.

Beru na vědomí, že Technická univerzita v Liberci (TUL) nezasahuje do mých autorských práv užitím mé bakalářské práce pro vnitřní potřebu TUL.

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

Bakalářskou práci jsem vypracoval samostatně s použitím uvedené literatury a na základě konzultací s vedoucím mé bakalářské práce a konzultantem.

Současně čestně prohlašuji, že tištěná verze práce se shoduje s elektronickou verzí, vloženou do IS STAG.

Datum:

Podpis:

Abstrakt

Tato práce pojednává o měření, zpracováním a přenosem geofyzikálních a geochemických veličin (teplota, vlhkost, průtok vody, pH) v různých geografických podmínkách a zabývá se následným návrhem systému pro jejich sběr a uchování. V první polovině práce je kladen důraz na sběr těchto dat naměřených v různých geografických podmínkách. V druhé části práce je kladen důraz na jejich zpracování a přenos při co nejmenší energetické náročnosti a největší mobilitě zařízení. Výsledkem této práce je navržený a odzkoušený systém pro sběr většiny zmíněných veličin včetně přepravy, vizualizace a archivace těchto naměřených dat.

Klíčová slova:

Bakalářská práce, měření fyzikálních veličin, mikroprocesor, bezdrátový přenos, vizualizace dat

Abstract

The objective of this thesis was to familiarize with possibilities of measurement, processing and transmission of physical quantities such as temperature, humidity, flow rate and pH in different geographical conditions and the realization of a measurement system that would be able to measure, transfer and archive acquired data. This thesis is split into two different parts. In the first part is the emphasis on the collection of data measured in different environmental conditions and in the second half of this work we are focusing our efforts to the processing and transfer these measurements with minimum energy consumption and with high mobility of the equipment. The designed hardware can handle most of these quantities and is able to transfer, store and display the acquired data.

Key words:

Bachelor thesis, measurement of physical quantities, microprocessor, wireless data transfer, data visualization

Obsah

Úvod.....	10
1 Popis problému, specifikace cíle	11
1.1 Měření fyzikálních veličin	11
1.2 Metody přenosu naměřených dat	11
1.2.1 Bluetooth.....	11
1.2.2 X-Bee, ZigBee	12
1.2.3 WiFi	12
1.2.4 LT2510.....	12
1.3 Metody komunikace mezi jednotlivými prvky systému	12
1.3.1 EUSART	13
1.3.2 SPI.....	13
1.3.3 I ² C	13
1.4 Metody archivace dat	14
1.4.1 SW archivace	14
1.4.2 Paměťová média	14
2 Analýza a návrh řešení.....	15
2.1 Čidla, senzory.....	15
2.2 Teplota.....	15
2.2.1 Teplotní senzor LM92	15
2.2.2 Teplotní čidlo PT 1000	15
2.3 Vlhkost	16
2.3.1 Psychrometr	16
2.3.2 Mechanický hygrometr	16
2.3.3 Elektronický hygrometr	16
2.3.4 Senzory rosného bodu.....	16
2.3.5 X-heat senzory	16
2.4 pH.....	17
2.5 Přenos signálu	17
2.5.1 Analýza modulů a jejich konektivity	17
2.5.2 BTM222.....	17
2.5.3 LT2510.....	18
2.5.4 OWL221a.....	18

2.6	Návrh zapojení pro použití v našem zadání	18
2.7	SW řešení	18
2.7.1	Přerušování uP	18
2.7.2	Komunikace s moduly	18
2.8	Komunikace s PC	19
2.8.1	USB deskriptor	19
2.8.2	SW pro příjem dat	19
2.9	Zpracování chyb měřených hodnot	19
3	Realizace práce	20
3.1	Návrh teplotního čidla	20
3.2	Návrh čidla pro měření vlhkosti	21
3.2.1	Popis funkce:	22
3.2.2	Popis SW řízení a odesílání dat:	22
3.2.3	Převod teploty na vlhkost	22
3.2.4	Psychrometrická rovnice	23
3.3	Návrh čidla pro měření pH	25
3.4	Návrh celého systému	27
3.5	Senzor	28
3.5.1	Čidlo	28
3.5.2	RTC	28
3.5.3	Převodník	28
3.5.4	Procesorová jednotka	29
3.5.5	Napájení	29
3.5.6	Komunikační jednotka	30
3.6	Sběrný bod	31
3.6.1	Základní deska	31
3.6.2	Komunikační jednotky	32
3.6.3	Archivace	34
3.6.4	Napájení	34
4	Shrnutí naměřených a pozorovaných výsledků	35
4.1	Shrnutí jednotlivých měření	35
4.1.1	pH	35
4.1.2	Teplota	35
4.1.3	Vlhkost	36

4.2	Energetická náročnost systému	36
4.3	Stabilita systému	37
5	Závěr	38
5.1	Zhodnocení.....	38
5.2	Diskuze dalšího možného pokračování.....	38
	Použitá literatura	39
A.	Příloha: Seznam obrázků	40
B.	Příloha: Seznam tabulek	41
C.	Příloha: Obsah disku CD-ROM.....	42

Seznam symbolů a zkratk

Zkratka	Vysvětlení
ADC	Analog to Digital Converter - převodník analogových veličin na digitální data
COM	Komunikační metoda dvou bodů po sériové lince
HW	Hardware
SW	Software
IDE	Integrated Development Enviroment - Vývojové prostředí
MCLR	Master clear - pin procesoru pro hardwarový reset
MS	Microsoft
RX	Komunikační pin hardwarového rozhraní pro příjem dat
TX	Komunikační pin hardwarového rozhraní pro vysílání dat
uP	Mikroprocesor
I2C	správně I ² C - metoda sériového přenosu dat
SPI	Serial Peripheral Interface - metoda sériového přenosu dat
ČTÚ	Český telekomunikační úřad
EUSART	Sériové synchronní/asynchronní rozhraní

Úvod

Fyzikálními veličinami rozumíme jakoukoliv objektivní vlastnost hmoty, která je měřitelná či počítatelná[1]. Ve většině případů se jedná o nepřímé měření těchto veličin využívající fyzikální vlastnosti různých prvků. Například pro měření teploty lze využít teplotní čidla z libovolného kovu, jelikož víme, že jejich elektrické vlastnosti se mění s jejich teplotou. Nejčastěji používáme čidla z platiny či jiných kovů, které mají při určité teplotě hodnotu elektrického odporu danou tabulkami či vzorcem a vliv teploty na ně, bývá téměř lineární. Tyto typy čidel označovány jako RTD se dělí dle vlastností, ale o tom více v samostatné kapitole věnované této problematice. Další vlastnosti, které lze měřit pro získání teploty jsou například roztažnosti materiálů, vyzařování určité intenzity záření daného spektra a jiné, ale žádný z těchto způsobů neměří teplotu přímo. Cílem této práce je vymyslet a realizovat řešení pro měření takovýchto fyzikálních veličin a následný přenos dat s možností jejich archivace. Díky častému měření, které probíhá mimo laboratorní zázemí, je pro užití tohoto systému žádoucí, aby byl co nejvíce mobilní a energeticky nenáročný. Z tohoto důvodu klade tato práce důraz na bezdrátový přenos naměřených dat, což zvyšuje jeho mobilitu a zároveň je při jeho tvorbě zohledňován i faktor co nejvyšší možné úspory energie. Takto realizovaný systém by měl být schopen měřit hodnoty fyzikálních a chemických veličin například v okolí chemických komplexů, v lese, uvnitř budovy, na otevřeném prostranství či v těžbařském průmyslu. Z tohoto důvodu se nelze spoléhat na některá čidla, která je možné zakoupit pro měření námi požadovaných veličin. Problém, se kterým se zde setkáváme, je rozsah měřitelných hodnot těchto čidel a jejich přesnost, která v krajních hodnotách bývá minimální. Díky tomuto jevu je nutné zvolit jinou, lepší, metodu pro získání požadovaných dat. Dalším omezujícím prvkem, se kterým se během práce pravděpodobně setkáme, je samotný přenos dat, který je zatížen zarušením okolí na které má vliv mnoho faktorů, či faktory jako jsou velikost prostoru pro šíření informace, vzdálenost potřebná pro přenesení informace, normy ČTÚ a podnebí či počasí, které se vyskytuje v dané lokalitě, kde probíhá samotné měření. Tato práce se též zabývá samotným převodem a zpracováním naměřeného signálu na reprezentovatelná data, jelikož pro číslicové zpracování dané fyzikální veličiny je nutné analogová data převést na shluk jedniček a nul, tedy data digitální. Samotná vizualizace dat pak musí proběhnout pomocí dekódování na reprezentovatelnou hodnotu, kterou jsme pomocí určitého rozhraní schopni přečíst.

1 Popis problému, specifikace cíle

Cílem této práce je vhodná volba měřících metod a jejich aplikace v měřicím systému, který by měl být schopen data nejenom získat, ale též je přenést a archivovat za co nejnižších energetických nároků. V této kapitole se budeme zabývat teorií možných technologií, které by se daly pro řešení tohoto konkrétního problému využít.

1.1 Měření fyzikálních veličin

Měření fyzikálních a chemických veličin je zpravidla nepřímou metodou měření, jelikož získané data nejsou samotnou veličinou, ale veličinou, kterou tento jev ovlivní na daném čidle. Jako příklad si můžeme vzít metodu měření teploty, jednou z možností je měření odporu nám známých prvků, součástek a následně vytvoření nějakého algoritmu či vzorce pro převod takto získaných dat, na původní tedy měřená data. Další možností je měření teploty pomocí roztažnosti nějaké nám známé látky či vznikem elektrického napětí na dvou koncích různých prvků. Ovšem ani jedna z těchto metod neměří přímo tuto fyzikální veličinu, ale její vliv na jednotlivé fyzikální veličiny daného prvku. Při tomto procesu ovšem narážíme na ovlivňování i zbylých komponent daného senzoru a tím na určité ovlivnění měřeného výsledku. Dalším faktorem je například linearita či nelinearita dané veličiny, kterou měříme. V poslední řadě zde máme problém převodu analogové veličiny na (pro nás zpracovatelnou) digitální veličinu. K tomuto procesu je nutné použití takzvaného AD převodníku (ADC), který má opět jisté parametry (rozlišení, rychlost vzorkování) a s nimi i určitou možnost výskytu chyby.

1.2 Metody přenosu naměřených dat

Metod pro přenos již získaných dat je nespočetné množství, vezmeme-li, nám známou škálu přenosových médií, se kterými se setkáváme v každodenním životě, budeme schopni najmenovat alespoň několik technologií (WiFi, rádio, Bluetooth, optické přenosové cesty, metalické přenosové cesty, GPRS, GSM aj.), ovšem ne každá z těchto technologií je vhodná pro průmyslové řešení. Nevýhodou všech „drátových“ médií je jejich nízká mobilita, zatímco u bezdrátových médií je tato mobilita ovlivněna pouze dosahem vysílače a přijímače. Tento dosah ovlivňuje spousta faktorů, jakými jsou například výškový výkon (při vysílání se přijímač chová jako pasivní prvek), typ prostředí mezi koncovými body, vlnová délka vysílaného signálu, normy a nařízení ČTÚ. Pro naše účely díky potřebě vysoké mobility, připadají v úvahu pouze bezdrátové metody a je nutné se na ně podívat podrobněji a provést jejich analýzu možností.

1.2.1 Bluetooth

Bluetooth je jednou z možností bezdrátového přenosu, jeho nosná frekvence je 2,4GHz, což je stejná frekvence jako například u WiFi, tato technologie byla vyvinuta společenstvím Bluetooth Special Interest Group. Samotná technologie bluetooth byla označována jako standard 802.15.1 ovšem od tohoto značení se odešlo. Pro samotný přenos dat využívá technologie FHSS (Frequency Hopping Spread Spectrum), což umožňuje změ-

nu kanálu. Přesněji dojde k 1600 přeskokům mezi kanály s rozestupem 1MHz jenž má za následek zvýšení odolnosti spojení, vůči rušení na stejné frekvenci. Z původní tabulkové hodnoty bluetooth 2.1 by bylo možno soudit, že dosah na našich modulech bude do 100m jelikož tyto moduly disponují 100mW (20dB) výkonem. Z měření na modulech se ovšem ukázalo, že s vhodnou volbou antény a snížením přenosové rychlosti je možné data posílat mnohem dále.

1.2.2 X-Bee, ZigBee

Oba výše zmíněné standardy jsou také označovány jako 802.15.4, což naznačuje určitou podobnost se standardem Bluetooth, další podobností je jeho plánované určení pro síť PAN do 75m, tato technologie disponuje 128bit symetrickým šifrováním. Jednou z odlišností je nosná frekvence, X-Bee a ZigBee pracuje na frekvencích 868MHz, 915MHz a 2,4GHz. Díky postupující oblibě tohoto standardu, je možné tyto moduly využívat v mesh strukturách a to při snížení komunikační rychlosti až do vzdálenosti 42km bez porušení norem ČTÚ, což je obrovský nárůst přenosové vzdálenosti. Bohužel tento údaj je pouze orientační (datasheet výrobce) a udáván za optimálních podmínek na otevřeném prostoru.

1.2.3 WiFi

Neboli technologie skrývající se za standardem 802.11. Tato technologie je nejčastěji využívána pro počítačové bezdrátové sítě na nosných frekvencích 2,4GHz a 5GHz. Jelikož se jedná o nejpoužívanější technologii pro přenos dat, má spoustu dodatků, které se označují písmenem za 802.11, tyto dodatky specifikují nosnou frekvenci, vymezení kanálů, komunikační rychlosti a jiné. S ohledem na jeho rozšířenost se tato technologie zdá být asi nejlepší volbou pro naše účely, ale o tom již více v kapitole 4 Shrnutí naměřených a pozorovaných výsledků.

1.2.4 LT2510

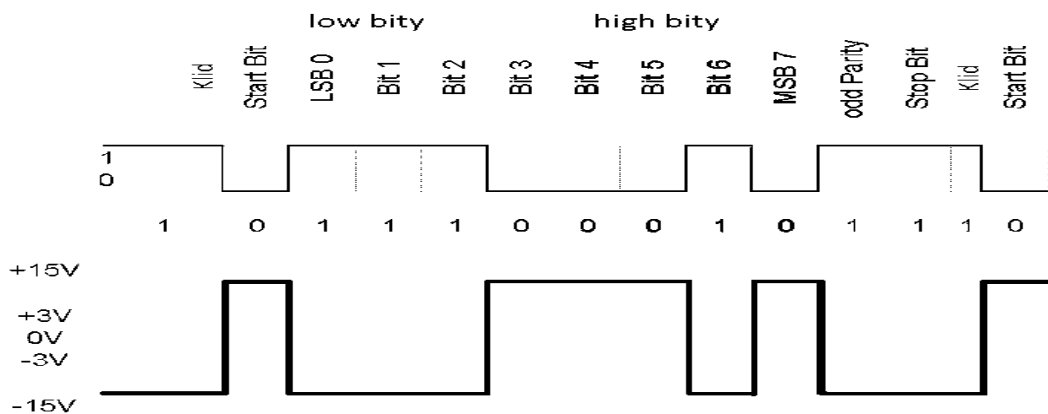
LT2510 je standard firmy LairdTech pracující opět na frekvencích 900MHz a 2,4GHz. Obě tyto varianty využívají FHSS stejně jako bluetooth technologie, což je dělá stabilnějšími proti rušení. Samotnou funkcí se moc neliší od BTM222 (Bluetooth), jejich dosah není nikde uveden a bylo nutné jej odzkoušet (více opět v kapitole 4 Shrnutí naměřených a pozorovaných výsledků).

1.3 Metody komunikace mezi jednotlivými prvky systému

Jelikož každý samostatný celek (ADC, mikroprocesor, komunikační modul ...) je nutné propojit s ostatními celky, je nutné zde zvolit vhodnou komunikaci. Většina průmyslově vyráběných modulů disponuje komunikačními protokoly UART, SPI či I2C, ale jsou zde i ostatní jako je CAN, Ethernet, Dallas aj. Pro naše účely je nutné, aby tato technologie byla podporována jak procesorem, tak samotným modulem, z tohoto důvodu připadají v úvahu pouze 3 následující technologie: SPI, I2C, UART.

1.3.1 EUSART

Sériové synchronní/asynchronní rozhraní, nejčastěji používané v asynchronním režimu (RS 232, EIA 485). Jelikož se jedná o protokol, který je hardwarově implementován na většině mikroprocesorů a komunikačních modulů, je tato varianta výbornou volbou pro komunikaci drátově či bezdrátově. Navíc velkou výhodou je jeho výborná možnost konverze na jiné standardy různými čipy. Například čip MCP2200 či FT232 umožňují konverzi na USB, RS232 a EIA-485. Pro samostatné programování je možnost využití již připravených registrů a další výhodou je možnost využití prioritních přerušení, které nám umožní při změně stavu okamžitě reagovat na požadavek, který přenosem vznikl. Jedinou nevýhodou je nemožnost využívání dvou UARTů paralelně na procesorech firmy microchip řady 18fxxk22, což jsem se dozvěděl teprve jejich použitím. Pro porovnání UARTu a RS232 poslouží následující obrázek na kterém je vidět, že RS232 má oproti UARTu logickou hodnotu jedna od -3 do -15V.



Obrázek 1-1: Rozdíl mezi UARTem (nahore) a RS232

1.3.2 SPI

Tato zkratka označuje technologii Serial Peripheral Interface, jedná se o synchronní sériový přenos dat na principu master-slave, adresace zařízení je prováděna pomocí vodiče chip select, jedná se o 3–4 vodičovou komunikaci kde na vodičích máme sériový vstup, výstup a hodinový signál. Tento komunikační protokol využívají AD převodníky, jež byly zvoleny pro získávání dat při psychrometrické metodě a pro komunikaci s SD kartou.

1.3.3 I²C

Jedná se opět (jako u SPI), o sériovou synchronní komunikaci, která nám ovšem umožňuje komunikaci po dvou vodičích (DATA a Hodinový signál). Oba tyto vodiče musí být přes pull-up rezistory připojena na napájecí napětí a jejich hodnota je závislá na komunikační rychlosti. V našem případě využíváme obousměrnou komunikaci s rychlostí 400kbit/s a z tohoto důvodu byly rezistory zvoleny s hodnotou odporu 4,7k. Samotná komunikace probíhá inicializací I2C modulu a zadáním adresy slave modulu, který pošle ACK (potvrzení) o navázání komunikace. I2C bylo v našem případě využito

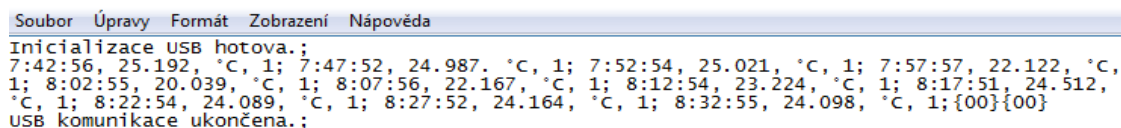
při komunikaci s displejem, teplotním čidlem LM92 aj. Z osobního pohledu je tento systém povedenou a uživatelsky příjemnou komunikační metodou. V kapitole 4 Shrnutí naměřených a pozorovaných výsledků je přehled naměřených hodnot na této komunikaci.

1.4 Metody archivace dat

V posledním bodě této teoretické části se budu věnovat archivaci naměřených dat, jednou z úvah bylo přidání samostatného paměťového modulu s SD kartou na senzory, jelikož jsem tuto variantu zcela nezavrhnu, je na senzorech možnost připojení modulu pro SD kartu a tím je umožněna archivace bez využití koncového bodu. Tato funkce ovšem není primárně zapnuta (program je zakomentován) a její pozici nahradil AD převodník ADS1247. Primárně pro archivaci dat slouží sběrný bod připojitelný pomocí USB rozhraní k PC. K samotné archivaci je možno využít SD modulu na sběrném bodě, či data získaná po sériové lince pomocí programu v PC a jejich následný export do tabulkových procesorů pro lepší zpracování.

1.4.1 SW archivace

Softwarová archivace je možná v případě připojení PC či notebooku ke sběrnému bodu, k extrakci dat ze sběrného bodu slouží program, který data převede do textového souboru. Takto získaná data je pak možno importovat do tabulkových procesorů a provést základní úpravy, vložit grafy a provést operace poskytující daný editor.



```

Soubor  Úpravy  Formát  Zobrazení  Nápověda
Inicializace USB hotova.;
7:42:56, 25.192, °C, 1; 7:47:52, 24.987, °C, 1; 7:52:54, 25.021, °C, 1; 7:57:57, 22.122, °C,
1; 8:02:55, 20.039, °C, 1; 8:07:56, 22.167, °C, 1; 8:12:54, 23.224, °C, 1; 8:17:51, 24.512,
°C, 1; 8:22:54, 24.089, °C, 1; 8:27:52, 24.164, °C, 1; 8:32:55, 24.098, °C, 1; {00}{00}
USB komunikace ukončena.;

```

Obrázek 1-2: Textový soubor po exportu

Formát dat: ČAS, HODNOTA, VELIČINA, ID SONDY;

1.4.2 Paměťová média

Jelikož pro archivaci pomocí nějakého SW je zapotřebí připojený zapnutý počítač, je to poměrně náročné na umístění sběrného bodu (musí být zhruba do 4 m od PC) a na požadavky ohledně techniky (PC, NB). Z tohoto důvodu je nutné umožnit archivaci v případě, že tato zařízení nebudou k dispozici. Na samostatné paměťové médium není kladen až tak vysoký nárok, musí být energeticky nezávislé a odolné proti změnám teploty, jelikož se jedná o terénní snímače. Z těchto dvou požadavků vznikl nápad využití paměti EEPROM, či paměťové karty (SD/MMC), jelikož pro extrakci dat je potřeba přenositelnosti média, byla vybrána SD karta, tyto paměťové karty jsou schopny pracovat od -45°C , do 85°C což jsou údaje srovnatelné s pracovní možností jednotlivých komponent. SD karta má navíc poměrně jednoduchý způsob zápisu. Pro samostatný zápis není potřeba žádného modulu, jelikož s použitím vhodných knihoven lze využít integrované SPI technologie na námi použitém procesoru firmy Microchip (a jiných).

2 Analýza a návrh řešení

2.1 Čidla, senzory

Jelikož je naším úkolem měřit, neobejdeme se bez jednotlivých čidel a senzorů. Pro ujasnění situace je nutné si tyto dva pojmy definovat. Čidlem rozumíme snímací prvek měnící jednu veličinu na jinou, pro nás měřitelnou veličinu, jakou je například napětí (pH čidla) či elektrický odpor (teplotní čidlo PT1000). Senzor je pak systém skládající se z čidla a elektroniky umožňující práci s danou veličinou (AD převod, ošetření nebezpečných stavů, zajištění stability, linearizace aj.).

2.2 Teplota

Měření teploty je pro nás jedním z nejdůležitějších témat, jelikož teplotu využijeme i v ostatních měřeních, jako doplněk pro určení správné hodnoty jiných veličin, například pH sonda je velmi teplotně závislá a vlhkost díky využití psychrometrické metody, je přímo závislá na teplotě, kde snímáme teplotu s vysokým rozlišením pro určení rozdílu dvou teplotních čidel (více v kapitole 3.1.2 Vlhkost). Pro snímání teploty okolí v běžném prostředí (domácnost, kancelář, louka) nám postačí senzor, který je možné koupit jako celek, ovšem pro měření teploty s vysokou přesností je potřeba si takovýto senzor postavit. Jako čidlo pro tento senzor se dá využít například PT 100 či PT 1000.

2.2.1 Teplotní senzor LM92

Řada LMxxx od firmy Texas Instruments je řada senzorů teploty disponujících komunikačním rozhraním I2C a analogově digitálním převodníkem od 12 do 16bitů. Každá řada má jiné vlastnosti, jiné tolerance. V našem případě využíváme LM92 (datasheet přiložen na CD), který disponuje 12bitovým převodníkem. V defaultním nastavení je rozlišení 0,0652°C na 1bit. Což znamená, že v případě kdy na výstupu čidla máme 000 1001 0000 tak se jedná o hodnotu 26,08°C. Jelikož krok je poměrně velký, není tento senzor vhodný pro měření vlhkosti psychrometrickou hodnotou, ale postačí jako informační hodnota pro pH sondu či pro indikaci teploty okolí v běžném prostředí. Dle výrobce je maximální možná odchylka 0,33°C v krajních bodech, které je možné upravit pomocí registrů v senzoru a tím si vybrat vlastní oblast měření a omezit chybu hodnoty a velikost kroku.

2.2.2 Teplotní čidlo PT 1000

Čidla PT 100 a PT 1000 jsou čidla založená na vlastnosti změny elektrického odporu v závislosti na jejich teplotě. Jelikož rozdíl těchto čidel je v jejich hodnotě odporu, bylo vhodné použít PT 1000 která má při 0°C hodnotu odporu 1000Ω a jeho hodnota odporu je dána vztahem: $R_t = 1000 \cdot (1 + 3,9083 \cdot 10^{-3} \cdot t - 5,775 \cdot 10^{-7} t^2 - 4,183 \cdot 10^{-12} (t-100)t^3)$ což nám dává jistou představivost, že čidlo není úplně lineárně závislé, ale vliv nelinearity je dostatečně nízký pro možnost využití těchto čidel.

2.3 Vlhkost

2.3.1 Psychrometr

Po provedené rešerši bylo rozhodnuto, že by bylo vhodné použít takzvanou psychrometrickou metodu měření vlhkosti, která spočívá v měření tzv. mezního adiabatického ochlazení - realizuje se jako ochlazení vodou nasáklého teploměru, v proudu vzduchu. Takto upravený teploměr se nazývá mokřý teploměr. Jelikož voda se snaží odpařovat, dochází k ochlazení tohoto teploměru. Následně se provede porovnání suchého a tohoto nasáklého teploměru. Ze vztahu: $\Delta t = t - t_m = (p_{VM}^U - p_v) \cdot \frac{1}{A \cdot p}$

kde: Δt [K] je psychrometrický rozdíl teplot, t je teplota vzduchu, zde je zvykem jí nazývat teplota suchého teploměru - je měřena neupraveným, tedy suchým teploměrem, t_m je teplota mokrého teploměru, p_{VM}^U [Pa] je parciální tlak syté páry při teplotě mokrého teploměru, p_v [Pa] je parciální tlak vodních par ve vzduchu, A [1/K] je psychrometrický součinitel, p [Pa] je statický tlak vzduchu v místě měření. Psychrometrický součinitel je pro rychlost proudění větší než 2 m/s konstantní.

Vzhledem k této vlastnosti je nutné zajistit „nucené“ odvětrávání v místě s mokřým teploměrem, o tento jev se postará standardní 5V větráček, který bude foukat vzduch na teplotní čidlo.

2.3.2 Mechanický hygrometr

Jednou z metod měření je i mechanický hygrometr pracující na bázi změny objemu materiálu se změnou vlhkosti. Tato metoda má poměrně problémové snímání a tak byla pro naše účely zavržena.

2.3.3 Elektronický hygrometr

Elektrické hygrometry mění svoji kapacitu či odpor. Jejich zásadní nevýhodou je poměrně malý rozsah, kde jsou schopny měřit. Většina těchto čidel má pracovní oblast od 20 do 80% relativní vlhkosti, což neodpovídá našim předpokladům univerzálnosti. Přesto bylo toto čidlo použito v kombinaci s psychrometrickou metodou pro porovnávání hodnot a tím by mělo přispět ke snížení výskytu možné chyby.

2.3.4 Senzory rosného bodu

Jedná se zejména o optické senzory sledující orosení nějakého referenčního povrchu. Druhou možností je využít krystalový oscilátor a sledovat jeho změnu frekvence vznikající se změnou vlhkosti vzduchu.

2.3.5 X-heat senzory

Tyto senzory jsou průmyslovou odpovědí na měření vlhkosti vysokých hodnot, samotná metoda spočívá v předehřevu jednoho z kapacitních senzorů, zatímco druhý, referenční,

senzor je umístěn v kapalném dusíku. Tyto čidla jsou přesné a dle údajů v datasheetech dosahují přesnosti 0,1% až do vlhkosti 99,8%. Bohužel jejich cena tomuto výkonu odpovídá.

2.4 pH

Pro měření pH je předpoklad užití standardní pH sondy používané v průmyslu, tyto sondy dosahují přesnosti až 0,001pH. Jelikož pH sonda vyžaduje vysoký vstupní odpor (řádově $10^{14} \Omega$) je nutné vytvořit impedanční přizpůsobení. Tyto sondy pracují na měření potenciálu mezi referenční a měrnou elektrodou, tudíž výstupní veličinou sondy je napětí. Problémem zde je fakt, že pH sondy mají rozsah od záporného do kladného napětí a pro bateriový provoz je tedy nutné udělat určitá opatření, která nám umožní mít napěťový rozsah $-V \rightarrow 0 \rightarrow +V$ pro správné měření. Více v kapitole 3 Realizace práce.



Obrázek 2-1: čidlo pro měření pH

2.5 Přenos signálu

Pro přenos signálu byly vybrány nakonec 3 různé moduly (BTM222, OWL221a a LT2510), jejich datasheety jsou přiloženy na CD. Jelikož každý z těchto modulů má jiné rozhraní, konfigurační příkazy a způsob odesílání dat, byla tato práce poměrně náročná. Dalším faktorem byla u některých modulů neochota komunikace a poskytnutí informací jejich výrobcem, což poměrně dosti zvyšovalo náročnost na jejich aplikaci. Samotné zhodnocení bude uvedeno na konci práce v kapitole 4 Shrnutí naměřených a pozorovaných výsledků.

2.5.1 Analýza modulů a jejich konektivity

Cílem bylo získat informace o připojení k mikroprocesoru, komunikaci s procesorem, nastavení registrů, možností modulu, jejich efektivitu a jejího vlivu na energetickou náročnost. Některé parametry se dali vyčíst z datasheetů a některé bylo potřeba získat experimentálně. Jelikož většina modulů měla k dispozici UART, SPI a I2C či alespoň dvě jejich kombinace, byla tím samotná komunikace s procesorem tím vyřešena.

2.5.2 BTM222

Tento modul je postaven na technologii bluetooth a všeobecně jeho podpora je poměrně velká, jelikož je to modul používaný i v mobilních zařízeních, robotice a jiných oblastech. Díky jeho oblíbenosti je jeho podpora ze strany nadšených elektrotechniků natolik vysoká, že s tímto modulem nebyli, žádné problémy či nenastali situace, které by již

někdo dříve neřešil. V našem případě využijeme jeho možnosti komunikace po UARTu. Řízení těchto modulů je pomocí příkazové řádky (terminálu) je poměrně rychlé přehledné a pro procesor snadné, jelikož je dostačující poslat string (datový řetězec) po komunikační lince.

2.5.3 LT2510

Moduly LT2510 jsou proprietární moduly firmy LairdTech, samotná práce s moduly je poměrně problémová jelikož chybí dostatečná technická podpora a možnosti nastavení, jedinou možnou komunikací s PC bylo využití VirtualBoxu, jelikož bylo zapotřebí prostředí MS Windows XP, vzhledem k nízké podpoře ze strany firmy. Po analýze modulů, se nakonec podařilo navázat komunikaci, data přenést, ale je poměrně problém provést rekonfiguraci již nasazených modulů bezdrátově.

2.5.4 OWL221a

OWL221a je modul firmy connectBlue založený na technologii WiFi pracující v pásmu 2,4GHz a 5GHz, samotná konfigurace a komunikace probíhá pomocí rozhraní SPI. Datasheet pokrývá informace o veškerých registrech, jejich adresách a nastavovacích hodnotách. Po zprovoznění těchto čidel, byla práce s nimi poměrně snadná a přehledná, jedinou nevýhodou je jejich technologie (WiFi není vhodná pro některé prostory).

2.6 Návrh zapojení pro použití v našem zadání

Jelikož bylo nutné najít vhodné komunikační rozhraní a zajistit přenos dat mezi procesorem a modulem bylo potřeba navrhnout konkrétní řešení. Většina modulů komunikuje na 3,3V zatímco náš DC-DC měnič, který je osazen na senzorové desce nám poskytuje napětí 5V, z tohoto důvodu byla jedna z možností udělat napěťové přizpůsobení pomocí napěťového děliče (nevhodná varianta) a druhá přizpůsobení pomocí LDO a 4 tranzistorů (tato varianta je vidět na komunikační desce).

2.7 SW řešení

2.7.1 Přerušení uP

Procesor při svém chodu spotřebovává určité množství energie, jelikož ne vždy zpracovává údaje, je zbytečné, aby byl stále v chodu, zde přichází na řadu funkce sleep a přerušení, která při jakékoliv události procesor probudí a donutí analyzovat takto vzniklou událost. Dalším užitečným využitím přerušení je jeho nastavení priority, které je možno využít pro přerušení veškeré činnosti pro nerušený přenos dat.

2.7.2 Komunikace s moduly

Pro komunikaci s moduly na úrovni přenosu dat byly využity výše zmíněné metody komunikace (SPI, UART, I2C), ale pro samotné řízení energie modulů je tento proces zbytečný, moduly je též možno uložit do režimu sleep a počkat na přerušení, ale pro snížení energetické náročnosti je možno využít odepínání napájecího napětí pomocí

procesoru a tranzistoru. Po „probuzení“ naváže kontakt s procesorem a procesor vyšle svá data.

2.8 Komunikace s PC

Pro komunikaci s PC je možno využít známých protokolů RS232, LPT, BT, WiFi, USB. Jelikož většina PC nemá k dispozici RS232, bylo jako prioritní připojení zvoleno připojení přes USB 2.0 a jako sekundární komunikace BT.

2.8.1 USB deskriptor

Pro využívání USB komunikace je nutno na zařízení nastavit deskriptory, základním je tzv. „Device descriptor“, který obsahuje informace o revizi USB, ID výrobce, ID produktu, které slouží pro správné načtení ovladačů. Pro naše účely byl použit konfigurator od firmy Microchip (přiložen na CD) a ID produktu a výrobce bylo okopírováno z CDC emulator RS232-USB, což nám umožňuje plnou podporu ze strany společnosti Microsoft a zařízení se po připojení chová jako sériový převodník na COM portu. Dalšími deskriptory jsou: „Configuration descriptor“, „Interface descriptor“ a „Endpoint descriptor“, které není nutné vymýšlet, jelikož jsou k dispozici jako knihovna a na uživateli je pouze volání metod s vhodnými parametry.

2.8.2 SW pro příjem dat

Jako software v PC pro příjem dat lze použít libovolný terminál umožňující komunikace po sériové lince. Jelikož by bylo problémové data z terminálu dále zpracovávat, je na CD (ve fázi vývoje) umístěn program pro komunikaci se sběrným bodem a senzory, tento program obsahuje řadu nástrojů pro nastavení měřicího HW a možnost archivace dat pomocí jejich exportu viz kapitola SW archivace.

2.9 Zpracování chyb měřených hodnot

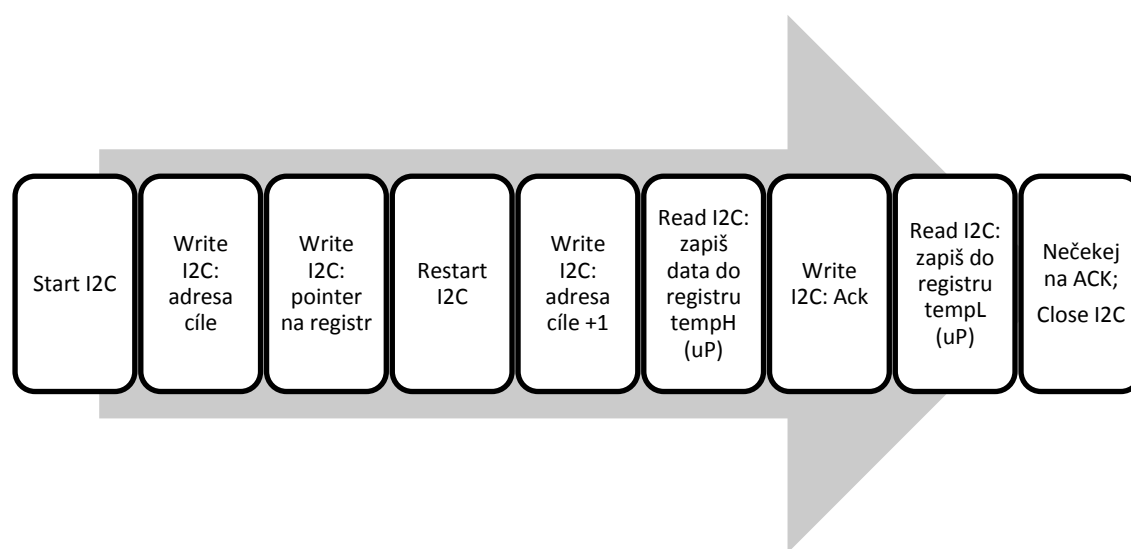
Jak je uvedeno v kapitole Popis problému, specifikace cíle, jedná se o senzory, operující v různých prostředích. Z návrhu a podstaty věci, je jasné, že tyto senzory budou disponovat řadou součástí. Každá součástka je závislá na okolních podmínkách, které ovlivňují její parametry. Z tohoto důvodu je zapotřebí alespoň částečně kompenzovat chyby vzniklé touto vlastností. Většina těchto chyb je matematicky popsána a otázkou zbývá, zda tyto chyby opravovat v počítači, kde tato data zpracováváme, či ve sběrném bodě. Jelikož zde máme možnost měření teploty, je pro nás poměrně snadné kompenzovat teplotní vlivy dle vztahu: $R_t = R_0 \cdot (1 + At + Bt^2 + C(t - 100)t^3)$. Díky tomu, že konečná stanice je připojena přes USB a není tak potřeba nízkého odběru a procesor je dostatečně rychlý, je rozumnější tyto nejistoty a chyby měření kompenzovat zde, pro případ, že by se uživatel rozhodl využívat vlastního programu pro zobrazení naměřených dat. Další chyba teplotního snímače je dána jeho třídou, u PT 1000 to jsou třídy AA, A, B, C. V našem případě byly použity čidla třídy A, kde může nastat chyba $0,15^\circ\text{C} + 0,002 \cdot |t|$. Tedy při 0°C je hodnota teploty rovna $(0,00 \pm 0,15)^\circ\text{C}$. Tuto chybu je potřeba zohlednit při práci s naměřenými daty.

3 Realizace práce

Samotná realizace se od chystaného návrhu neliší v žádných větších změnách hardwaru. Při realizaci došlo k jistým úpravám v softwarovém řešení, jelikož procesory se nechovaly, jak bylo předpokládáno.

3.1 Návrh teplotního čidla

Pro snímání orientační hodnoty byl využit integrovaný obvod LM92, který byl zmíněn v kapitole 2.2.1 Teplotní senzor LM92, tato hodnota je dána krokem $0,0652^{\circ}\text{C}$ na 1 bit, což stačí k zajištění matematické kompenzace ostatních čidel. Jelikož není potřeba data z čidla nijak digitalizovat, či převádět, je pouze připojen k procesoru a jeho funkce jsou volány metodami, které jsou implementovány v knihovně I2C v compileru XC8. Pro měření přesné hodnoty teploty bylo zvoleno čidlo PT1000 (více v kapitole 2.2.2 Teplotní čidlo PT 1000), které je vzorkováno pomocí obvodu ADS1247, což je delta sigma převodník s rozlišením 24b (datasheet přiložen na CD). Získávání dat z jednotlivých čidel a popis komunikace bude vysvětlovat kapitola 3.4 Návrh celého systému. Jelikož pro senzorovou desku je přístup k oběma zařízením stejný (LM 92 a ADS1247), stačí uvést jeden z postupů:

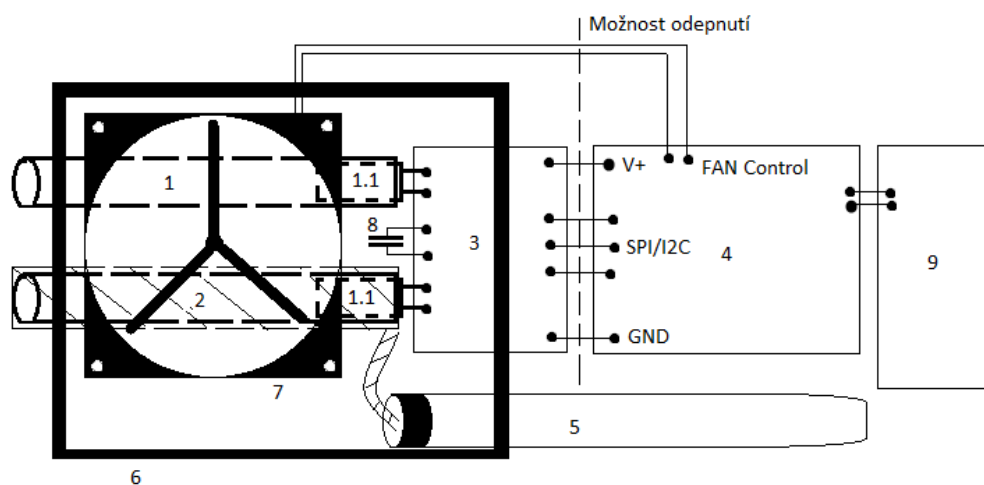


Obrázek 3-1: Operace s I2C na teplotních čidlech

Tento princip je stejný u všech použitých A/D převodníků, z tohoto důvodu, se na tento sled událostí popsany viz Obrázek 3-1: Operace s I2C na teplotních čidlech budu odvolávat i v pozdějších kapitolách.

3.2 Návrh čidla pro měření vlhkosti

Jak bylo již naznačeno v předešlé kapitole, jedinou možnou variantou v našem případě je psychrometrická metoda. Při návrhu psychrometru bylo oproti standardním, sériově vyráběným psychrometrům provedeno pár změn, které nám objasní náskres senzoru. Výsledky z tohoto senzoru jsou k vidění v poslední kapitole této práce, bohužel je ale nutno již nyní podotknout, že tato metoda není na bateriový provoz z hlediska spotřeby vhodná. Díky nutnosti psychrometru mít k dispozici nucené odvětrávání, je námi zvolený ventilátor a jeho spínání poměrně vysokou zátěží a tím dochází k rychlému opotřebení baterií.



Obrázek 3-2: Navržený psychrometr

Vysvětlivky:

Tabulka 1: Vysvětlivky k nákresu psychrometru

Č.	Název	Funkce
1	Suchý teploměr	Snímá teplotu okolí, materiál Cu
1.1	PT1000	Čidla pro snímání teplot, pokryt GL2 teplovodivou pastou
2	Mokrý teploměr	Snímá teplotu závislou na odpařování vody, materiál Cu + textilie
3	AD převodník	Diferenční Delta-Sigma převodník s kompenzací, ADS1247
4	Procesorová jednotka	Řídící jednotka pro zpracování údajů z ADC, zapínání odvětrávání, řízení komunikace a řízení spotřeby (režim sleep)
5	Zkumavka s vodou	Zásoba vody pro vlhčení mokrého teploměru
6	Izolační držák	Nosná konstrukce pro teploměry a větrák z teplotně izolačního materiálu
7	Větráček	5V DC větráček řízený z uP pro zabezpečení odvětrávání
8	Kapacitní čidlo	Porovnávací kapacitní čidlo vlhkosti, které měří v rozsahu od 15% do 85% relativní vlhkosti
9	Baterie	Lithiové baterie 2 x 1,5V pro napájení řídicí jednotky

3.2.1 Popis funkce:

Princip psychrometru spočívá v měření teploty, jak zde již bylo nastíněno v kapitole 2.3.1 Psychrometr, náš konkrétní případ psychrometru je vybaven nádržkou na vodu, 5V stejnosměrným větráčkem pro zabezpečení průtoku vzduchu pro odpařování vody z mokrého teploměru a kapacitním senzorem teploty, který slouží v jistých mezích jako orientační hodnota pro psychrometr, z důvodu zapínání větrání, které je energeticky náročné. Samotné získávání dat probíhá ve více krocích, v prvním kroku dojde k probuzení sensorové desky (procesor dostane impuls od RTC), začne postupně s inicializací periférií (UART, SPI, I2C), ve chvíli kdy je inicializace I2C hotova dojde k zapsání ukazatele na registru u ADS1247, který následně pošle horní byte naměřených dat, počká na ACK a pošle spodní byte dat. Nyní zažádá procesor o data z kapacitního senzoru, který stejným postupem pošle data procesoru. Procesor porovná přijatá data s daty z psychrometrické části a na základě určité tolerance rozhodne, zda tyto data jsou validní. Mají-li data velký rozestup hodnot, sepne procesor větrání a čeká po dobu 1 minuty. Po uplynutí této doby opět zažádá o údaje z psychrometru. Jsou-li data v toleranci, dojde k ukončení I2C a proběhne připravení dat pro odeslání sběrnému bodu. Navázáním spojení, dojde na sběrném bodě k přerušení jeho činnosti a vyčkává pro příjem dat. O tomto procesu si řekneme podrobněji v následujících kapitolách.

3.2.2 Popis SW řízení a odesílání dat:

Jak zde již bylo zmíněno v předchozí kapitole, o vše se stará procesor, který má za úkol data jak získat tak poslat dále. Samotné získání dat bylo částečně popsáno v předchozí kapitole a podrobnější rozepisování inicializace a získávání by bylo poměrně zdlouhavé a zbytečné, navíc Obrázek 3-1: Operace s I2C na teplotních čidlech jej plně vystihuje. Data, které procesor získal, jsou uložena v dočasných registrech. Při samostatném odesílání dat, jsou vynechány data z kapacitního snímače, jelikož nás nezajímají a mají pouze orientační účel. Jelikož potřebujeme určitou zpětnou vazbu o správnosti přicházejících dat, je zaveden jednoduchý komunikační protokol s kontrolou údajů. Samotná kontrola správnosti probíhá tak, že se vezme horní byte teploty a se spodním bytem teploty se logicky vynásobí (funkce AND) a matematicky se k tomu přičte hodnota vlhkosti (ignoruje se příznak přetečení). Tato hodnota je následně odeslána zpět na senzor a ten provede se svými daty totéž a obě hodnoty porovná. V případě, že tato data nesedí, jsou odeslána znovu, nesedí-li podruhé, čidlo provede celý cyklus inicializace komunikačního znova.

3.2.3 Převod teploty na vlhkost

Samotné naměřené hodnoty nám ovšem říkají jen teploty a jejich rozdíl, jelikož se jedná o senzor vlhkosti, bylo by vhodné tento údaj získat. Zde přichází v úvahu již jednou zmíněná rovnice $\Delta t = t - t_m$, kterou procesor sensorové desky zpracovává v samostatné metodě, vyhodnotí ji a její výsledek uloží do registru pro psychrometrickou vlhkost. Jelikož se ovšem nedá nahrát celá tabulka psychrometrických rozdílů do procesoru, je nutné na to vytvořit rovnici a algoritmus.

3.2.4 Psychrometrická rovnice

Jelikož bylo předpokládáno, že princip rozdílů teplot dvou čidel bude jednoduchý na zpracování, došlo k návrhu psychrometru, viz Obrázek 3-2: Navržený psychrometr. Bohužel pro zpracování těchto hodnot je potřeba znalosti statického tlaku, z tohoto důvodu byl navržen ještě senzor tlaku, který je díky I2C možné využívat na stejné sběrnici jako samotný ADS1247 s připojenými PT 1000. Bohužel pro testování byl použit statický tlak jako konstanta rovna hodnotě průměrného barometrického tlaku, 560m. n. m.) z důvodu absence čidla. Odvození rovnice pro algoritmus zpracování teplot:

$$Hr = \frac{e_w - A \cdot P \cdot \Delta t}{e_d} \cdot 100 \quad (1)$$

Kde,

Hr [%] je relativní vlhkost

e_w [Pa] je parciální tlak syté vodní páry na vlhkém teploměru

e_d [Pa] je parciální tlak syté vodní páry na suchém teploměru

A [K^{-1}] je psychrometrická konstanta (závislá na rychlosti proudění vzduchu)

P [Pa] je atmosférický tlak

Δt [K] je rozdíl teplot obou čidel

Podle Buckovy rovnice (Arden Buck, 1981) můžeme spočítat hodnotu e_w a e_d .

$$E = 6,112 \cdot e^{\frac{17,502 \cdot t}{240,97 + t}} \quad (2)$$

Z čehož vyplývá:

$$e_w = 6,112 \cdot e^{\frac{17,502 \cdot t_w}{240,97 + t_w}}$$

$$e_d = 6,112 \cdot e^{\frac{17,502 \cdot t_d}{240,97 + t_d}}$$

Psychrometrická konstanta je dána vztahem (při rychlosti vzduchu nad $2ms^{-1}$):

$$A = 0,00066 \cdot (1 + 0,00115 \cdot t_w)$$

Dosazením odvozených vzorců do rovnice 1 dostaneme:

$$Hr = \frac{6,112 \cdot e^{\frac{17,502 \cdot t_w}{240,97 + t_w}} - 0,00066 \cdot (1 + 0,00115 \cdot t_w) \cdot P \cdot (t_d - t_w)}{6,112 \cdot e^{\frac{17,502 \cdot t_d}{240,97 + t_d}}} \cdot 100 \quad (3)$$

Díky poměrně komplikované rovnici, dochází k nárůstu času a spotřeby na senzoru, doba připravenosti dat se prodloužila zhruba o 3,72s (při frekvenci oscilátoru 20MHz) a tím vzrostla i spotřeba. Dalším možným řešením pro výpočet těchto hodnot by bylo vytvoření tabulky s již připravenými hodnotami mokrého a suchého teploměru. Jelikož bychom ale neměli pokryty všechny možnosti, museli bychom udělat lineární aproximaci naší hodnoty. Za pomoci této metody, bychom dostali přesnost do 4%, což

je mnohem větší přesnost než které bychom dosáhli při použití odporové či kapacitní sondy a na našem procesoru by se ušetřil jak čas, tak energie pro samotné vyhodnocení, ale přesnost by byla poměrně malá na tuto použitou metodu.

Vzorec pro hledání v tabulce: $\frac{Hr_h - Hr_l}{t_{dh} - t_{dl}} = \frac{Hr - Hr_l}{t_d - t_{dl}} \rightarrow Hr = Hr_l + \frac{Hr_h - Hr_l}{t_{dh} - t_{dl}} \cdot (t_d - t_{dl})$

Příklad tabulky, uvedené společností NOAA[2], tabulka je přílohou na CD pod názvem „NOAA – 500-1900_Humidity“.

Tabulka 2: Hodnoty poskytnuté společností NOAA

$\Delta t/t_d$	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
20	91	82	74	66	58	51	44	37	30	24	17	11	5	0	0	0	0	0
25	92	84	77	70	63	56	50	44	38	32	27	22	14	11	7	2	0	0
30	93	86	79	73	67	61	55	49	44	39	34	29	25	20	16	12	8	4
35	93	87	81	75	69	64	59	54	49	44	40	35	31	27	13	20	16	13
40	94	88	82	77	71	66	62	57	52	48	44	40	36	32	29	26	22	19
45	94	89	83	78	73	69	64	60	55	51	47	44	40	37	33	30	27	24
...	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
95	96	93	89	86	82	79	76	73	70	67	64	62	59	57	55	52	50	48
100	96	93	89	86	83	80	77	74	71	68	65	63	60	58	56	53	51	49

Podložení úvahy:

Máme-li relativní chybu danou vztahem:

$$\frac{\Delta Hr}{Hr} = \frac{1}{Hr} \cdot \left| \frac{\partial Hr}{\partial t_d} \right| \cdot \Delta t_d + \frac{1}{Hr} \cdot \left| \frac{\partial Hr}{\partial t_w} \right| \cdot \Delta t_w \quad (4)$$

Vytvoříme si tabulku s vybranými hodnotami:

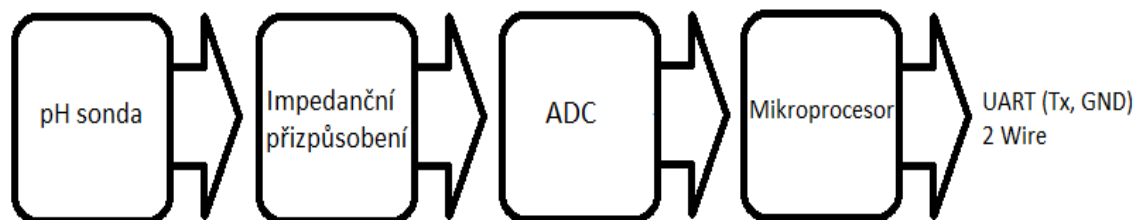
Tabulka 3: Vypočtené hodnoty pro vlhkost

Suchý teploměr [°C]	Mokrý teploměr [°C]	Relativní vlhkost %		Relativní chyba [%]
		Teoretická hodnota	Lineárně aproximovaná hodnota	
20	15	58,8	58,0	1,4
36	21	35,1	24,2	3,6
45	29	30,7	30,0	2,3
58	44	45,0	44,8	0,4
85	77	71,6	71,0	0,8
91	84	75,7	75,4	0,4
98	87	65,5	64,6	1,4
100	87	60,8	60,0	1,3

Tabulka 3: Vypočtené hodnoty pro vlhkost ukazuje, že při použití lineární interpolace nezavádíme větší chybu než 4%. Nakonec i přes poměrně malou hodnotu chyby, byla tato metoda zavržena a ponechána metoda výpočtu pomocí rovnice 4, která nám zavádí chybu způsobenou pouze součástkami. Dalším faktorem ovlivnění vlhkosti je využití čidel PT 1000 třídy A, kde pro každou hodnotu teploty (suché i mokré čidlo) máme rozptýl dán vztahem $0,15^{\circ}\text{C} + 0,002 \cdot |t|$.

3.3 Návrh čidla pro měření pH

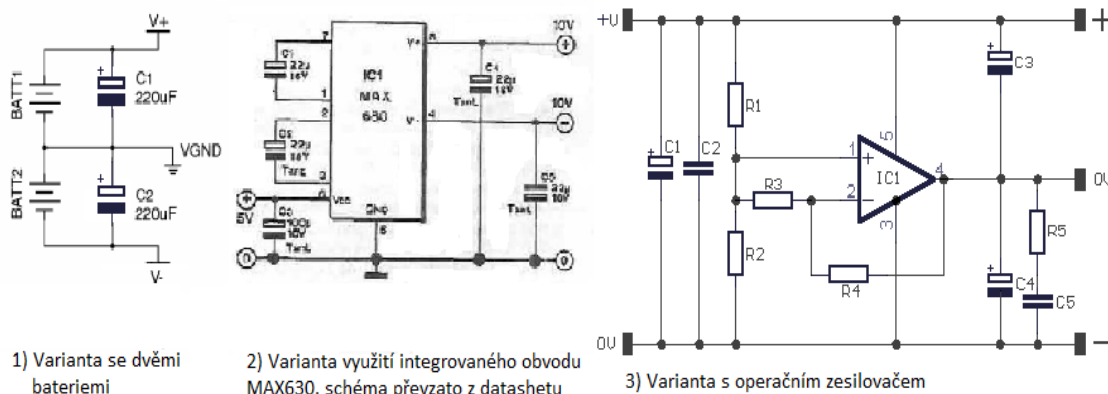
Měření pH bylo prováděno na sondě PS2102, tato sonda byla zapůjčena Střední průmyslovou a vyšší odbornou školou Varnsdorf. K měření byl použit jednostranný nestíněný plošný spoj, což mohlo poměrně značně toto měření ovlivnit. Koncepce zapojení je stejná jako u teplotního čidla i princip je zde podobný, jedinou výjimku tvoří veličina, kterou měříme, pH sonda nám ukazuje rozdíl potenciálů, tedy napětí. Z tohoto důvodu je zde nutné udělat impedanční přizpůsobení pomocí operačního zesilovače (použit TL061), jelikož požadavkem této sondy je vstupní odpor zhruba $10^{10}\Omega$. Dalším požadavkem je souměrné napájecí napětí pro A/D převodník, což je při použití baterií poměrně náročné. Důvodem nutnosti použití souměrného napájecího napětí je rozsah sondy od záporných do kladných hodnot napětí. Pro správné navzorkování hodnot je tedy nutné mít referenci 0V a rozsah do obou směrů. Jak je patrné ze samostatného blokového schéma zapojení, je zde pro zpracování dat použit stejný princip a modul jako u ostatních čidel, tudíž to potvrzuje tvrzení o modularitě a přenositelnosti našeho „senzoru“. Samostatný návrh PCB, včetně rozpisu součástek a datasheetu pH sondy PS2102 je umístěn na disku CD-ROM.



Obrázek 3-3: Konečný návrh pH sondy

Pro samotné symetrické napájení bylo navrženo několik obvodů, nakonec byl vybrán jednoduchý obvod (číslo 3) s operačním zesilovačem, jelikož jako jediný měl poměrně dobrou stabilitu a malou plošnou hustotu. Obrázek 3-4: Schémata symetrického napájení pro měření pH ukazuje 3 základních zapojení, které byly zvažovány, a odzkoušeny, vybráno bylo ovšem poslední řešení díky jeho nejvyšší stabilitě a ceně. Nejvhodnějším kandidátem byl obvod MAX360, který je bohužel problémové pořídit, díky jeho nízké dostupnosti.

Na následujícím obrázku jsou zobrazeny všechny tři možné řešení symetrického napájení pomocí baterií, v prvním případě, je využito dvou baterií a za nulový bod je považován střed potenciálů sériově zapojených článků. Tato varianta není vhodná díky nerovnoměrnému vybíjení se jednotlivých článků, jejich kapacit a efektu okolních vlivů (teplota, vlhkost aj.).



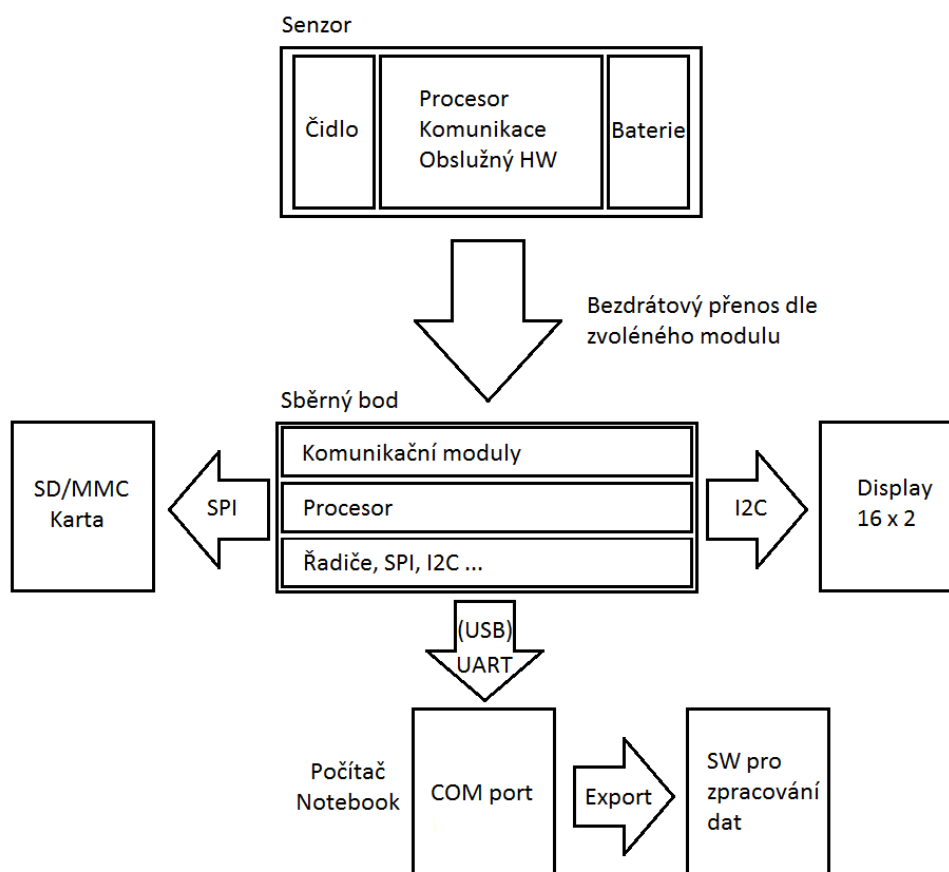
Obrázek 3-4: Schémata symetrického napájení pro měření pH

Datasheet obvodu MAX630, je přílohou na CD-ROM. Varianta tohoto zapojení byla zavržena z již zmiňovaných důvodů.

3.4 Návrh celého systému

Pro jednodušší orientaci si nejdříve řekněme, jak vlastně vypadá navržený systém, zatím byla zmínka o jednotlivých čidlech, ovšem celý systém je komplikovanější a pro pochopení si zavedeme blokové schéma bez detailů jednotlivých komponent. Z následujícího schématu je vidět realizace práce s daty, jejich vizualizace a archivace.

Blokový náčrt navrženého systému



Obrázek 3-5: Blokové schéma celého systému

Z nákresu celého měřicího systému je patrné, že má dva významné bloky, senzorovou část a sběrný bod. Každou z těchto částí si podrobněji popíšeme v samostatné kapitole, ale systém jako celek si popíšeme již zde. Měřícím prvkem je čidlo, které předává své analogové údaje analogově digitálnímu převodníku, tento převodník převede elektrickou hodnotu (napětí, odpor) na sadu jedniček a nul. Tato „data“, která nám vznikla převodem, jsou uložena ve vnitřním registru A/D převodníku a pro jejich získání je nutné se k němu připojit a data přečíst. Tuto část obstarává senzor.

3.5 Senzor

Za senzor považujeme celé uskupení jednotlivých modulů (čidlo, procesorová jednotka, komunikační jednotka) a každý z těchto prvků si zde postupně rozvedeme. Senzor je samostatným systémem, který je schopen pracovat bez sběrného bodu, jediná nutná podmínka je použití SW pro získání dat, která jsou na senzoru uložena (senzor poskytuje data na bázi dotazování). Samotný princip senzoru spočívá v probuzení se, zkontrolování měřených veličin, uložení je do datové paměti a sepnutí komunikačního modulu. Senzor sám o sobě data neposílá, po navázání spojení si sběrný bod (kterému se vyvolá přerušení) zažádá o data, která požaduje. Proto se nám nemůže stát, že při měření teploty, dostaneme hodnotu vlhkosti (která by byla bez připojeného senzoru nulová), jelikož jsme se na ni nedotázali. Samotné čidlo má ještě za úkol spočítat relativní vlhkost (má-li potřebná data), tato operace bohužel zabírá poměrně dosti času.

3.5.1 Čidlo

Samostatná čidla byla popsána již ve vlastních kapitolách, procesor se o daném čidle dozvídá rozdílnou adresou analogově digitálního převodníku, jelikož jsou adresovatelné pomocí zapojení pinů na zem či napájecí napětí (takto lze vytvořit adresu a osadit, dle typu AD převodníku, jednu sběrnici od 4 do 127 čidel).

3.5.2 RTC

Obvod RTC je použit od firmy Microchip, typ MCP79400. Tento integrovaný obvod pracuje na sběrnici I2C a je schopen vyvolat přerušení po určitém čase u našeho procesoru, což snižuje spotřebu energie. Po nastaveném čase dojde k přerušení spánku procesoru a díky unikátnímu ID lze jednoznačně určit, že přerušení proběhlo právě pomocí RTC a nikoliv nahodilou chybou či rušením.

3.5.3 Převodník

V této práci použity různé typy převodníků, nejčastějším typem je převodník společnosti Texas Instruments ADS1247, který je adresovatelný po SPI i I2C. Tento převodník byl použit z mnoha různých důvodů, ale základními důvody jsou: Diferenční měření, přizpůsobení pro měření na RTD, 24bitové rozlišení, vlastní reference, dostupnost. Druhým převodníkem je MCP3423, který je 18bitový a má k dispozici měření od záporných do kladných hodnot s nastavením zlomového bodu (v našem případě 0V). Tento převodník byl použit u měření pH, jelikož jak již bylo zmíněno, pH sondy pracují od záporných hodnot napětí. Oba zvolené A/D převodníky jsou delta-sigma převodníky, což je díky jejich konstrukci dělá poměrně málo náchylným na rušení. Další výhodou těchto převodníků je možnost adresace pomocí I2C či SPI, což umožňuje díky volbě adresy A/D převodníku připojení více čidel na jednu sběrnici a tím můžeme dosáhnout měření více veličin pomocí jedné sensorové desky. Při čtení takto získaných dat stačí zadat správně adresu A/D převodníku a nastavit pointer na registr, kde se nachází naše

hodnota. Následně procesor tuto hodnotu uloží do své datové paměti a může s ní libovolně operovat.

3.5.4 Procesorová jednotka

Jako mozek senzoru byl zvolen mikroprocesor od firmy Microchip, jedná se o typ 18F45K22, což by měla být nejvyšší řada osmi bitových procesorů této firmy. Volba tohoto procesoru byla z důvodu přítomnosti dvou EUSART jednotek, technologie XLP a poměrně velké datové i programové paměti. Jeho hlavní výhodou je široká škála hardwarových prostředků pro komunikaci jako jsou I2C, SPI, UART aj. Bohužel tento procesor neumí tyto periférie používat zároveň a před inicializací jedné, je nejprve nutnost ukončit stávající, což jej poměrně dosti degraduje. Tento fakt nebyl zmíněn ani v datasheetu tohoto procesoru a byl až po čtrnácti dnech objasněn samotnou společností Microchip. Procesor je doplněn o krystal o frekvenci 20MHz, což je dostatečná rychlost na vykonání našich operací a dostatečně nízká, aby neovlivňovala příliš spotřebu procesoru. Jeho úkol byl zde již několikrát popsán, jediné co je potřeba doplnit je jeho firmware. Firmware byl psán v jazyce C v IDE MPLABX s Compilerem XC8 ve freeware verzi, bohužel tato verze nemá zvládnuté některé metody a tak bylo nutno je dodělat. Nejčastějším problémem byla hodnota času, jelikož tento compiler nemá k dispozici knihovny pro zpoždění s časovou základnou. Z tohoto důvodu proběhl přepočítání času na počet cyklů dle vztahu:

$$IC = \frac{Xtal}{4} \rightarrow time = \frac{IC}{y \cdot 1000} \text{ pro příkaz } Delay1KTCYx(y)$$

3.5.5 Napájení

Napájení nám obstarávají dvě lithiové baterie, které mají nejvhodnější vybíjecí charakteristiku pro naše účely. Protože procesor a ostatní periférie pracují na hodnotách napětí 3,3V či 5V, je potřeba tohoto napětí dosáhnout. Pro tento účel byl použit integrovaný obvod MCP1253 též od firmy Microchip, který funguje jako DC-DC měnič (jeho datasheet je přiložen na disku CD-ROM). Jelikož jeho výstupní napětí není pevně dáno, je zde potřeba udělat jisté optimalizace pomocí pasivních součástek. Je zde několik možností zapojení, ale pro naše účely bylo vybráno doporučené zapojení dle datasheetu s výstupem 5V. Pro získání této hodnoty je nutné volit součástky tak aby nám vyšla rovnice: $V_{out} = 1,21 \cdot \left(1 + \frac{R_1}{R_2}\right) = 5V$. Pro samotné periférie je pak brána tato hodnota jako výchozí a dochází k úpravě napěťové úrovně dle potřeby.

Komunikační moduly vyžadují napájecí napětí 3,3V a z tohoto důvodu jsou osazeny integrovaným obvodem (stabilizátorem) LD1117S33, který nám na výstupu dodává stabilní napětí 3,3V. Jedinou nutnou podmínkou zde je vstupní napětí alespoň 4,75V což je zajištěno právě obvodem MPC1253.

Čidlo hodnoty pH potřebuje, jak již bylo zmíněno, ke správnému chodu symetrické napětí. Pro napájecí napětí obvodu symetrického napětí, Obrázek 3-4: Schémata symetrického napájení pro měření pH, je výchozí hodnotou v tomto případě

stup 5V z DC-DC měniče, následnou funkcí zapojení dojde k „vytvoření země“ uprostřed tohoto napětí a dostaneme -2,5V a +2,5V což nám jako reference pro tento obvod stačí. V případě, že by nestačila, je zde opět možnost zřetěžit MCP1253 a dostat tak hodnotu -5V a +5V. Maximální zatížitelnost obvodu je dlouhodobě bohužel jen 150mA, což nám nevadí v případě většiny měření mimo psychrometrickou metodu, kde je potřeba odvětrávat pomocí DC větráčku. Po změření se ukázalo, že tato hodnota je překročena zhruba o 10%, což by měl DC-DC měnič pokrýt v rámci tolerance, ale pro jistotu bylo napájení větráku přemostěno na 3V z baterií a tím došlo ke snížení průchodu vzduchu. Řešením by bylo využití ještě jednoho DC-DC měniče pouze pro DC větráček.

3.5.6 Komunikační jednotka

Komunikační jednotkou je myšlena deska s komunikačním modulem. Na straně vysílače je u této desky řízeno napájení procesorem a tím dochází k jejímu zapínání pouze v případě, že senzor k tomu má důvod (má nějaká data připravena). Samotné navázání komunikace s přijímačem probíhá předem nastavenou adresou. Na modulu je nastavena adresa, ke které se má připojit a jakmile tento modul najde v dosahu tak se připojí. Tím celá komunikace ze strany vysílače končí. Pro komunikaci mezi touto deskou a procesorem je použit protokol UART v asynchronním, osmibitovém režimu s jedním stopbitem (bylo uvažováno použití 1,5 stop bitu, ale nakonec se ukázalo, že zařízení se i při jednom jsou schopni správně zasynchronizovat). Komunikační rychlost mezi procesorem a modulem je 19200baud. Tato hodnota byla vybrána jako kompromis mezi spotřebou a rychlostí. Nastavení modulů, v případě BTM222, probíhá pomocí AT příkazů, které lze posílat přímo ze sběrného bodu. V případě modulu LT2510 se na této metodě teprve pracuje a je nutné doladit SW. Výpočet konstant pro navázání spojení mezi procesorem a komunikačním modulem proběhl po nastavení správných registrů podle vzorce:

$$Baud = \frac{F_{osc}}{64 \cdot \{(SPBRGH \cdot SPBRG) + 1\}} \quad (1)$$

Kde SPBRGH a SPBRG jsou registry pro nastavení baud rate, jelikož jsme řekli, že budeme komunikovat s baudem 19200, upravíme vzorec následovně:

$$SPBRGH = \frac{F_{osc} \cdot \frac{1}{19200}}{64} - 1$$

Díky zvolenému krystalu máme frekvenci 20MHz (jak bylo zmíněno v předchozích kapitolách) dosadíme do vzorce a vypočteme hodnotu osmibitového registru.

$$SPBRGH = \frac{\frac{20\,000\,000}{19\,200}}{64} - 1 = \frac{1041,6666}{64} - 1 = 15,276 = 00001111b$$

Jak je z výsledku vidět, číslo je datového typu float, jelikož se jedná o osmibitový registr, je nutné, aby hodnota byla char. Z tohoto důvodu provedeme zaokrouhlení a dopočítáme chybu baudu.

$$baudr = \frac{20000000}{64(15+1)} = \frac{20\,000\,000}{1024} = 19531,25$$

Chyba baudu, kterou zde zavádíme je rovna rozdílu chtěné a reálné hodnoty, tuto chybu vyčíslíme vzorcem:

$$Error = \frac{baudr - Baud}{Baud} = \frac{19531,25 - 19200}{19200} = 0,01723\% \quad (2)$$

Tato chyba je dle datasheetu přípustná, jelikož nepřesahuje 0,5%. Rozhodnutí o přípustnosti je popsáno tabulkou, v případě větší chyby (do 1%) by postačovalo prodloužit stop bit. Nastala by chyba baudu nad 1%, nepostačí ani prodloužení stop bitu a bylo by zapotřebí vyměnit krystal, nebo použít integrovanou děličku kmitočtu.

3.6 Sběrný bod

Sběrný bod je nejdůležitější součástí celé práce, nejenom, že nám umožňuje data získat ze senzoru, ale jeho úkolem je i samotná vizualizace a archivace získaných dat. Sběrný bod viz Obrázek 3-5: Blokové schéma celého systému nakreslen jako jeden celek. Ve skutečnosti se ovšem jedná o moduly připojené k základní desce. Základní desku si popíšeme detailněji v samostatné kapitole. Moduly, které jsou k této desce připojeny, komunikují po standardních protokolech (SPI, I2C, UART) a jsou napájeny ze základní desky, která má stabilizaci 5V, ale je možné ji provozovat od 2,8V do 8V bez přídavných modulů a do 24V s přídavnými moduly. Sběrný bod disponuje několika možnostmi komunikace, nejjednodušší formou komunikace pro uživatele je komunikace přes displej a tlačítka. Další metodou komunikace je (v případě, že čidla jsou, uspány) připojení se po Bluetooth z mobilního zařízení. Jelikož nebyl zatím navržen software pro operační systém android, je potřeba se připojit pomocí terminálu a data zobrazit pomocí příkazů. Další komunikační metodou je USB komunikace, program pro plné ovládání přes USB se píše, ale pro testovací účely stačí používat opět zmíněný terminál a příkazy pro přístup na paměť procesoru. Poslední metodou je komunikace po EIA485, adresace je prováděna samostatným protokolem.

3.6.1 Základní deska

Základní deska je osazena dvěma procesory od firmy Microchip, jedná se o procesory PIC18F45K22 a PIC18F14K50. Každý z těchto procesorů má svoji roli, první (PIC18F45K22) má na starosti zabezpečení komunikace s perifériemi a vizualizaci dat. Druhý (PIC18F14K50) má za úkol řízení komunikace. V pozdějších stádiích vývoje se tato koncepce ukázala jako nedostatečná a bylo by nutné použít procesor PIC32MX795 či TIVA TM4C129, bohužel ani s jedním z těchto procesorů se, díky 32bitové architektuře, nepracuje podobně jako s řadou 18F či X51 a tak chybějí ještě zkušenosti pro uvedení do klasifikované práce. Přesto, že mají tyto procesory v popisu, že disponují dvěma EUSARTy, nelze využívat dvě sériové komunikace paralelně a je nutné zavést multitasking, což je velkým nedostatkem. Z tohoto důvodu bylo navrženo řešení, že komunikace se senzory je vypnuta a komunikace s displejem a USB se střídají, více bude vysvětleno v samostatné kapitole. Vyšší prioritu má ruční komunikace přes tlačítka a displej poté nižší USB.

3.6.2 Komunikační jednotky

Sběrný bod disponuje v základu třemi integrovanými komunikačními moduly a možností rozšíření o další pomoci již zmiňovaných protokolů. Integrovanými moduly jsou USB, displej s interfacem a bluetooth modul.

USB

USB komunikace byla zvolena díky faktu, že se v moderní době považuje za nejrozšířenější způsob komunikace, v našem případě byla použita verze 2.0, což je starší, ale zpětně kompatibilní komunikace. Volba této verze nebyla dána uživatelem, ale možností procesoru, který jinou verzi nedisponuje. USB komunikace je prioritně pod displejem, jelikož nelze využívat obě komunikace zároveň. Díky volbě dvou procesorů, se ovšem v případě připojení přes USB uživatel ocitne v pomyslné frontě, je-li fronta předním prázdná (není zde prováděna práce s displejem či přijímány data ze senzoru), může pomocí tohoto rozhraní volně pracovat. V případě, že uživatel pracuje na displeji a druhý uživatel se připojí přes USB, musí uživatel komunikující po USB počkat, než uživatel obsluhující displej se navrátí do stavového menu, uživatel pracující s displejem pak vidí, že USB je aktivní a může přenechat práci USB uživateli. Komunikace po USB probíhá s baudem 19 200 vypočteného dle vzorce 1 v kapitole 3.5.6 Komunikační jednotka, tento baud ovšem není směrodatný, připojíme-li se s jiným baudem, je zde možnost takzvaného autobaudu, kdy procesor si nastaví baud sám, bohužel se tato metoda v praxi neprokázala vhodnou, jelikož každý 8byte, který byl poslán, rozhodil komunikaci. Pouhou úvahou bych tuto chybu připsal rychlosti krystalu, jelikož data, která přišla poškozená, obsahovala tři až čtyři bity předchozího bytu, tudíž nedošlo k zapsání veškerých dat do komunikačního bufferu. V kapitole 2.8.1 USB deskriptor je zmíněna potřeba určitého identifikačního údaje pro správné připojení zařízení k PC. Jelikož pro komunikaci potřebujeme otevřít COM port, byla volba identifikačního kódu převzata z emulátoru RS232 na USB, kde RS232 a jeho rozdíl oproti UARTu byl vysvětlen v kapitole 1.3.1 EUSART.

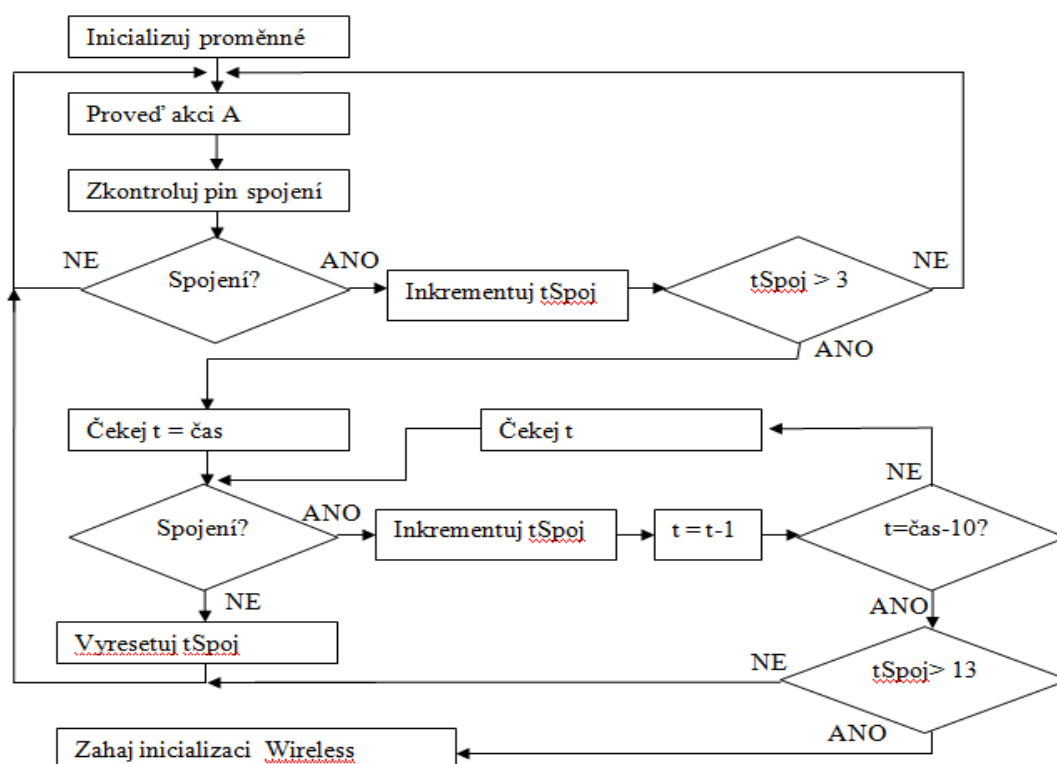
Displej s interfacem

Displej s interfacem je další možností komunikace se sběrným bodem a prioritně je nejvyšší možnou uživatelskou komunikací na tomto přípravku. Samotný displej disponuje řadičem ST7032, který umožňuje komunikaci po I2C, což výrazně šetří vodiče proti nejrozšířenějšímu řadiči HD44780. Displej je opatřen bílým podsvětlením a má k dispozici dva řádky po šestnácti znacích. Menu tohoto displeje je dvou úrovněvé, první úroveň tvoří nabídka operací a druhou úroveň tvoří jejich funkce. V klidovém režimu je na displeji vidět status Drátového a bezdrátového připojení, aby uživatel věděl, zda se někdo hlásí ke sběrnému bodu. Po stisknutí tlačítka menu se dostaneme do menu a uživatel, který se chce přihlásit po USB je automaticky postaven do fronty. Zde by bylo vhodné přidat ochranu proti nečinnosti. V případě, že uživatel zapomene vyskočit z menu nabídky pomocí menu klávesy, je tak znemožněn přístup jiným uživatelům (mimo senzory, které mají nejvyšší prioritu). Tento problém by pravděpodobně odstranila detekce nečinnosti, která by jednoduše po určitém čase ukončila menu mód. Po zapnutí menu se objeví nabídka s vysvětlením jednotlivých funkcí tlačítek a umožní

nám posun nahoru/dolu a výběr akce v menu. Sběrný bod disponuje pěti tlačítky, z nichž tlačítko ESC/Menu je prioritní tlačítko vyvolávající přerušení druhé úrovně. Zbylá tlačítka jsou v pořadí zleva doprava: Zpět, dolu, nahoru, ok, esc/menu. Fotky přípravku jsou k nalezení na přiloženém disku CD-ROM.

Wireless modul

Důležitou součástí je bezdrátový komunikační modul umožňující práci se senzory a díky využití technologie bluetooth také možnost připojení se z mobilního zařízení. Jak již bylo v práci zmíněno, procesory řady PIC18Fxx sice disponují dvěma EUSARTy, ale neumožňují jejich paralelní běh na jednom procesoru, z tohoto důvodu bylo nutné vyřešit prioritní příjem dat. Ve chvíli kdy senzor má k dispozici data, navazuje komunikaci, tato akce je podmínkou pro převzetí výpočetního výkonu procesoru. Aby tohoto bylo dosaženo, je nutné okamžité zanechání veškerých akcí, které procesor provádí a přeorientování se na jiný kanál UARTu. Díky tomu, že samotný UART bezdrátového modulu nemůže vyvolat přerušení, běží-li displej, který se střídá ve své funkci s USB, bylo nutné tuto operaci nějakým způsobem obejít. Většina modulů má stavové porty, výjimkou není ani modul BTM222, který má stavový pin, který je v logické hodnotě jedna, je-li navázána komunikace. Bohužel tento pin mění svůj stav s periodou 0,96s v případě, že není komunikace navázána, a tak bylo nutné vytvořit algoritmus, který bude kontrolovat stav tohoto pinu. Ve chvíli, kdy vytvořený algoritmus rozezná, že spojení je navázáno, vyvolá přerušení všem činnostem a začne s datovou komunikací mezi sběrným bodem a čidlem. Jelikož procesory řady PIC18Fxx nejsou schopny pracovat multithreadově, je zapotřebí, aby kontrola alternovala s právě prováděnou funkcí, více vysvětlí UML diagram.



Obrázek 3-6: UML diagram komunikace

Díky výše zmíněnému diagramu, je vidět, že by bylo mnohem vhodnější, aby zde byla možnost operace dvou paralelních UARTů, která by vyvolala přerušení, ve chvíli, kdy přijdou data. Jedním z možných řešení bylo druhý UART udělat softwarově, což se nakonec ukázalo jako nevhodný nápad z důvodu většího zatížení a zpomalení chodu sběrného bodu, než takto navržená kontrola jednoho pinu.

3.6.3 Archivace

Jak bylo již zmíněno, archivace je možná několika způsoby. V našem případě byl vybrán způsob archivace pomocí SD či MMC karty, kterou je možné připojit přímo na rozhraní SPI. Jedinou nevýhodou je formát karty, který pro bezchybné fungování musí být FAT16 a druhou nevýhodou je čtení dat pod systémem Microsoft Windows, kde data jsou poměrně často nečitelná pro textový editor. V případě čtení dat pod operačním systémem Linux není žádný problém data číst, či upravovat. Knihovny pro práci s SD/MMC kartou jsou přítomny již v základní verzi MPLABX s compilerem XC8+.

SDC			MMC		
No	SD	SPI	No	MMC	SPI
8	DAT1		7	DAT	DO
7	DAT0	DO	6	Vss2	
6	Vss2		5	CLK	SCLK
5	CLK	SCLK	4	Vcc	
4	Vcc		3	Vss1	
3	Vss1		2	CMD	DI
2	CMD	DI	1	RES	CS
1	CAT3	CS			
9	DAT2				

Piny v pořadí z pohledu:



Obrázek 3-7: Rozdíl SD/MMC karty z pohledu PC a SPI

Obrázek 3-7: Rozdíl SD/MMC karty z pohledu PC a SPI ukazuje, které piny je nutné kam zapojit, doporučením zde je přidání blokovacího kondenzátoru o hodnotě 100nF mezi piny napájení a zem.

3.6.4 Napájení

Napájení sběrného bodu je možno několika způsoby, každý z nich má své výhody a nevýhody, jelikož testovací prototyp, byl testován s počítačem, nejčastěji bylo využito napájení přes USB. Základní deska disponuje vlastním stabilizátorem na 5V a rozšiřujícím portem pro napájení. Bylo odzkoušeno, že deska nemá problém se zapnout při hodnotě 3,2V bohužel při této hodnotě není schopen naběhnout displej a bylo by nutné jej doplnit o dva kondenzátory. Pro sepnutí displeje je nutné alespoň zmiňovaných 5V.

Možnosti napájení sběrného bodu:

- USB – hodnota napětí na USB je 5V.
- ICSP port – jedná se o port určený pro debugger
- Stabilizovaný vstup – za tímto portem je stabilizátor napětí na 5V
- Externí modul – lze připojit libovolný modul, který má výstup 5V

4 Shrnutí naměřených a pozorovaných výsledků

4.1 Shrnutí jednotlivých měření

4.1.1 pH

Provedený pokus se sondou PS2102 (2014):

Coca Cola	Napětí: 259mV	pH: 2,52
Voda	Napětí: 2mV	pH: 7,06
Mléko	Napětí: 12mV	pH: 6,92

Celé měření mohlo být ovlivněno neznámou dobou poslední kalibrace, což potvrzují výsledky z měření v minulém roce, kdy byly naměřeny následující hodnoty.

Provedený pokus se sondou PS2102 (2013) – v rámci bakalářského projektu:

Coca Cola	Napětí: 267mV	pH: 2,4
Voda	Napětí: 5mV	pH: 7

Jak je z výsledků patrné, rozdíly jsou poměrně malé a v rámci určité tolerance (10%) se shodují s nalezenými hodnotami na internetu. Jedinou výjimku tvoří Coca Cola, která v našem případě má hodnotu pH 2,4. Na internetu spousta zdrojů uvádí hodnotu přes pH 4. Bohužel z časových důvodů nebyla možnost tuto skutečnou hodnotu nijak ověřit v laboratorních podmínkách.

4.1.2 Teplota

Měření teploty na obou možných čidlech bylo provedeno ve stejném prostředí a oba senzory běžely současně, tudíž by měli být jejich hodnoty shodné, nicméně díky rozdílným A/D převodníkům tomu tak není, viz následující tabulka.

Tabulka 4: Naměřené hodnoty na jednotlivých čidlech

Vzorek	LM92	PT1000	Rozdíl LM92 proti PT1000	Se započtenými chybami čidel
1	26,3728°C	26,3523°C	0,08%	-1,02%
58	25,8741°C	25,8382°C	0,14%	-0,97%
61	26,1095°C	26,1068°C	0,01%	-1,09%
80	26,7305°C	26,7936°C	-0,24%	-1,33%
86	25,6268°C	25,6263°C	0,00%	-1,11%
90	26,6068°C	26,5441°C	0,24%	-0,86%
112	26,2083°C	26,0272°C	0,69%	-0,41%
162	26,0014°C	25,9173°C	0,32%	-0,78%
500	25,5517°C	25,5876°C	-0,14%	-1,26%

Tabulka 4: Naměřené hodnoty na jednotlivých čidlech ukazuje, že většinu času ukazuje PT1000 menší hodnotu než LM92, což je způsobeno velikostí kroku. Jelikož velikost kroku je dána rozlišením A/D převodníku a rozsahem měřených hodnot, je poměrně překvapivé, že měřené čidlo LM92 ukazovalo hodnoty velmi blízké mnohem přesnějšímu čidlu PT1000. Jelikož i po započtení chyb obou čidel (mimo chyb A/D převodníku!) je rozdíl minimální, je poměrně rozumné předpokládat, že čidlo LM92, které bylo zasláno jako vzorek společností Texas Instruments spadá do toho lepšího, co tato řada nabízí.

4.1.3 Vlhkost

Bohužel naměřené hodnoty vlhkosti nejsou zatím podloženy žádnými výsledky, které by se dali prezentovat. Díky zavedení barometrického tlaku a průchodu vzduchu jako konstanty, zavádíme do měření pomocí našeho čidla poměrně výraznou chybu měření. Z tohoto důvodu by bylo vhodné senzor tlaku dodělat. Co se týče naměřených hodnot na tomto senzoru, nedá se je zatím brát jako hotový výsledek. Pro představu zde uvedu naměřené hodnoty:

Tabulka 5: Naměřené hodnoty na pH čidlech

Vzorek	Napětí odporového pH čidla	Napětí kapacitního pH čidla	Psychrometr Hr[%]	Odporové č. Hr[%]	Kapacitní č. Hr[%]
1	2,61V	2,621V	49,35	60	58,74
2	2,58V	2,618V	50,12	60	58,65
3	3,09V	3,142V	73,45	80	75,55
4	2,82V	2,988V	59,82	70	70,58
5	4,97V	3,870V	92,32	100	99,03

Jak zde již bylo zmíněno, hodnoty naměřené viz Tabulka 5: Naměřené hodnoty na pH čidlech, jsou pouze orientační. Veškerý měřicí pokus byl proveden za podmínek neodpovídajících laboratorním podmínkám ani laboratornímu postupu. Nejprve bylo na čidlo fouknuto z ionizátoru vzduchu neznámého výrobce na vzdálenost zhruba 1 m, což mělo za následek vzorky 3 a 4, kde vzorek 4 je v časovém posunu po vzorku 3. Následně byla vzata rychlovarná konvice s dovařenou vodou a dána zhruba 30cm pod čidla. Jelikož pro odporové čidlo byl k dispozici pouze graf, jsou hodnoty odečítány pomocí pravítka. Pro kapacitní čidlo byl k dispozici vzorec, jelikož se jednalo o čidlo s napěťovým výstupem, proběhlo měření stejně jako u odporového čidla na přístroji METEX-3850D se sériovým číslem GC388207 a GC38xxx2 (čísla na pozicích xxx byla nečitelná).

4.2 Energetická náročnost systému

Energetická náročnost systému byla měřena na senzorové desce, senzorové desce s připojenými čidly teploty, senzorové desce s psychrometrem bez větrání, senzorové desce s psychrometrem včetně větrání a na sběrném bodě. Každý z těchto výsledků byl měřen po dobu 24 hodin, v případě sběrného bodu a senzorové desky bez modulu čidla

(pouze s teplotním čidlem LM92) se jednalo o 7 dní, jelikož běžel test stability systému. Údaje o hodnotě proudu a napětí byly získávány vedlejším produktem této práce, tudíž nemá žádné identifikační označení ani sériové číslo. Jedná se o měřicí stanici umožňující záznam dat po USB do textového souboru. Hodnoty byly porovnávány náhodně s přístrojem firmy METEX typ M-3850D, odchylka hodnot byla do 1 % výkonu. Senzorová deska byla probouzena jednou za 30 minut a sběrný bod běžel v neustálém provozu. Výsledná tabulka ukazuje průměrné hodnoty, jelikož naměřených hodnot bylo přes 20000 na každém zařízení. Jako program pro zpracování těchto údajů byl použit Microsoft Excel, jelikož umí exportovat z textového souboru data na základě oddělovacích znaků.

Tabulka 6: Naměřené hodnoty spotřeby

Typ přístroje	Maximální průměrná hodnota [mW]	Minimální průměrná hodnota [mW]	Průměrná hodnota [mW]	Počet vzorků
Sběrný bod	840	215	320	20687
Senzorová deska	700	49	158	20686
Psychrometr	780	52	173	2880
Psychrometr + vent.	1870	52	355	2880
Senzor + PT1000	737	51	165	2880

Tabulka 6: Naměřené hodnoty spotřeby, naznačuje spotřeby jednotlivých zařízení, průměrná hodnota je počítána za předpokladu, že senzor 50 minut v hodině spí, což odpovídá, vysílá-li senzor jednou za 30 minut (60 minut, 2·5minut vysílání, 2·25 minut režim spánku). Hodnoty v režimu spánku odpovídají zhruba spotřebě 14mA, což je více, než je uvedeno v datasheetu procesoru, ale je nutné si též uvědomit, že procesor není jedinou součástí na plošném spoji. Maximální hodnota měřeného příkonu je dána, sepnutím čidla a následně komunikační jednotky. Hodnoty, které jsou zde naměřeny, odpovídají zhruba předpokládaným hodnotám, jelikož samotný modul vyžaduje dle datasheetu 110mA, což by znamenalo příkon 560mW. Dále je z této tabulky vidět spotřeba psychrometru s větráním, tato hodnota je dána DC větráčkem a představuje poměrně velký problém pro lithiové baterie. Veškeré údaje uvedené viz Tabulka 6: Naměřené hodnoty spotřeby, jsou uvedeny bez zohlednění chyb a nejistot měření a mají pouze orientační charakter.

4.3 Stabilita systému

Stabilita systému jako celku byla zkoumána v rámci měření spotřeby, celý systém byl v provozu po dobu 7dnů, při kterých nedošlo k jeho výpadku. Problémem byla ovšem stabilita vypnutého systému, jelikož na sběrném bodě docházelo po třech až čtyřech dnech ke ztrátě dat z programové paměti procesoru PIC18F45K22. Tento problém nastal pouze u této desky a je pravděpodobně zapříčiněn měřením, které bylo provedeno na desce pomocí digitálního osciloskopu (některá pouzdra mají malé mezery mezi vývody a tak mohlo dojít ke zkratu a porušení procesoru).

5 Závěr

5.1 Zhodnocení

Výsledkem této práce a celého snažení je funkční finančně nenáročný systém měření neelektrických veličin. Tento systém je schopen data získat, zpracovat, přenést, archivovat a zobrazit. Během prováděných měření (výsledky jsou součástí příloženého CD-ROM) došlo k poškození základní desky sběrného bodu následkem zkratu a bylo nutno odebrat modul s integrovaným obvodem MAX485, který umožňoval komunikaci po průmyslové sběrnici RS485, proto není o tomto komunikačním modulu v práci zmínka, jeho schéma zapojení je též součástí disku CD-ROM. Při měření dále došlo k poškození procesoru zajišťujícího výpočty a řízení displeje, tento procesor byl nahrazen bez jakýchkoliv obtíží a na prezentovaný systém jeho náhrada nemá žádný vliv. Navržený a realizovaný systém je poměrně energeticky nenáročný a splňuje očekávání, bohužel psychrometrická metoda, která vyžaduje pro svůj chod větrané prostředí, je díky přítomnosti DC větráčku poměrně energeticky náročná a díky absenci tlakového čidla není zaručena její přesnost. Teplotní snímače jsou energeticky nenáročné a při provozu na baterie vydrží teoreticky i několik měsíců. Díky jejich vysoké přesnosti, jsou určené i pro měření v oblastech s malou změnou teploty. Při volbě procesoru pro výpočty, bylo předpokládáno, že uváděné údaje výrobcem jsou bez výjimky pravdivé, tato důvěra se ukázala jako mylná, jelikož vybraný procesor disponuje dvěma hardwarovými komunikačními jednotkami, jak bylo napsáno, ale nelze je využívat paralelně. Tento problém byl objasněn výrobcem procesoru až po uvedení celé základní desky do chodu a tak bylo pozdě na volbu jiného procesoru. Následkem tohoto nedostatku byla potřeba celou situaci řešit softwarově, což zvyšuje náročnost systému na spotřebu energie a znemožňuje reálný paralelní chod komunikačních prostředků. V rámci týdenního testování se tento nedostatek neprojevil, ale z hlediska dlouhodobého fungování může mít vliv na stabilitu celého systému.

5.2 Diskuze dalšího možného pokračování

V rámci postupného doplňování si znalostí z oboru mikroprocesorové techniky a snímání fyzikálních a chemických veličin v průběhu této práce, se naskytl jiný náhled na celé řešení. Sensorová deska i základní deska sběrného bodu by byla osazena 32bitovým procesorem, jelikož tyto procesory disponují více jak čtyřmi komunikačními jednotkami a umožňují reálný paralelní přístup k jejich funkcím. Dalším doplněním této práce by bylo vhodné přidání snímače barometrického tlaku. Tyto snímače není problém zakoupit s digitálním výstupem, a proto jediná nutná úprava by byla přidání softwarové metody komunikace do stávající sensorové desky. Dalším vhodným doplněním by bylo softwarové řešení pro sběr a vizualizaci dat pomocí USB a nastavování čidel pomocí tohoto softwaru namísto stávajícího sběru a nastavování pomocí textového terminálu.

Použitá literatura

- [1] KOPAL, A. a kol. FYZIKA I. Liberec: TUL, 2009. ISBN 978-80-7372-477-1.
- [2] Nation oceanic and atmospheric administration [online]. [vid. 11.04.2014].
Dostupné z: <http://www.wrh.noaa.gov/sto/rhtbl.php>
- [2] JAN VOBECKÝ; VÍT ZÁHLAVA. *Elektronika, součástky a obvody, principy a příklady*, GRADA PUBLISHING, a. s., 2005, ISBN 80-247-1241-5
- [3] PLÍVA, Zdeněk; DRÁBKOVÁ, Jindra. *Metodika zpracování diplomových, bakalářských a vědeckých prací na FM TUL*. Vyd. 1. Liberec: Technická univerzita, 2007. 40 s.
Dostupné z WWW: <http://www.fm.tul.cz/files/jak_psat_DP.pdf>. ISBN 978-80-7372-189-3.
- [4] C18_Libraries_51297f, příloha CD firmy Microchip MPLAB IDE
- [5] VLADIMÍR HAASZ, MILOŠ SEDLÁČEK, *Elektronická měření. Přístroje a metody*, ČVUT, ISBN 80-01-02731-7
- [6] GM ELECTRONIC – Katalog 2009, Součástky pro elektrotechniku
- [7] John G. Webster, *The Measurement, Instrumentation, and Sensors: Handbook*, Springer, 1999, ISBN 3540648305, 9783540648307
- [8] Stephen A. Dyer, *Wiley Survey of Instrumentation and Measurement*, John Wiley & Sons, 2004, ISBN 0471221651, 9780471221654
- [9] Electronic Lives Mfg. [online]. [vid. 14.04.2014].
Dostupné z: http://elm-chan.org/docs/mmc/mmc_e.html

A. Příloha: Seznam obrázků

Obrázek 1-1: Rozdíl mezi UARTem (nahore) a RS232	13
Obrázek 1-2: Textový soubor po exportu	14
Obrázek 2-1: čidlo pro měření pH	17
Obrázek 3-1: Operace s I2C na teplotních čidlech	20
Obrázek 3-2: Navržený psychrometr	21
Obrázek 3-3: Konečný návrh pH sondy	25
Obrázek 3-4: Schémata symetrického napájení pro měření pH	26
Obrázek 3-5: Blokové schéma celého systému	27
Obrázek 3-6: UML diagram komunikace	33
Obrázek 3-7: Rozdíl SD/MMC karty z pohledu PC a SPI	34

B. Příloha: Seznam tabulek

Tabulka 1: Vysvětlivky k nákresu psychrometru	21
Tabulka 2: Hodnoty poskytnuté společností NOAA	24
Tabulka 3: Vypočtené hodnoty pro vlhkost.....	24
Tabulka 4: Naměřené hodnoty na jednotlivých čidlech	35
Tabulka 5: Naměřené hodnoty na pH čidlech	36
Tabulka 6: Naměřené hodnoty spotřeby	37

C. Příloha: Obsah disku CD-ROM

Obsah nosiče CD-ROM:

- Fotografie
 - Fotografie měřicího systému
 - Naměřené hodnoty
- Katalogové listy použitých součástek
- Knihovny
- Text bakalářské práce
 - BP_M_Dostalek_2014.docx
 - BP_M_Dostalek_2014.pdf
 - Kopie_zadaní_prace_m_dostalek_2014.jpg
- Výkresová dokumentace
 - Návrh desek v programu EAGLE
- Zdrojové kódy
 - Sběrný bod
 - Senzor
- Tabulky a jiné soubory