



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA ELEKTROTECHNIKY

A KOMUNIKAČNÍCH TECHNOLOGIÍ

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION

ÚSTAV AUTOMATIZACE A MĚŘICÍ TECHNIKY

DEPARTMENT OF CONTROL AND INSTRUMENTATION

SYSTÉM PRO MĚŘENÍ TEPLoty, TLAKU A VLHKOSTI VE VÝROBNÍ HALE

TEMPERATURE, PRESSURE AND HUMIDITY MONITORING SYSTEM FOR A WORKSHOP FLOOR

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. Tomáš Kudera

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

doc. Ing. Petr Fiedler, Ph.D.

BRNO 2017

Diplomová práce

magisterský navazující studijní obor **Kybernetika, automatizace a měření**

Ústav automatizace a měřicí techniky

Student: Bc. Tomáš Kudera

ID: 183587

Ročník: 2

Akademický rok: 2016/17

NÁZEV TÉMATU:

Systém pro měření teploty, tlaku a vlhkosti ve výrobní hale

POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

Navrhněte koncepci distribuovaného systému pro měření teploty, tlaku a vlhkosti vzduchu ve výrobní hale.

Postupujte v následujících krocích:

1. Definujte požadavky na výsledné měření z hlediska architektury sběru dat, přenosu dat, četnosti měření a přesnosti měření jednotlivých veličin .
2. Prozkoumejte vlastnosti, cenu a dostupnost vhodných senzorů pro měření teploty, vlhkosti a kombinovaných senzorů.
3. Navrhněte hardwarovou a softwarovou část senzoru s USB rozhraním pro měření teploty a vlhkosti.
4. Navrhněte strukturu lokální databáze a vzdálené (centrální) databáze.
5. Senzor realizujte a ověřte jeho funkčnost.
6. Navrhněte a realizujte software pro PC umožňující :
 - synchronizaci hodin se vzdáleným zdrojem přesného času
 - ukládání hodnot s časovými značkami do lokální databáze
 - odesílání do vzdálené databáze.
 - přehledné zobrazování naměřených hodnot,
 - odeslání e-mailu v případě překročení mezí nebo poruchy senzoru
7. Ověřte výsledný systém v praxi a výsledky zhodnoťte.

DOPORUČENÁ LITERATURA:

Katalogové listy senzorů.

Termín zadání: 6.2.2017

Termín odevzdání: 15.5.2017

Vedoucí práce: doc. Ing. Petr Fiedler, Ph.D.

Konzultant:

doc. Ing. Václav Jirsík, CSc.
předseda oborové rady

UPOZORNĚNÍ:

Autor diplomové práce nesmí při vytváření diplomové práce porušit autorská práva třetích osob, zejména nesmí zasahovat nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a musí si být plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č.40/2009 Sb.

Abstrakt

Tato diplomová práce se zabývá návrhem celkové koncepce distribuovaného systému pro měření teploty, tlaku a vlhkosti, přičemž systém je přizpůsoben pro potřeby výrobní haly přístrojových transformátorů a senzorů společnosti ABB s.r.o. v Brně. Práce se nejprve zabývá definicí požadavků na měřicí systém. Následuje průzkum trhu v oblasti senzorů a měřících modulů. Zvolený senzor je poté zabudován do vlastního měřícího modulu, jehož hardwarová a softwarová část je v práci navržena. Poté je věnována pozornost návrhu lokální a vzdálené databáze pro ukládání naměřených hodnot. Mimo to je navržen software pro záznam naměřených hodnot a jejich odesílání do centrální databáze. Komponenty měřícího systému jsou poté v poslední části testovány.

Klíčová slova

měření teploty, měření vlhkosti, senzor, datalogger, BME280, UART, USB, databáze, SQL, C#

Abstract

This thesis deals with the design of overall concept of distributed system which is used for temperature, pressure and humidity measurement. The system is adapted to be used in instrument transformers and sensors production hall of ABB s.r.o. Brno. Firstly, the requirements for the measuring system are defined. After that market research focused on sensors and measurement modules is performed. The selected sensor is afterwards built into own measurement module for which hardware and software part is designed. The work continues with design of local and remote database of measured values. Besides, the PC software used for local and remote data storage is designed afterwards. The components of the measurement system are tested in the final part of the thesis.

Keywords

temperature measurement, humidity measurement, sensor, datalogger, BME280, UART, USB, database, SQL, C#

Bibliografická citace

KUDERA, T. Systém pro měření teploty, tlaku a vlhkosti ve výrobní hale. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2017. 103 s. Vedoucí diplomové práce doc. Ing. Petr Fiedler, Ph.D..

Prohlášení

Prohlašuji, že svou diplomovou práci na téma Systém pro měření teploty, tlaku a vlhkosti jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou všechny citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce.

Jako autor uvedené diplomové práce dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením této diplomové práce jsem neporušil autorská práva třetích osob, zejména jsem nezasáhl nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a jsem si plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení § 152 trestního zákona č. 140/1961 Sb.

V Brně dne 11. května 2017

.....

podpis autora

Poděkování

Tímto bych rád poděkoval vedoucímu diplomové práce doc. Ing. Petru Fiedlerovi, Ph.D. za cenné rady a připomínky, které mi pomohly při tvorbě práce. Dále děkuji Ing. Jitce Strýčkové a Ing. Radku Bártkovi za pomoc s realizací tohoto měřicího systému ve výrobní hale přístrojových transformátorů a senzorů ABB s.r.o v Brně.

1 OBSAH

1	Obsah	7
1.1	Seznam obrázků	9
1.2	Seznam tabulek.....	11
2	Úvod	12
3	Architektura sběru dat	13
3.1	Požadavky na měřicí systém	13
3.2	Připojení měřicích modulů k síti	14
3.2.1	Původní síťová topologie	14
3.2.2	Posouzení jednotlivých způsobů připojení k síti	15
3.3	Zvolené řešení připojení modulů	17
4	Průzkum trhu senzorů	21
4.1	Terminologie	21
4.2	Požadavky na měřicí modul a senzor	22
4.3	Průzkum trhu měřicích modulů	22
4.3.1	EL-USB-2.....	23
4.3.2	GAR 202	23
4.3.3	LOG32TH 31.1054.....	24
4.3.4	TI HDC1080EVM	24
4.3.5	HYTELOG-USB-SET2	25
4.3.6	Zhodnocení měřicích modulů	25
4.4	Průzkum trhu senzorů	26
4.4.1	Analogové senzory.....	27
4.4.2	Digitální senzory.....	28
4.4.3	Zhodnocení senzorů	30
5	Návrh hardwarové a softwarové části měřicího modulu	32
5.1	Hardwarová část	32
5.1.1	Blokové schéma měřicího modulu.....	32
5.1.2	Volba komponent.....	33
5.1.3	Schéma zapojení	38
5.1.4	Testování	40
5.1.5	Deska plošných spojů.....	41
5.2	Softwarová část	44
5.2.1	Konfigurace obvodu MCP2200	44
5.2.2	Propojení prostředí Atmel Studio s programátorem USBASP	46
5.2.3	Konfigurace pojistek mikrokontroléru	48
5.2.4	Zkouška prvního testovacího programu na čtení teploty a vlhkosti.....	50
5.2.5	Návrh komunikačního protokolu	52
5.2.6	Popis funkce programu mikrokontroléru.....	53
6	Návrh lokální a vzdálené databáze	57

6.1	Definice požadavků	57
6.2	Návrh databázového modelu	58
6.2.1	Lokální databáze	59
6.2.2	Vzdálená databáze	59
7	Realizace měřicího modulu	61
7.1	Výroba DPS	61
7.2	Osazení DPS	62
7.3	Naprogramování a otestování modulu	64
7.4	Odhad nákladů na materiál pro výrobu měřicího modulu	65
8	Návrh software pro PC	66
8.1	Souhrn požadavků na software	66
8.2	Popis architektury SW	67
8.2.1	Stavový řádek a hlavní konfigurační menu	68
8.2.2	Aktuální naměřené hodnoty	70
8.2.3	Lokální databáze naměřených hodnot	71
8.2.4	Vzdálená databáze naměřených hodnot	73
8.2.5	Synchronizace času	74
8.2.6	Odesílání emailů při překročení mezních hodnot	75
8.2.7	Automatický režim	77
9	Zprovoznění a testování komponentů měřicího systému	78
9.1	Příprava průmyslového PC pro běh aplikace	78
9.1.1	Specifikace průmyslového PC	78
9.1.2	Příprava operačního systému	80
9.2	Testování komponentů měřicího systému	82
9.2.1	Srovnání naměřených hodnot všech osmi modulů	82
9.2.2	Doba reakce na rychlou změnu teploty a vlhkosti	84
9.2.3	Testování podporovaných přenosových rychlostí měřicího modulu	87
9.2.4	Testování zatížení CPU a paměti při běhu aplikace na průmyslovém PC	87
10	Závěr	90
11	Seznam použitých zdrojů	93
12	Seznam použitých zkratk a symbolů	96
13	Seznam příloh	98

1.1 Seznam obrázků

Obrázek 1: Síťová topologie výrobní haly přístrojových transformátorů a senzorů.....	14
Obrázek 2: Běžné pracoviště s průmyslovým PC – terminálem.....	15
Obrázek 3: Navrhovaná síťová topologie.....	18
Obrázek 4: Příklad zobrazení aktuální teploty, vlhkosti a rosného bodu.....	19
Obrázek 5: Příklad uspořádání vnitřních bloků běžného USB měřicího modulu teploty.....	21
Obrázek 6: Modul EL-USB-2.....	23
Obrázek 7: Modul GAR 202.....	23
Obrázek 8: Modul LOG32TH 31.1054.....	24
Obrázek 9: Modul TI HDC1080EVM.....	24
Obrázek 10: Modul HYTELOG-USB-SET2.....	25
Obrázek 11: Čidlo PT100 - 100R.....	27
Obrázek 12: Čidlo HIH-4000-001.....	27
Obrázek 13: Senzor DHT22.....	28
Obrázek 14: Senzor TI HDC1080.....	29
Obrázek 15: Senzor Bosch BME280 [18].....	29
Obrázek 16: Senzor Sensirion SHT25.....	30
Obrázek 17: Základní blokové schéma navrhovaného měřicího modulu.....	32
Obrázek 18: Senzor BME 280 [22].....	33
Obrázek 19: DIP28.....	35
Obrázek 20: TQFP32.....	35
Obrázek 21: MFL32.....	35
Obrázek 22: Programátor USBASP [24].....	35
Obrázek 23: SO20.....	36
Obrázek 24: QFN 5x5.....	36
Obrázek 25: TO220.....	37
Obrázek 26: PPAK.....	37
Obrázek 27: DPAK.....	37
Obrázek 28: Napájecí část USB senzoru.....	38
Obrázek 29: Zapojení USB/UART převodníku MCP2200.....	39
Obrázek 30: Zapojení mikrokontroléru ATmega8A.....	40
Obrázek 31: Zapojení na nepájivém kontaktním poli.....	41
Obrázek 32: Krabice KP34.....	42
Obrázek 33: 3D model navržené DPS.....	43
Obrázek 34: Konfigurační nástroj pro MCP2200.....	45
Obrázek 35: Testování komunikace v programu Putty.....	46
Obrázek 36: Nastavení spouštění AVRdude v Atmel Studiu.....	48
Obrázek 37: Nastavení pojistek pomocí webového kalkulatoru [30].....	49
Obrázek 38: Výstup v terminálu PuTTY po nahrání vzorového programu.....	51
Obrázek 39: Komunikace s modulem pomocí příkazů.....	53
Obrázek 40: Vývojový diagram (vlevo hlavní funkce, vpravo obsluhy přerušení).....	54

Obrázek 41: Rekapitulace síťové topologie	57
Obrázek 42: Lokální databáze skládající se ze dvou tabulek	59
Obrázek 43: Databázový model vzdálené databáze.....	60
Obrázek 44: První dva kusy vyrobené kusy DPS	61
Obrázek 45: Příprava na nanášení pájecí pasty	62
Obrázek 46: Dávka 4 desek po připájení SMD součástek	63
Obrázek 47: Čištění desek pomocí izopropanolu	63
Obrázek 48: Dokončená DPS.....	64
Obrázek 49: Souhrn projektů.....	67
Obrázek 50: Základní konfigurační menu	68
Obrázek 51: Naměřené lokální hodnoty.....	71
Obrázek 52: Zobrazení hodnot uložených v lokální databázi.....	72
Obrázek 53: Výpis hodnot z centrální databáze	73
Obrázek 54: Přední pohled na PC UIBX-230.....	79
Obrázek 55: Zadní pohled na PC UIBX-230.....	79
Obrázek 56: Obsah složky C:\EWF	80
Obrázek 57: Deaktivace EWF pomocí ewf_disable	80
Obrázek 58: Reakce měřicího modulu na menší změny teploty a vlhkosti.....	84
Obrázek 59: Reakce měřicího modulu na výraznější změny teploty a vlhkosti	86
Obrázek 60: Uspořádání sítě pro testování běhu aplikace na průmyslovém PC	88
Obrázek 61: Vzhled aplikace pro záznam dat při spuštění na PC UIBX-230	88
Obrázek 62: Sledování využití procesoru po zapnutí aplikace ve správci úloh.....	89
Obrázek 63: Paměťové nároky aplikace	89

1.2 Seznam tabulek

Tabulka 1: Opatření proti nadměrné teplotě přijatá v jednotce PPHV ABB v Brně.....	13
Tabulka 2: Požadavky na měřicí systém.....	13
Tabulka 3: Kritéria volby způsobu připojení měřícího modulu.....	16
Tabulka 4: Požadavky na měřicí modul.....	22
Tabulka 5: Parametry modulu EL-USB-2 [2].....	23
Tabulka 6: Parametry modulu GAR 202 [4].....	23
Tabulka 7: Parametry modulu LOG32TH 31.1054 [5].....	24
Tabulka 8: Parametry modulu Texas Instruments HDC1080EVM [6].....	24
Tabulka 9: Parametry modulu B & B Thermotechnik HYTELOG-USB-SET2 [8].....	25
Tabulka 10: Parametry čidla PT100 - 100R [10].....	27
Tabulka 11: Parametry čidla HIH-4000-001 [12].....	27
Tabulka 12: Parametry senzoru DHT22 [13].....	28
Tabulka 13: Parametry senzoru TI HDC1080 [15].....	29
Tabulka 14: Parametry senzoru Bosch BME280 [16].....	29
Tabulka 15: Parametry senzoru Sensirion SHT25 [19].....	30
Tabulka 16: Parametry procesoru ATmega8A [23].....	35
Tabulka 17: Parametry obvodu MCP2200 [25].....	36
Tabulka 18: Parametry obvodu LF33 [26].....	37
Tabulka 19: Parametry krabičky KP34 [27].....	42
Tabulka 20: Nastavení sériové komunikace.....	50
Tabulka 21: Seznam příkazů pro komunikaci s modulem.....	52
Tabulka 22: Obsah zdrojových souborů.....	53
Tabulka 23: Indikace stavů pomocí LED diod - shrnutí.....	56
Tabulka 24: Parametry ukládaných veličin.....	58
Tabulka 25: Specifikace DPS pro výrobu.....	61
Tabulka 26: Odhad nákladů na materiál.....	65
Tabulka 27: Vysvětlení stavového řádku.....	69
Tabulka 28: Parametry pro připojení k SMTP serveru.....	76
Tabulka 29: Příklady varovných emailů.....	76
Tabulka 30: Srovnání naměřených hodnot osmi vyrobených modulů.....	83
Tabulka 31: Udávané hodnoty přesnosti senzoru BME 280 [16].....	83
Tabulka 32: Porovnání rozdílů max. a min. hodnot s dovoleným rozdílem.....	83
Tabulka 33: Podporované přenosové rychlosti měřícího modulu.....	87

2 ÚVOD

Tato diplomová práce je zaměřena na realizaci systému měřících modulů, jejichž úkolem je měření teploty a vlhkosti na několika vybraných místech ve výrobní hale průstrojových transformátorů a senzorů společnosti ABB, s.r.o. v Brně. Účelem měření je především sledování vlivu absolutních hodnot a odchylek teploty a vlhkosti na kvalitu skladovaných materiálů, které vstupují v různých fázích do výrobního procesu. Dalším předpokládaným využitím tohoto systému je podpora bezpečnosti práce a ochrany zdraví zejména v letních měsících, kdy teplota v hale vlivem přítomných licích strojů značně stoupá. Je proto dobré vědět, v jakých mezích se teplota nachází, a v případě překročení určité hranice zavést příslušná opatření, např. ochranný nápoj nebo bezpečnostní přestávku.

Jak už bylo zmíněno, navrhovaný systém se skládá z měřících modulů. Měřícím modulem se zde rozumí zařízení obsahující senzor a další elektroniku, která zajišťuje předávání dat naměřených senzorem přes vhodnou komunikační sběrnici k dalšímu zpracování. První z řešených otázek je, kterou sběrnici dostupnou ve výrobní hale použít k těmto účelům. K tomu je zapotřebí zmapovat možnosti připojení, které jsou v hale dostupné, tedy počty ethernetových zásuvek, rozmístění průmyslových PC s dostupnými USB porty, případně ověřit pokrytí WiFi signálem na místech měření. Z těchto možností připojení je pak třeba vybrat tu, která se jeví z většiny hledisek jako nejvýhodnější. Dále je třeba ujasnit si požadovanou obnovovací frekvenci a přesnost měření.

Po ujasnění požadavků na architekturu sběru dat, lze poté přikročit k další části, která spočívá ve volbě vhodného senzoru schopného s požadovanou přesností měřit všechny stanovené veličiny. Tento senzor pak bude reprezentovat vstupní část měřícího modulu, který se dále skládá z vhodného mikroprocesoru a případného komunikačního obvodu. Celý tento měřící modul, tedy hardwarovou i softwarovou část bude třeba v práci navrhnout a realizovat. Ačkoli je plánováno, že měření bude probíhat na více místech, přičemž hodnoty se budou ukládat do centrální databáze, je vhodné v případě řešení s komunikací přes USB počítat i s možností ukládání dat do databáze lokální, což je vhodné pro počítače bez připojení k podnikovému intranetu. Obě databáze, lokální i centrální je třeba navrhnout tak, aby byla naměřená data ukládána hospodárně a efektivně. Data uložená v centrální databázi pak budou klíčová pro další projekty ABB, které budou navazovat na tuto diplomovou práci.

S přihlédnutím ke zvolené sběrnici pro připojení měřících modulů je pak třeba navrhovat software, který bude disponovat všemi funkcionalitami uvedenými v zadání, tedy zobrazováním naměřených hodnot, jejich ukládáním do centrální databáze, odesíláním emailů v případě překročení dovolených mezí a mimo jiné také synchronizací času se vzdáleným serverem.

Navržený systém je následně třeba otestovat a zhodnotit jeho použitelnost ve výrobní hale ABB.

3 ARCHITEKTURA SBĚRU DAT

Tento systém pro měření teploty a vlhkosti je navrhován primárně pro potřeby společnosti ABB s.r.o, konkrétně pro výrobní halu a přilehlé sklady divize Přístrojových transformátorů a senzorů. Účelem měření je zejména stanovení vlivu absolutní hodnoty a odchylek teploty a vlhkosti na kvalitu materiálů a polotovarů, vstupujících v různých fázích do výrobního procesu. Je tedy podporou k dalším projektům Oddělení kvality. V tomto ohledu bude důležité stanovit místa, kde dochází k náhlým lokálním změnám, např. orosení a navlhnutí izolačních materiálů, případně hotových funkčních částí.

Další oblastí uplatnění tohoto měření může být hledisko bezpečnosti práce a ochrany zdraví - sledování, zdali jsou parametry prostředí v přijatelných mezích, a to nejen z hlediska legislativy. Jako příklad lze v tomto případě uvést opatření proti teplotě platná v sousední jednotce PPHV ABB v Brně:

Tabulka 1: Opatření proti nadměrné teplotě přijatá v jednotce PPHV ABB v Brně

	Do 28 °C včetně	Nad 28 °C do 34 °C včetně	Nad 34 °C
Bezpečnostní přestávka	Žádná	10 min každé 2 hodiny (1:50 práce, 0:10 přestávka)	30 min každé 2 hodiny (1:30 práce, 0:30 přestávka)
Ochranný nápoj	Voda z vodovodu / výdejníku	Voda z vodovodu / výdejníku	Středně mineralizovaná minerálka (1,5 l) (1ks / pracovníka / směnu)

3.1 Požadavky na měřicí systém

Po dohodě se zainteresovanými osobami byly definovány následující požadavky na celý měřicí systém:

Tabulka 2: Požadavky na měřicí systém

Lokace:	Výrobní hala přístrojových transformátorů a senzorů ABB s.r.o., Vídeňská 117, Brno
Počet míst měření:	8
Frekvence měření:	každých 15 minut
Přesnost měření teploty:	± 1 °C
Rozsah měření teploty:	0 – 60 °C
Přesnost měření vlhkosti:	± 4 %RH
Rozsah měření vlhkosti:	20 – 100 %RH
Ukládání dat:	Lokální a vzdálená databáze
Další vlastnosti:	<ul style="list-style-type: none">• Výpočet rosného bodu z teploty a vlhkosti• Vnitřní datová paměť pro umístění senzoru• LED diody pro indikaci stavu

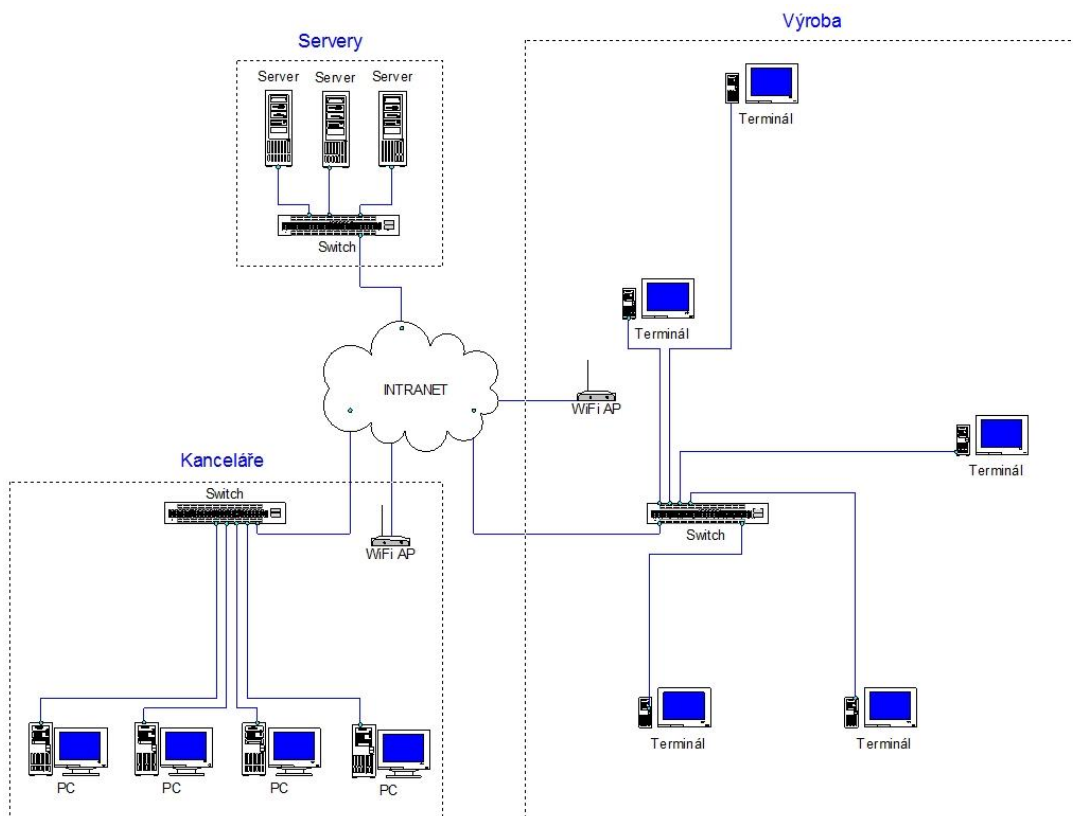
Z tabulky je patrné, že požadavky na přesnost měřících modulů jsou relativně mírné. Přesto bude vhodné hotové měřící moduly alespoň jednobodově zkalibrovat, aby bylo v případě potřeby možné garantovat požadovanou přesnost.

Celý měřící systém lze realizovat buď pomocí průmyslových měřících modulů (dataloggerů) třetích stran, nebo je možné zkonstruovat a použít měřící moduly vlastní. Každé z řešení má své výhody a nevýhody. Kompromisem může být kombinace první i druhé možnosti: přesnými měřícími moduly osadit kritická místa, na méně důležitá místa pak umístit měřící moduly méně přesné.

3.2 Připojení měřících modulů k síti

3.2.1 Původní síťová topologie

Při výběru vhodného typu průmyslového měřícího modulu a stejně tak i při konstrukci vlastního je třeba rozhodnout, jakým způsobem moduly zapojit do již existující datové sítě. Na následujícím obrázku je zjednodušeně zakreslena síťová topologie použitá v příslušné hale:



Obrázek 1: Síťová topologie výrobní haly přístrojových transformátorů a senzorů

Ve výrobní hale přístrojových transformátorů a senzorů je od roku 2012 zaveden MES systém pro evidenci vyrobených kusů. Na většině pracovišť jsou umístěny terminály (průmyslová PC) s běžícím MES klientem, který dělníci využívají především k oznamování započetí a ukončení práce na příslušném kusu.

Jednotlivé kusy načítají pomocí čteček čárových kódů, které se zapojují do USB. Na většině terminálů ještě zbývá minimálně jeden volný USB konektor, naproti tomu zběžná prohlídka haly ukázala, že zásuvek 230 V a Ethernetových zásuvek je spíše nedostatek.



Obrázek 2: Běžné pracoviště s průmyslovým PC – terminálem

3.2.2 Posouzení jednotlivých způsobů připojení k síti

Pro připojení měřicího modulu se tedy nabízí následující možnosti:

- Připojení přes Ethernet s napájením ze sítě 230 V, či lépe přes PoE, které by se muselo na switchi aktivovat.
- Připojení přes USB s využitím již existující sítě terminálů, včetně přeposílání dat přes terminály.
- Připojení pomocí Wi-Fi, případně jiné bezdrátové technologie s napájením ze sítě 230 V nebo z baterií.

Aby bylo možné rozhodnout, kterou z těchto možností zvolit, je třeba zmapovat počty terminálů včetně jejich umístění, případně počty volných ethernetových zásuvek a zásuvek 230 V. Dále pak posoudit klady a zápory každého z navrhovaných řešení.

Nejzásadnější kritéria volby pro vlastní měřicí modul znázorňuje následující tabulka:

Tabulka 3: Kritéria volby způsobu připojení měřicího modulu

	Ethernet	USB	Wi-Fi*
Náklady na měřicí modul	stejně	stejně	stejně
Ostatní náklady **	vyšší	nižší	střední
Mobilita měřicích modulů	střední	nízká	vysoká
Složitost návrhu SW	vyšší	nižší	vyšší
Vliv na chod terminálů	žádný	závisí na SW	žádný
Administrativa spojená s realizací	střední	malá	velká
Spotřeba	nižší	nižší	vyšší

* Bezdrátový přenos pomocí Wi-Fi, případně pomocí jiné technologie

** Náklady na kabeláž, instalaci, síťové prvky, adaptéry

Z hlediska nákladů na měřicí modul má v tomto případě vliv cena komunikačního obvodu. Jako nejlevnější se jeví použití jednoduchého USB / UART převodníku, kterých dnes existuje velké množství za cenu desítek Kč. O několik desítek Kč dražší jsou pak Ethernetové komunikační moduly. Miniaturní Wi-Fi moduly s dosahem alespoň 200 m lze dnes pořídit také za desítky Kč. Ve výsledku se ceny komunikačních modulů liší jen málo.

Výraznější rozdíly jsou ovšem patrné v nákladech za kabeláž, instalační materiál a dodatečné síťové prvky. A to nejen v nákladech na materiál, ale i v množství práce spojené s instalací. U USB budou tyto náklady zjevně nejnižší, je v nich obsažena cena běžného USB kabelu v délce 2 – 5 m, případně aktivního prodlužovacího kabelu o větších délkách, pokud to bude třeba. Navíc je možné měřicí modul z USB napájet.

V případě použití Wi-Fi se sice ušetří za kabely, nicméně bude nutné zajistit napájení. Přístupové body jsou již po hale rozmístěny, takže se do nákladů nepočítají. Co se týče napájení, použití baterií by sice zvyšovalo mobilitu modulů, na druhou stranu by bylo nutné starat se o jejich dobíjení, což je v rozporu s požadavkem na bezúdržbovost modulů. Periody výměny, případně dobíjení baterií se ovšem dají prodloužit, a to použitím jiné komunikační technologie, která může používat odlišnou frekvenci, modulaci apod. Takovýchto komunikačních modulů lze na internetu najít mnoho za relativně nízké ceny. Napájet lze také z USB konektoru terminálů, tím ale přicházíme o mobilitu měřicích modulů a celé řešení v podstatě ztrácí svůj smysl.

Čím bude delší doba mezi jednotlivými měřeními, tím bude delší životnost na jedno nabití. Méně častá měření snižují objem přenášených dat a dobu, po kterou je vysílač aktivní. Pokud by měřicí modul zároveň disponoval nízkopříkonovým mikrokontrolérem, např. z rodiny MSP430 od Texas Instruments, doba chodu měřicího modulu na jedno nabití by se jistě prodloužila.

U Ethernetu jsou pak Ostatní náklady nejvyšší, protože v místech bez volných zásuvek by bylo třeba přivést další kabely a vytvořit nové zásuvky. Od těch by pak byly vedeny další kabely k měřicím modulům. Do výsledné ceny je též nutno započítat případné napájecí adaptéry.

Mobilita měřících modulů je jednoznačně nejvyšší v případě použití bezdrátového přenosu spolu s bateriovým napájením. V případě použití běžného propojovacího USB kabelu je možno měřící modul umístit max. do 5 metrů od terminálu, což je dáno maximální délkou USB kabelu podle specifikace [1]. Samozřejmě ale existují i aktivní prodlužovací USB kabely - opakovače o délkách 10 m, případně 20 m. Kromě toho lze levně sehnat i adaptéry USB over Ethernet. Objem přenášených dat není v tomto případě velký, tudíž bude stačit, pokud rychlost přenosu bude na úrovni USB 1.1, tedy 1,5 Mbit/s, případně 12 Mbit/s.

Složnost návrhu software pro mikrokontrolér je nejvyšší v případě Wi-Fi a Ethernetu. Obě koncepce vyžadují, aby byl mikrokontrolér schopen se přes síťový modul připojit k databázi a vkládat do ní data. Je samozřejmě možné řešit problém i jinak, tj. stahovat data ze měřících modulů a pak je ukládat. Varianta s USB využívá terminálů jakožto mezičlánek, síťového mostu, na němž běží v pozadí program, jehož úkolem je zajišťovat přeposílání naměřených dat do databáze. Komunikaci s databází obstarává běžný Win32 program, který není obtížné naprogramovat. Běh takového programu ale může mít vliv na rychlost terminálu, na kterém již běží jiné aplikace. Podobného principu využívá i varianta s komunikačním modulem na 433 Mhz.

Vzhledem k tomu, že celé řešení je navrhováno pro účely společnosti, která má již zaběhnutá určitá pravidla a předpisy co se týče (nejen) síťové bezpečnosti, je třeba brát v potaz hledisko "administrativní", což v sobě zahrnuje definování požadavků na schválení změn v síti, na poskytnutí přístupu do sítě, k access pointu, do databáze, apod.

Při posuzování jednotlivých variant z hlediska údržby je rozhodující, jestli je měřící modul napájen ze sítě nebo z baterií, které je třeba měnit. Dále je třeba uvažovat pravděpodobnost libovolné poruchy při použití daného způsobu komunikace. Řešení s USB není bezúdržbové, protože měřící modul je takto vázán na terminál a pravděpodobnost poruchy celého komunikačního článku je ovlivněna pravděpodobností poruchy terminálu. Terminály se navíc mohou přemísťovat a vyměňovat, případně vypínat. Teoreticky bezúdržbová je varianta měřícího modulu s Ethernetem, jejíž funkčnost závisí na síti, do které je připojen.

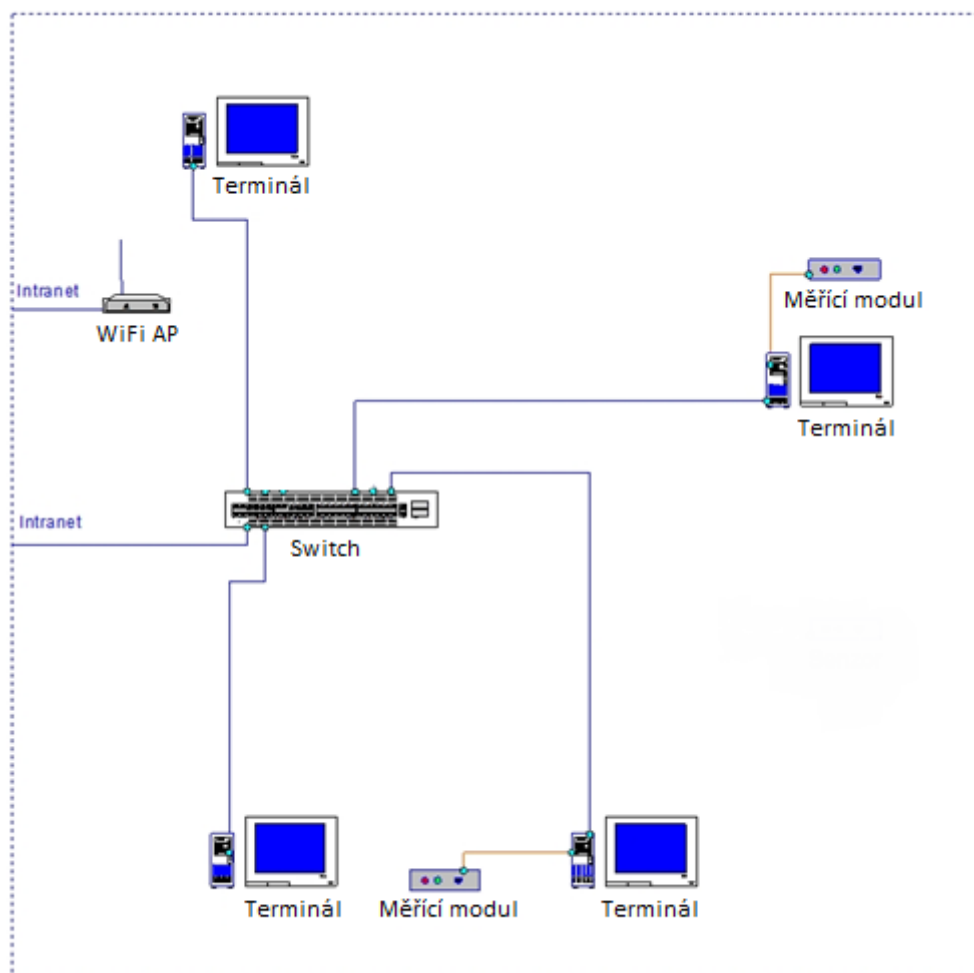
3.3 Zvolené řešení připojení modulů

Po konzultaci s oddělením kvality bylo zvoleno 8 míst v hale, na která se umístí měřící moduly. Po určitých korekcích umístění měřících modulů se sedm z osmi měřících modulů nachází v maximálně 5 metrové vzdálenosti od nejbližšího stolního PC, případně terminálu. Pro připojení osmého, vzdálenějšího měřícího modulu lze použít aktivní prodlužovací USB kabel.

S přihlédnutím k dalším okolnostem včetně konečné ceny celého systému a náročnosti návrhu SW a HW, bylo rozhodnuto vybavit měřící modul USB konektivitou. Vzhledem k tomu, že z dlouhodobého hlediska může být USB rozhraní poněkud nestabilní (možnost výpadků apod.),

bude vhodné implementovat funkci watchdog, která se pokusí v případě uvedení USB do nefunkčního stavu resetovat mikrokontrolér. Software na straně PC bude třeba navrhnout dostatečně robustně tak, aby byl maximálně automatický a nezatěžoval obsluhu dialogovými okny, chybovými hláškami apod. v případě problému na straně měřicího modulu.

Navrhovaná síťová topologie tedy vypadá následovně:



Obrázek 3: Navrhovaná síťová topologie

Díky USB konektivě bude možné měřicí modul využívat i samostatně, bez přeposílání dat do centrální databáze. Bude tak možné zobrazit naměřené hodnoty v počítači, ke kterému bude měřicí modul připojen. Vedle této funkcionality je také třeba, aby bylo možné ukládat data i do centrální databáze. Toho se dosáhne pomocí již zmíněného programu běžícího na pozadí v terminálu, jehož úkolem bude přeposílat data z měřicího modulu dále do SQL databáze.

Program bude schopen zobrazovat lokální naměřené hodnoty a stejně tak i minulé hodnoty za zvolené období, které získá z lokální databáze. Do centrální databáze se pak budou zapisovat následující data:

- Datum a čas
- Číslo měřicího modulu
- Teplota
- Vlhkost

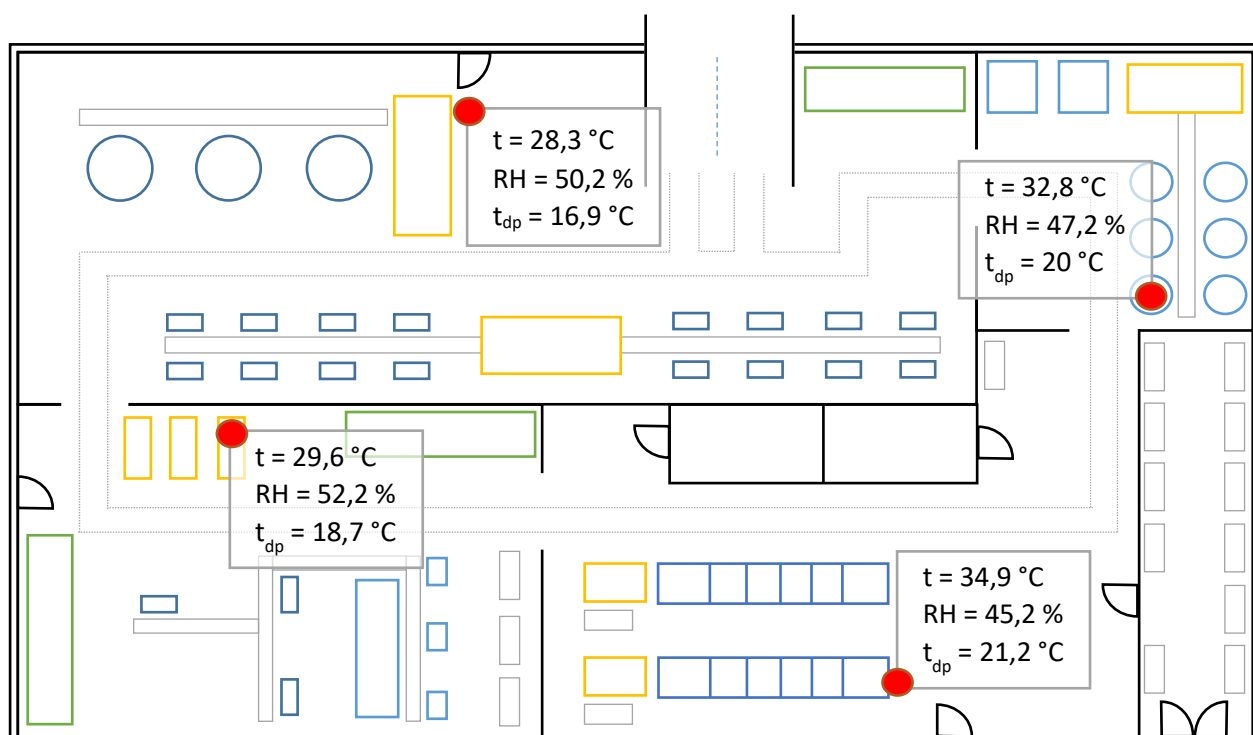
Kromě toho bude databáze obsahovat další tabulky s následujícími daty:

- Přiřazení měřicího modulu na pracoviště
- Parametry měřicího modulu (přesnost, typ, obnovovací frekvence)

Měřicí modul musí být schopen pamatovat si své číslo i v případě výpadku napájení či výměny. Mikrokontrolér uvnitř by tedy měl disponovat snadno zapisovatelnou EEPROM pamětí. Obslužný program běžící na terminálu bude mít na starosti zajištění přesného data a času. Měřicí modul bude odesílat naměřené hodnoty obslužnému programu buď s definovanou obnovovací frekvencí, případně na dotaz.

Z centrální databáze naměřených hodnot si pak budou stahovat data další programy vzniklé v ABB, které již nejsou předmětem této diplomové práce, ale přímo na ni navazují. Jako příklad lze uvést uživatelský program pro zobrazování naměřených hodnot ze všech měřicích modulů, který bude umožňovat zobrazovat naměřené hodnoty několika způsoby:

- Plánek výroby s vyznačenými stanovišti, přičemž u každého stanoviště zobrazí aktuální teplotu, vlhkost a rosný bod



Obrázek 4: Příklad zobrazení aktuální teploty, vlhkosti a rosného bodu.

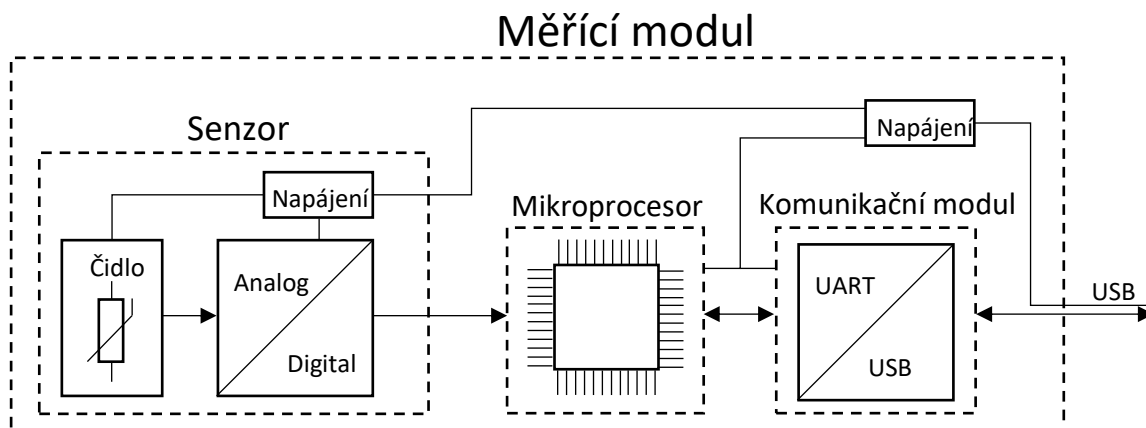
Pozn. k obrázku: Z důvodu utajení nelze uvést reálný plánec haly ani požadované rozmístění měřících modulů.

- Zobrazení závislosti teploty a vlhkosti na čase pro volitelná pracoviště a volitelný čas v grafu
- Export čistých dat z měřících modulů do MS Excel

4 PRŮZKUM TRHU SENZORŮ

4.1 Terminologie

V této části je věnována pozornost výběru vhodného senzoru pro tuto konkrétní aplikaci. Nejdříve je třeba definovat terminologii, která se bude nadále používat v této práci.



Obrázek 5: Příklad uspořádání vnitřních bloků běžného USB měřicího modulu teploty

Jako čidlo zde bude brána součástka, která převádí neelektrickou veličinu na elektrickou, ale sama o sobě obvykle není funkčním celkem, neboť pro její funkci je třeba zajistit vnější napájení a výstupní signál je třeba dále zpracovávat a převést ho do použitelného tvaru. Celý tento systém je zde označován jako senzor. Digitální senzory mohou mít různé typy výstupů, buď jsou na výstup přímo odesílány naměřené hodnoty v binárním tvaru, nebo je komunikace složitější a používá se rozhraní typu SPI, I2C nebo jiné. Senzor sám o sobě nemusí mít žádnou vnější ochranu, neboť je navržen pro integraci do určitého zařízení.

Jako měřicí modul zde bude bráno zařízení, které je schopno měřit požadovanou veličinu a zároveň přímo komunikovat s PC (případně jiným zařízením) pomocí standardních komunikačních sběrnic používaných k propojování jednotlivých zařízení mezi sebou, případně zařízení a jejich periferií (např. USB, Ethernet, RS232). Přitom komunikaci na těchto sběrnicích může zajišťovat přímo mikrokontrolér s tím, že má buď přímo zabudovanou podporu daného protokolu, nebo je podpora ošetřena softwarově. Měřicí modul disponuje vnější ochranou, případně montážními otvory apod.

4.2 Požadavky na měřicí modul a senzor

Na trhu existuje obrovské množství měřících modulů a senzorů teploty a/nebo vlhkosti, které fungují na rozličných principech. Aby bylo možno vybrat vhodný senzor, je třeba stanovit požadavky a kritéria volby. Následující kritéria platí jak pro senzory, tak i pro měřicí moduly.

Tabulka 4: Požadavky na měřicí modul

Přesnost a rozsah	<p>Důležité je, aby zvolený senzor splňoval požadavky na přesnost a rozsah stanovené v předchozí části a to nejen na základě tvrzení výrobce, ale i na základě nezávislých testů třetích stran, pokud jsou dohledatelné.</p> <table border="1"><tr><td>Přesnost měření teploty:</td><td>$\pm 1\text{ }^{\circ}\text{C}$</td></tr><tr><td>Rozsah měření teploty:</td><td>0 ... 60 $^{\circ}\text{C}$</td></tr><tr><td>Přesnost měření vlhkosti:</td><td>$\pm 4\text{ \%RH}$</td></tr><tr><td>Rozsah měření vlhkosti:</td><td>20 – 100 \%RH</td></tr></table> <p>Pokud budou parametry zvoleného senzoru mírně horší, například v blízkosti maxima a minima, lze tento nedostatek tolerovat, pokud se přihlédne i k dalším kritériím.</p>	Přesnost měření teploty:	$\pm 1\text{ }^{\circ}\text{C}$	Rozsah měření teploty:	0 ... 60 $^{\circ}\text{C}$	Přesnost měření vlhkosti:	$\pm 4\text{ \%RH}$	Rozsah měření vlhkosti:	20 – 100 \%RH
Přesnost měření teploty:	$\pm 1\text{ }^{\circ}\text{C}$								
Rozsah měření teploty:	0 ... 60 $^{\circ}\text{C}$								
Přesnost měření vlhkosti:	$\pm 4\text{ \%RH}$								
Rozsah měření vlhkosti:	20 – 100 \%RH								
Komunikační rozhraní	USB								
Cena	Cena měřícího modulu jakožto samostatné jednotky by v ideálním případě neměla překročit 2000 Kč.								
Rozměry	Žádný z rozměrů modulu by neměl překročit 20 cm.								
Dostupnost v ČR	Odběratelem elektroniky bude společnost ABB, přičemž nakupovat lze pouze od schválených dodavatelů. Koupě senzoru/modulu ze zahraničí může znamenat větší administrativu.								


4.3 Průzkum trhu měřících modulů

Následuje výběr dataloggerů vycházející z nabídky výrobců (třetích stran) na internetu. V následujících tabulkách jsou ke každému z nich vypsány základní vlastnosti, které jsou pro výběr rozhodující.

Problémem při zjišťování přesnosti měření teploty a vlhkosti je fakt, že výrobci obvykle rozlišují maximální a typickou (obvyklou) chybu, přičemž někteří výrobci udávají jen jednu z hodnot (zpravidla typickou přesnost). Proto je uvedena zkratka typ. nebo max. u všech hodnot, kde to bylo dohledatelné. V případě, že výrobce neuvádí, zdali se jedná o typickou nebo maximální chybu, uvádí se symbol ?.


4.3.1 EL-USB-2

Tabulka 5: Parametry modulu EL-USB-2 [2]

Název	EL-USB-2	
Cena s DPH	2143,- Kč [3]	
Foto	 <p>Obrázek 6: Modul EL-USB-2</p>	
Měření teploty	Chyba	± 0,5 °C (max.) v rozsahu 0 až +65 °C ± 1 °C (max.) v rozsahu -28 až +80 °C
	Rozsah	-35 až +80 °C
Měření vlhkosti	Chyba	± 3 %RH (max.) v rozsahu 20 %RH až 80 %RH ± 5 %RH (max.) v rozsahu 0 %RH až 100 %RH
	Rozsah	0 až 100 %RH
Rozhraní	USB typ A	
Rozměry	103 x 26 mm	
Prodejce	I & CS spol. s r.o.	
Další	Záznamový software v ceně	


4.3.2 GAR 202

Tabulka 6: Parametry modulu GAR 202 [4]

Název	GAR 202	
Cena s DPH	1349,- Kč (akce)	
Foto	 <p>Obrázek 7: Modul GAR 202</p>	
Měření teploty	Chyba	± 2 °C (?) v rozsahu -40 až +70 °C ± 1 °C (?) v rozsahu 0 až +40 °C
	Rozsah	-40 až +70 °C
Měření vlhkosti	Chyba	± 5 %RH (?) v rozsahu 0 %RH až 100 %RH ± 3,5 %RH (?) v rozsahu 20 %RH až 80 %RH ± 3 %RH (?) v rozsahu 40 %RH až 60 %RH
	Rozsah	0 až 100 %RH
Rozhraní	USB typ A	
Rozměry	142 x 28 x 25 mm	
Prodejce	Roman Gajda – Garni	
Další	Navíc měření atmosférického tlaku	


4.3.3 LOG32TH 31.1054

Tabulka 7: Parametry modulu LOG32TH 31.1054 [5]

Název	LOG32TH 31.1054	
Cena s DPH	2290,- Kč [5]	
Foto	 <p>Obrázek 8: Modul LOG32TH 31.1054</p>	
Měření teploty	Chyba	±0,5°C (?) v rozsahu -10°C až 40°C Přesnost mimo přechozí rozsah nezjištěna
	Rozsah	-40 ... +70 °C
Měření vlhkosti	Chyba	±3,5% v rozsahu 20 %RH až 80 %RH Přesnost mimo přechozí rozsah nezjištěna
	Rozsah	0 až 99 %RH
Rozhraní	USB typ A	
Rozměry	100 x 19 x 19 mm	
Prodejce	I & CS spol. s r.o.	
Další	Výstupem jsou soubory PFD, případně DBF	

4.3.4 TI HDC1080EVM

Tabulka 8: Parametry modulu Texas Instruments HDC1080EVM [6]

Název	Texas Instruments HDC1080EVM	
Cena s DPH	773,63 Kč [7]	
Foto	 <p>Obrázek 9: Modul TI HDC1080EVM</p>	
Měření teploty	Přesnost	± 0,3 °C (typ.) v rozsahu -25 °C až +110 °C ± 0,55 °C (typ.) v rozsahu -40 °C až +125 °C
	Rozsah	-40 °C až +125 °C
Měření vlhkosti	Přesnost	± 2 %RH (typ.) v rozsahu 20 %RH až 60 %RH ± 3 %RH (typ.) v rozsahu 0 %RH až 70 %RH ± 4 %RH (typ.) v rozsahu 0 %RH až 100 %RH
	Rozsah	0 až 100 %RH
Rozhraní	USB typ A	
Rozměry	Neudáno (odhadem 80 x 16 x 5 mm)	
Prodejce	Mouser electronics	
Další	Lze nastavit ukládání dat do souborů CSV	

4.3.5 HYTELOG-USB-SET2

Tabulka 9: Parametry modulu B & B Thermotechnik HYTELOG-USB-SET2 [8]

Název	B & B Thermotechnik HYTELOG-USB-SET2	
Cena s DPH	6390,- Kč [9]	
Foto z datasheetu	 <p>Obrázek 10: Modul HYTELOG-USB-SET2</p>	
Měření teploty	Chyba	$\pm 0,5 \text{ }^{\circ}\text{C}$ (?) v rozsahu 0 až $+40 \text{ }^{\circ}\text{C}$
	Rozsah	-40 až $+80 \text{ }^{\circ}\text{C}$
Měření vlhkosti	Chyba	$\pm 2 \text{ \%RH}$ (typ) v rozsahu 0 %RH až 100 %RH
	Rozsah	0 až 100 %RH
Rozhraní	USB typ A	
Rozměry	Délka 125 mm	
Prodejce	Conrad Electronic Česká republika, s.r.o.	
Další	Pouzdro z ušlechtilé oceli, kufřík se záznamovým SW	

4.3.6 Zhodnocení měřících modulů

Nejnižší cenou 773,63 Kč disponuje modul HDC1080EVM. Pravděpodobně je to z důvodu absence umělohmotného pouzdra, které by bylo třeba přikoupit a přizpůsobit danému modulu. Cena může také záviset na počtu vyráběných kusů a velikosti společnosti. Kromě nejpriznivější ceny disponuje modul též nejvyšší udávanou přesností měření teploty ($\pm 0,3 \text{ }^{\circ}\text{C}$ typ. v rozsahu $-25 \text{ }^{\circ}\text{C}$ až $+110 \text{ }^{\circ}\text{C}$). Z hlediska měření vlhkosti ($\pm 2 \text{ \%RH}$ typ. v rozsahu 20 %RH až 60 %RH) pak jen mírně zaostává za nejdražším HYTELOG-USB-SET2, který $\pm 2 \text{ \%RH}$ dosahuje v celém rozsahu.

Pokud se zaměříme jen na první tři moduly, zjistíme, že mají podobné hodnoty přesnosti i rozsahy, přičemž nejvyšší udávané přesnosti měření teploty ($\pm 0,5^{\circ}\text{C}$) v omezených rozsazích dosahují moduly EL-USB-2 a LOG32TH 31.1054.

Z hlediska přesnosti měření vlhkosti prvních třech modulů dosahuje nejlepších hodnot modul GAR 202 ($\pm 3\%$ v rozsahu 40% až 60%, mimo rozsah se chyba zvyšuje na $\pm 3,5\%$ a na $\pm 5\%$). Na druhém místě je pak modul LOG32TH ($\pm 3,5\%$ v rozsahu 20% až 80%, mimo rozsah chyba stoupá na neudanou hodnotu).

Pokud zahrneme do vyhodnocení též třikrát dražší modul HYTELOG-USB-SET2, zjistíme, že přesnost měření se oproti LOG32TH příliš nezměnila. Mírné zlepšení je patrné v přesnosti měření vlhkosti, která je podle datasheetu $\pm 2\% \text{RH}$ (typ.) v celém rozsahu 0 až 100 %RH.

Lze se jen dohadovat, zdali zmíněné moduly skutečně splňují výrobci udávané parametry za všech okolností. Aby bylo možné toto zjistit, bylo by zapotřebí od každého modulu zakoupit více kusů a provést důkladné testování ideálně v laboratorních podmínkách vůči dostatečně přesnému referenčnímu měřidlu. Přesnost modulu pro tuto aplikaci nicméně není kritickým hlediskem a proto lze mírně zkreslené údaje od výrobce tolerovat.

4.4 Průzkum trhu senzorů

Následující část počítá s variantou konstrukce vlastního měřicího modulu.

Ze zadání vyplývá potřeba vybrat, případně sestavit senzor schopný měřit obě fyzikální veličiny.

Existuje několik možností volby:

1. Analogové čidlo teploty a analogové čidlo vlhkosti zapojené do A/D převodníku
2. Digitální kombinovaný senzor teploty a vlhkosti s vhodnou výstupní sběrnicí (např. I²C)

Je tu samozřejmě ještě možnost použít pro jednu z veličin digitální senzor a pro druhou analogový, nicméně z pohledu autora se zdá být nesmyslná.


Při rozhodování mezi oběma variantami je třeba posoudit několik okolností, zejména složitost zapojení, cenu senzoru, přesnost, počet bitů A/D převodníku apod. V případě analogové varianty by bylo potřeba zakoupit dvě samostatná čidla – jedno pro teplotu a druhé pro vlhkost (např. platinové čidlo teploty a kapacitní čidlo vlhkosti) a každé z čidel zapojit doporučeným způsobem, přičemž je třeba zajistit správné podmínky funkce.

4.4.1 Analogové senzory

Přestože je již od počátku preferována varianta integrovaného digitálního senzoru, je vhodné naznačit, co by obnášela volba analogového čidla. Jako příklad jsou nejdříve vybrána dvě vhodná analogová čidla teploty a vlhkosti.

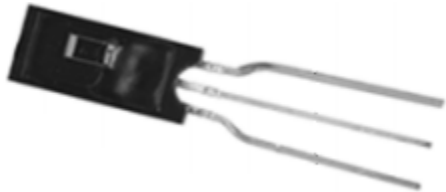
Příklad analogového čidla teploty:

Tabulka 10: Parametry čidla PT100 - 100R [10]

Název		Platinové teplotní čidlo PT100 - 100R
Cena za kus s DPH		100 Kč [11]
Foto		 <p>Obrázek 11: Čidlo PT100 - 100R</p>
Měření teploty	Přesnost	$100 \pm 0,12 \Omega$, třída B: $\Delta T = \pm (0,30 + 0,005 t)$ $\pm 0,7 \text{ }^\circ\text{C}$ v rozsahu $-50 \text{ }^\circ\text{C}$ až $+80 \text{ }^\circ\text{C}$ (přepočteno ze vzorce)
	Rozsah	-50 až $+500 \text{ }^\circ\text{C}$
Max. proud		1 mA
Rozhraní		Analogové, sleduje se napětí na čidlu při napájení proudovým zdrojem
Rozměry		1,7 x 2,4 x 1 mm, délka vývodů 10 mm
Prodejce		GM electronic, spol. s.r.o.

Příklad analogového čidla vlhkosti:

Tabulka 11: Parametry čidla HIH-4000-001 [12]

Název		HIH-4000-001
Cena za kus s DPH		477,33 Kč
Foto		 <p>Obrázek 12: Čidlo HIH-4000-001</p>
Měření vlhkosti	Přesnost	$\pm 3,5 \text{ \%RH}$ (max. při $25 \text{ }^\circ\text{C}$)
	Rozsah	0 až 100 %RH
Napájecí napětí		4 V až 5,8 V
Rozhraní		Analogové, výstupem je napětí
Rozměry		21,3 x 4,17 x 2,03 mm
Prodejce		TME Czech Republic s.r.o.


Celková cena obou čidel by v tomto případě byla 577,33 Kč. Zmíněné čidlo vlhkosti stačí výstupem připojit k A/D převodníku mikroprocesoru. U odporového čidla teploty je třeba použít doporučené měřicí zapojení.

4.4.2 Digitální senzory

Následující průzkum trhu digitálních senzorů naznačí, že za nižší cenu lze získat integrovaný senzor mající lepší parametry než předchozí uvedená čidla. Navíc není třeba uvažovat další možné nejistoty měření vzniklé např. nedokonalostí zapojení nebo chybou A/D převodníku, která závisí nejen na počtu kvantizačních úrovní (a tedy i počtu bitů), ale i na přesnosti referenčního napětí.


4.4.2.1 DHT22

Tabulka 12: Parametry senzoru DHT22 [13]

Název		DHT22 (AM2302)
Cena za kus s DPH		181,5 Kč [14]
Foto		 <p>Obrázek 13: Senzor DHT22</p>
Měření teploty	Přesnost	$\pm 1\text{ }^{\circ}\text{C}$ (max.) z rozsahu
	Rozsah	-40 až +80 $^{\circ}\text{C}$
Měření vlhkosti	Přesnost	$\pm 2\text{ \%RH}$ (typ. při 25 $^{\circ}\text{C}$)
	Rozsah	0 až 100 \%RH
Napájecí napětí		3,3 V až 5,5 V
Rozhraní		Vlastní digitální rozhraní
Rozměry		32 x 15 x 7 mm
Prodejce		TOMI CZECH, s.r.o.


4.4.2.2 TI HDC1080

Tabulka 13: Parametry senzoru TI HDC1080 [15]

Název		Texas Instruments HDC1080
Cena s DPH		83,86 Kč
Foto		 Obrázek 14: Senzor TI HDC1080
Měření teploty	Přesnost	$\pm 0,3 \text{ }^\circ\text{C}$ (typ.) v rozsahu $-25 \text{ }^\circ\text{C}$ až $+110 \text{ }^\circ\text{C}$ $\pm 0,55 \text{ }^\circ\text{C}$ v rozsahu $-40 \text{ }^\circ\text{C}$ až $+125 \text{ }^\circ\text{C}$
	Rozsah	$-40 \text{ }^\circ\text{C}$ až $+125 \text{ }^\circ\text{C}$
Měření vlhkosti	Přesnost	$\pm 2 \text{ } \%$ RH (typ.) v rozsahu $20 \text{ } \%$ RH až $60 \text{ } \%$ RH $\pm 3 \text{ } \%$ RH (typ.) v rozsahu $0 \text{ } \%$ RH až $70 \text{ } \%$ RH $\pm 4 \text{ } \%$ RH (typ.) v rozsahu $0 \text{ } \%$ RH až $100 \text{ } \%$ RH
	Rozsah	0 až $100 \text{ } \%$ RH
Napájecí napětí		$2,7 \text{ V}$ až $5,5 \text{ V}$
Rozhraní		I ² C
Rozměry		$3 \times 3 \times 0,8 \text{ mm}$
Prodejce		Mouser Electronics


4.4.2.3 Bosch BME280

Tabulka 14: Parametry senzoru Bosch BME280 [16]

Název		Bosch BME280
Cena s DPH		290 Kč [17]
Foto		 Obrázek 15: Senzor Bosch BME280 [18]
Měření teploty	Přesnost	$\pm 1 \text{ }^\circ\text{C}$ (typ.) v rozsahu $0 \text{ }^\circ\text{C}$ až $+65 \text{ }^\circ\text{C}$
	Rozsah	-40 až $+85 \text{ }^\circ\text{C}$
Měření vlhkosti	Přesnost	$\pm 3 \text{ } \%$ RH (typ.) v rozsahu $20 \text{ } \%$ RH až $80 \text{ } \%$ RH
	Rozsah	0 až $100 \text{ } \%$ RH
Měření tlaku	Přesnost	$\pm 1 \text{ hPa}$ (typ.) v rozsahu 300 až 1100 hPa
	Rozsah	300 až 1100 hPa
Napájecí napětí		$1,71 \text{ V}$ až $3,6 \text{ V}$
Rozhraní		I ² C
Rozměry		$2,5 \times 2,5 \times 0,93 \text{ mm}$ (bez DPS)
Prodejce		easyduino.cz
Poznámka		Navíc měření atmosférického tlaku, pouzdro LGA

4.4.2.4 Sensirion SHT25

Tabulka 15: Parametry senzoru Sensirion SHT25 [19]

Název	Sensirion SHT25	
Cena s DPH	263,65 Kč [20]	
Foto		
	<i>Obrázek 16: Senzor Sensirion SHT25</i>	
Měření teploty	Přesnost	$\pm 0,5 \text{ }^\circ\text{C}$ (max.) v rozsahu $0 \text{ }^\circ\text{C}$ až $+65 \text{ }^\circ\text{C}$ $\pm 1 \text{ }^\circ\text{C}$ (max.) v rozsahu $-40 \text{ }^\circ\text{C}$ až $+100 \text{ }^\circ\text{C}$
	Rozsah	$-40 \text{ }^\circ\text{C}$ až $+125 \text{ }^\circ\text{C}$
Měření vlhkosti	Přesnost	$\pm 2 \text{ \%RH}$ (max.) v rozsahu 10 \%RH až 90 \%RH $\pm 4 \text{ \%RH}$ (max.) v rozsahu 0 \%RH až 100 \%RH
	Rozsah	0 až 100 \%RH
Napájecí napětí	$2,1 \text{ V}$ až $3,6 \text{ V}$	
Rozhraní	I ² C	
Rozměry	$3 \times 3 \times 1,1 \text{ mm}$	
Prodejce	Farnell element14	
Poznámka	Pouzdro DFN	

4.4.3 Zhodnocení senzorů

Z hlediska ceny opět jednoznačně vítězí produkt firmy Texas Instruments – senzor HDC1080, který je mimo jiné zabudován v již zmíněném USB modulu HDC1080EVM. Za 83,86 Kč nabízí také nejvyšší udávanou přesnost měření teploty ($\pm 0,3 \text{ }^\circ\text{C}$ typ. v rozsahu $-25 \text{ }^\circ\text{C}$ až $+110 \text{ }^\circ\text{C}$). Výrobce bohužel uvádí jen typickou přesnost, nikoli maximální.

Podobných parametrů dosahuje senzor SHT25, jehož cena v ČR je na základě dostupných informací přibližně 4 krát vyšší.

Na tomto místě je vhodné odkázat se na již proběhlé testování a srovnání několika typů digitálních kombinovaných senzorů teploty a vlhkosti [21], z něhož je patrné, že to, co výrobce udává o přesnosti a stabilitě, nemusí být zdaleka vždy pravdou. Mezi testované senzory v článku patří mimo jiné Bosch BME280, DHT22 (jiný název AM2302) a Sensirion SHT71. Z testu vyšel subjektivně nejlépe Bosch BME280 následovaný Sensirionem. Bohužel HDC1080 v testu chybil

a nepodařilo se dohledat žádné testy tohoto senzoru. Není proto snadné rozhodnout se, které z čidel zvolit.

Volba senzoru:

Pro volbu nejvhodnějšího senzoru lze použít vylučovací metodu. Protože nebyly na internetu nalezeny žádné další detailnější testy senzorů, které by obsahovaly srovnání vybraných senzorů, lze vycházet pouze z již zmíněného testu.

V prvním kole je vyloučen senzor DHT22 a to zejména kvůli nedostatečně renomovanému výrobci a příliš optimistickým hodnotám přesnosti, kterých v testu nedosahuje.

V druhém kole je vyloučen senzor HDC1080. Na základě zjištěných informací je poměrně nový. V záznamech na internetu se nepodařilo nalézt žádný test, který by měl za cíl ověřit jeho udávanou přesnost, případně další vlastnosti. Z pohledu autora je vhodnější zvolit dražší, ale ověřené zboží, než levnější neověřené. Navíc problémem je též absence knihoven pro nejznámější typy mikrokontrolérů.

Zbývá rozhodnout mezi BME280 a SHT25. Oba senzory disponují podobnými vlastnostmi. Oba výrobci, jak Bosch, tak i Sensirion se objevují ve zmíněném testu, druhý z nich ale se senzorem jiného typu. Podobně jako v přechozím případě se pro senzor SHT25 nepodařilo dohledat žádný další test. Z těchto důvodů je ve finále zvolen Bosch BME280. Navíc se jedná o poměrně známý senzor s dostatečným množstvím již napsaných knihoven.

5 NÁVRH HARDWAROVÉ A SOFTWAREVÉ ČÁSTI MĚŘÍCIHO MODULU

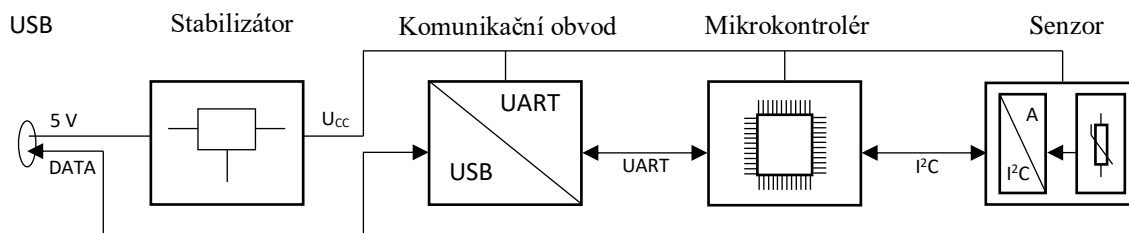
5.1 Hardwarová část

Pro návrh hardwarové části je vhodné zvolit takový postup, v němž nebude třeba vracet se k předchozím bodům návrhu v případě větších úprav. Pro účely této práce byly zvoleny následující kroky návrhu:

1. Návrh blokového schématu celého zařízení
2. Volba komponentů reprezentujících jednotlivé bloky
3. Návrh finálního schématu zapojení
4. Otestování funkčnosti na nepájivém poli
5. Návrh desky plošných spojů včetně návrhu konstrukčního uspořádání
6. Výroba a osazení desky plošných spojů
7. Otestování funkčnosti zapojení na desce plošných spojů

5.1.1 Blokové schéma měřícího modulu

Při návrhu blokového schématu pro vlastní měřící modul se vycházelo z Obrázek 5 v předchozí kapitole. Mezi zásadní bloky modulu tedy patří čidlo teploty a vlhkosti, mikrokontrolér a komunikační obvod (UART/USB). Pro každý z těchto bloků je třeba zajistit spolehlivé napájení. Dále je vhodné doplnit zařízení o základní indikaci stavu, ve kterém se nachází.



Obrázek 17: Základní blokové schéma navrhovaného měřícího modulu

Jak je patrné z blokového schématu, do zapojení byl zahrnut i stabilizátor napětí, který teoreticky není povinnou položkou. Předpokládá se ovšem nasazení senzoru v průmyslovém prostředí, kde může docházet k naindukování rušení do dlouhého přívodního kabelu. V tomto případě je moudré použít stabilizátor napětí a zvážit též použití transilu. Vzhledem k tomu, že na stabilizátorech vzniká určitý úbytek napětí (např. 1 V), je nutné počítat s tím, že řetězec nebude možné napájet napětím 5V. To ale v tomto případě není překážkou, neboť některé senzory z předchozí části, z nichž bude jeden vybrán, nejsou schopny na 5 V pracovat, neboť jejich maximální napájecí

napětí činí 3,6 V. Z toho vyplývá, že bude vhodné použít stabilizátor s výstupním napětím 3,3 V, což je další běžné napájecí napětí používané v elektronice. Na tomto napětí samozřejmě musí být schopen pracovat i mikrokontrolér a komunikační obvod.

Aby byl zajištěn minimální proudový odběr ze stabilizátoru, je vhodné za něj zapojit LED diodu informující o zapnutém / vypnutém napájení. Další stavové LED diody pak budou připojeny přímo k mikrokontroléru.

5.1.2 Volba komponent

Jednotlivé funkční bloky, které budou v této části zmíněny, mají zásadní vliv na vlastnosti celého zařízení. Důležité je také určit si, který z bloků je pro nás nejzásadnější. Tomuto bloku a jeho vlastnostem se pak též budou přizpůsobovat další bloky.

5.1.2.1 Senzor

Jedná se o nejzásadnější blok celého zařízení, neboť z největší míry ovlivňuje výsledné vlastnosti měřicího modulu. Průzkum trhu v oblasti senzorů byl proveden v předchozí části práce. Na jeho základě pak byl zvolen senzor Bosch BME 280. Jedná se o miniaturní integrovaný senzor schopný měřit teplotu, relativní vlhkost a atmosférický tlak. Senzor komunikuje přes rozhraní I²C nebo SPI a je možné napájet ho napětím 1,71 V až 3,6 V. Z toho vyplývá potřeba uzpůsobit napájecí napětí potřebám senzoru. Další parametry byly zmíněny v předchozí části.



Obrázek 18: Senzor BME 280 [22]

5.1.2.2 Mikrokontrolér

Při volbě vhodného mikrokontroléru hraje svou roli několik aspektů. Z blokového schématu vyplývá, že mikrokontrolér musí být schopen komunikovat zároveň přes I²C (nebo SPI) a UART. Aby byl mikrokontrolér schopen odesílat naměřené hodnoty v požadovaných časových intervalech, je třeba, aby disponoval alespoň jedním časovačem (drtivá většina dnešních mikrokontrolérů časovač obsahuje). Je samozřejmě možné počítat čas i na straně PC, které bude komunikovat se senzorem. V takovém případě by si PC po uplynutí daného časového úseku vždy data od senzoru vyžádal. Tato volba je otázkou zvolené architektury a v této práci jí bude věnována pozornost v dalších částech.

Na výpočetní výkon a na paměť programu a dat nejsou v tomto případě kladeny velké požadavky, neboť základním účelem mikrokontroléru je pouze čtení dat z I2C, jejich naformátování a odeslání přes UART.

Dovolené napájecí napětí mikrokontroléru musí být v takovém rozsahu, aby bylo v průniku s napájecím napětím senzoru. Jak už bylo zmíněno, jako ideální napěťová úroveň se jeví 3,3 V, jakožto standardizovaná hodnota v elektronice.

Dalším požadavkem je, aby mikrokontrolér disponoval vnitřní pamětí schopnou zapamatovat si ID – pořadové číslo senzoru. Pro tuto aplikaci se totiž počítá s rozmístěním více měřících modulů na několika místech. Kromě toho je vhodné pamatovat si i další nastavení, například odesílání hodnot teploty ve °C nebo ve °F atd. Hodnoty v paměti nesmí být ztraceny po odpojení napájení. Z toho důvodu je vhodné, aby mikrokontrolér disponoval vlastní pamětí EEPROM s možností snadného zápisu a čtení při běhu programu.

Dalšími hledisky jsou pak cena mikrokontroléru včetně ceny programovacího zařízení, rozšířenost mikrokontroléru a dostupnost dostateku manuálů a knihoven.

Po přihlédnutí ke všem požadavkům byl zvolen obecně známý procesor ATmega8A. Jeho základní parametry jsou vypsány v následující tabulce.

Tabulka 16: Parametry procesoru ATmega8A [23]

Název	Atmel ATmega8A		
Pouzdro	DIP28	TQFP32	MFL32
Foto	 Obrázek 19: DIP28	 Obrázek 20: TQFP32	 Obrázek 21: MFL32
Cena s DPH u GM electronic	57 Kč	48 Kč	43 Kč
Šířka sběrnice	8 bitů		
Frekvence	0 – 16 Mhz		
Paměť programu	8 KB FLASH (10 000 přepsání)		
Paměť dat	1 KB SRAM		
Další paměť	512 B EEPROM (100 000 přepsání)		
Časovač	2x 8-bitový čítač/časovač, 1x 16-bitový čítač/časovač		
A/D převodník	6x10 bitů (DIP28), 8x10 bitů (TQFP32, MFL32)		
Komunikace	UART, SPI, I ² C (nesdílené vývody)		
Napájecí napětí	2,7 V až 5,5 V		
Pracovní teplota	-40 °C až +85 °C		
Další	3x PWM		
Prodejce	GM electronic, spol. s.r.o.		

Pro prvotní zapojení na testovacím nepájivém poli bude použit mikrokontrolér s pouzdem DIP28. Konečná DPS se bude navrhovat pro pouzdro TQFP32 zabírající menší plochu.

Mikrokontrolér se programuje pomocí rozhraní Atmel ISP a je třeba k němu dokoupit programátor. Vzhledem k velké rozšířenosti těchto procesorů lze sehnat neoriginální programátory za dostatečně nízké ceny (desítky Kč).



Obrázek 22: Programátor USBASP [24]



Atmel navíc nabízí volně ke stažení kvalitní vývojové prostředí Atmel Studio. Pokud uživatel nepoužívá originální ISP programátor, může být jeho počáteční nastavení komplikovanější a nemusí být k dispozici funkce debugingu.

5.1.2.3 Komunikační obvod

Tento obvod má za úkol emulovat na počítači sériový port COM, přes který komunikuje mikrokontrolér. Mezi požadavky na komunikační obvod patří zejména minimální počet externích součástek (integrace v jednom pouzdře), schopnost funkce na napětí 3,3 V a cena.

V průběhu výběru bylo zvažováno několik čipů, např. CP2102, FT232RL a MCP2200. Vybrán byl čip MCP2200 od firmy Microchip, který disponoval nejnižší cenou.

Tabulka 17: Parametry obvodu MCP2200 [25]

Název	Microchip MCP2200	
Pouzdro	SO20	QFN 5x5
Foto	 Obrázek 23: SO20	 Obrázek 24: QFN 5x5
Cena s DPH u GM electronic	62 Kč	? Kč
Rychlost přenosu UART	300 Bd – 1000 kBd	
Vlastnosti přenosu	1 stop bit, bez parity, bez řízení toku	
Rychlost přenosu USB	12 Mb/s	
Velikost UART bufferu	64 B příjem, 64 B vysílání	
Frekvence oscilátoru	12 Mhz	
Ovladač	Standardní Windows Virtual COM Port	
Uživatelská paměť	256 B EEPROM	
Napájecí napětí	3 V až 5,5 V	
Pracovní teplota	-40 °C až +85 °C	
Další	Zvláštní vývody na RX a TX led, hardwarové řízení toku dat, konfigurovatelné pomocí speciálního nástroje od výrobce	
Prodejce	GM electronic, spol. s.r.o.	



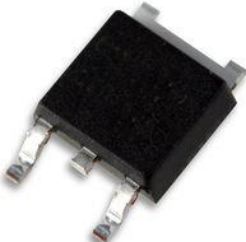
K obvodu MCP2200 vytvořil výrobce volně dostupný konfigurační program, pomocí kterého je možné nastavit rychlost přenosu, povolit RX/TX indikační diody, případně nastavit vlastní ID a název výrobce a výrobku.

5.1.2.4 Stabilizátor

Jak už bylo dříve zmíněno, výstupní napětí stabilizátoru musí být 3,3 V. Zároveň se musí jednat o stabilizátor s nízkým úbytkem napětí. Lze totiž předpokládat, že vlivem výrazně delšího USB kabelu bude vznikat značný úbytek napětí. Proto je také vhodné, aby mělo celé zařízení minimální proudový odběr, který nebude zbytečně zvyšovat úbytky napětí na kabelu.

Jako ideální stabilizátor pro tyto účely ukázal být LF33. Jedná se o stabilizátor navržený pro konverzi napětí na 3,3 V. Maximální vstupní napětí pro správnou funkci je 16 V. Z katalogového listu je možné zjistit, že při odběru 200 mA je nejvyšší možný úbytek napětí pouze 350 mV, což znamená, že pro zachování 3,3 V na výstupu stačí mít 3,65 V na vstupu. Po zkontrolování hodnot odebíraného proudu všech zvolených prvků v jejich katalogových listech bylo usouzeno, že odběr celého zařízení s nejvyšší pravděpodobností nepřekročí ani 100 mA, a to ani při započítání pěti indikačních LED, každé s odběrem 5 mA.

Tabulka 18: Parametry obvodu LF33 [26]

Název	LF33		
Pouzdro	TO220	PPAK	DPAK
Foto	 Obrázek 25: TO220	 Obrázek 26: PPAK	 Obrázek 27: DPAK
Cena s DPH u GM electronic	22 Kč	? Kč	19 Kč
Maximální vstupní napětí	16 V		
Výstupní napětí	3,168 až 3,432 V*		
Úbytek napětí	max. 350 mV**		
Maximální výstupní proud	1 A		
Pracovní teplota	-40 °C až +125 °C		
Prodejce	GM electronic, spol. s.r.o.		

* $-25\text{ °C} < T < +85\text{ °C}$, $V_{IN} = 5,3\text{ V}$, $I_{OUT} = 50\text{ mA}$, $C_{IN} = 100\text{ nF}$, $C_{OUT} = 2,2\text{ }\mu\text{F}$

** $T = +85\text{ °C}$, $I_{OUT} = 200\text{ mA}$

Z katalogového listu je patrné, že minimální odebíraný proud pro zachování správné funkce regulátoru je 5 mA. Aby byla zajištěna tato spodní hranice, jedna ze zmíněných indikačních diod bude svítit vždy za přítomnosti napájecího napětí.

Na Českém trhu se podařilo dohledat tento obvod v pouzdrech TO220 a DPAK. Při volbě pouzdra v tomto případě rozhoduje velikost a tepelný odpor. Pouzdro DPAK disponuje tepelným odporem 100 °C/W, kdežto pouzdro TO220 odporem 50 °C/W. Snadno lze spočítat oteplení pouzdra TO220 při provozu, za předpokladu, že odebíráme stálý proud 100 mA:

$$P = U \times I = (5,5 \text{ V} - 3,1 \text{ V}) \times 0,1 \text{ A} = 0,24 \text{ W} \quad (\text{rov. 1})$$

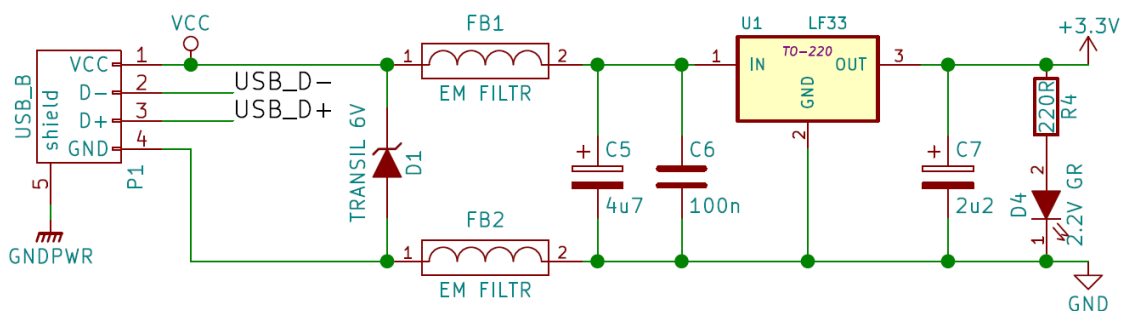
$$\Delta T = 0,24 \text{ W} * 50 \text{ °C/W} = 12 \text{ °C} \quad (\text{rov. 2})$$

Z předchozího vyplývá, že při provozu zařízení může teplota stabilizátoru s pouzdem TO220 vzrůst až o 12 °C, což je vzhledem k běžným podmínkám vyskytujícím se ve výrobní hale ABB stále ještě zanedbatelné, nicméně při použití v náročnějších podmínkách by stálo za zvážení použít přídatný chladič, případně obvod umístit horizontálně a připájet ho k desce, což má ale nevýhodu ve větším zabraném místě. Lepší odvod tepla může každopádně pomoci zachovat delší životnost obvodu.

5.1.3 Schéma zapojení

Pro tvorbu schématu zapojení byl zvolen KiCad, volně dostupný software, který umožňuje kromě tvorby schémat také návrh desek plošných spojů. Spolu s tímto softwarem je k dispozici velké množství knihoven pro běžné součástky. KiCad disponuje několika částmi, přičemž pro tvorbu schémat se používá část nazvaná Eeschema. Po vytvoření schématu se poté pokračuje přiřazením pouzder jednotlivým součástkám, aby mohl být vytvořen tzv. netlist, který v sobě obsahuje seznam součástek, informace o jejich vzájemném propojení a použitá pouzdra. Na základě netlistu se poté vytváří samotná DPS, jejíž nákresy je možné exportovat v různých formátech, včetně obvyklého formátu Gerber.

5.1.3.1 Napájecí část



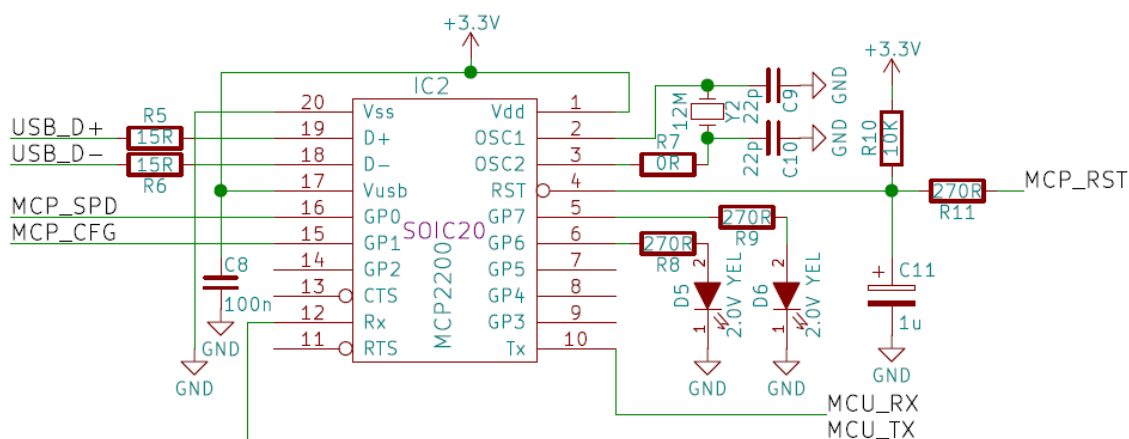
Obrázek 28: Napájecí část USB senzoru

Jak je patrné z obrázku, napájecí napětí 5 V (V_{CC}) vstupuje do stabilizátoru, který je chráněn transilem na 6V, který zajišťuje, aby tato hodnota napětí nebyla na vstupu stabilizátoru překročena. Tím je zajištěna ochrana proti přepětím, která překračují hodnoty maximálního vstupního napětí stabilizátoru. Kromě toho je obvod vybaven miniaturními SMD feritovými EMI

filtry. Podle doporučeného zapojení od výrobce stabilizátoru je použit vstupní kondenzátor 100 nF a výstupní kondenzátor 2,2 μ F. Záměrně byl zvolen stabilizátor s takto nízkou kapacitou výstupního kondenzátoru, což vyplývá z požadavku na minimalizaci kapacity připojené k USB portu. LED dioda D4 spolu s předřadným odporem R4 indikuje přítomnost napájecího napětí a zároveň zajišťuje minimální odběr 5 mA.

Vodiče označené USB_D- a USB_D+ mající na starosti přenos dat vedou do obvodu MCP2200, který je napájen ze stabilizátoru.

5.1.3.2 Komunikační obvod MCP2200

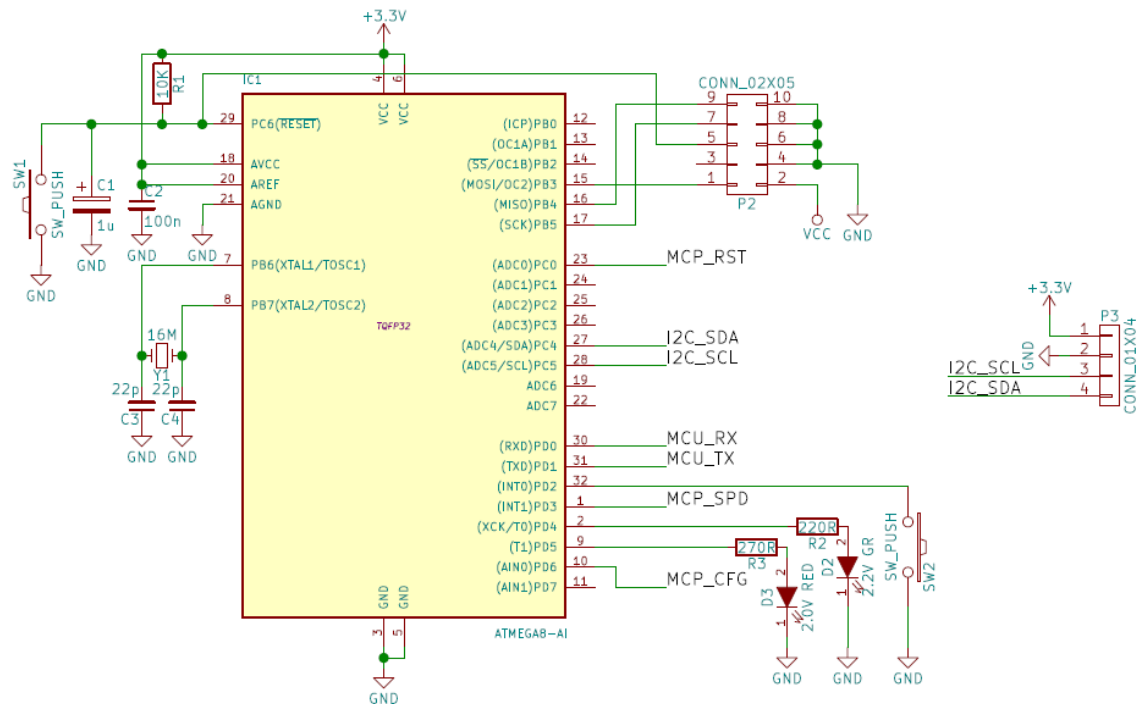


Obrázek 29: Zapojení USB/UART převodníku MCP2200

Zapojení bylo navrženo na základě doporučení v katalogovém listu obvodu, přičemž navíc byly přidány ochranné rezistory R5 a R6. Jak už bylo zmíněno, výhodou obvodu je fakt, že je schopen pracovat i na 3,3 V. V tomto režimu je třeba k napájecímu napětí připojit i vývod V_{USB} . Blízko obvodu je pak umístěn blokovací kondenzátor C8.

Vnitřní oscilátor obvodu pracuje s krystalem Y2 na frekvenci 12 MHz, která je běžná pro USB zařízení. Na základě doporučení v katalogovém listu výrobce byl přidán ještě R7, jehož hodnotu odporu je třeba zvýšit, pokud se oscilátor nerozkmitá. Vývody GP6 a GP7 lze naprogramovat jako indikátory Rx a Tx a proto jsou k nim připojeny LED diody informující o příjmu a vysílání dat. Samotné vývody Rx a Tx pak vedou dále k mikrokontroléru, přičemž Rx převodníku je připojen k Tx mikrokontroléru a naopak. K mikrokontroléru jsou dále připojeny vývody MCP_SPD, MCP_CFG, MCP_RST. První dva jsou výstupy, přičemž vývod MCP_SPD (suspend) informuje mikrokontrolér o pozastavení USB komunikace. V případě pozastavení se nachází v logické nule. MCP_CFG pak informuje o úspěšném navázání komunikace s hostitelským zařízením, což oznamuje logickou jedničkou. K výstupu mikrokontroléru je připojen taktéž i vývod RST. Díky tomu je možné signálem z mikrokontroléru vynutit restart v případě problémů s komunikací. Aby byl omezen vybíjecí proud kondenzátoru C11 při vynucení resetu mikrokontrolérem, byl do cesty přidán rezistor R11.

5.1.3.3 Mikrokontrolér

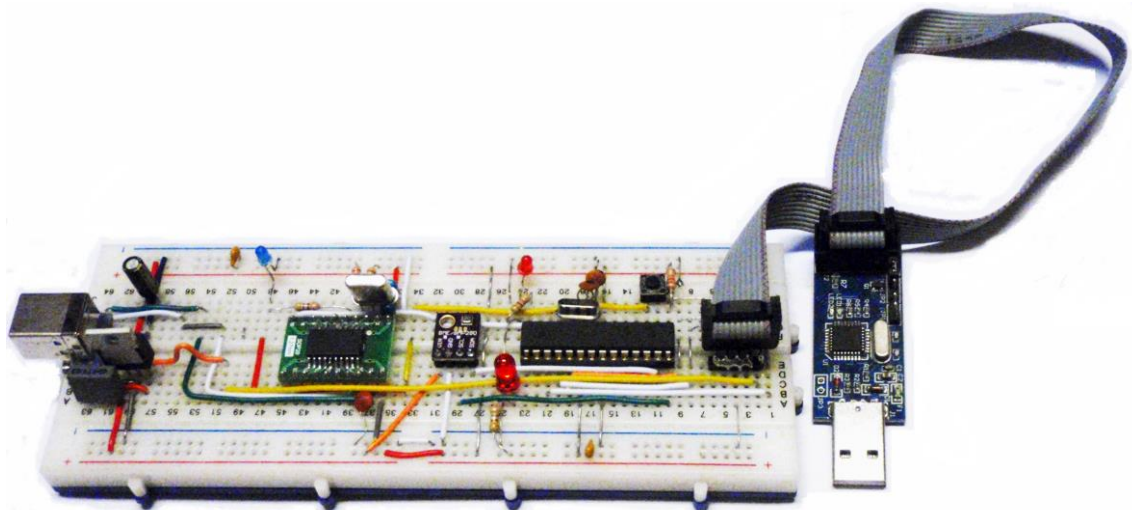


Obrázek 30: Zapojení mikrokontroléru ATmega8A

Mikrokontrolér je taktéž napájen ze stabilizovaného napětí 3,3 V. Opět je zde přítomen blokovací kondenzátor C2, který je třeba umístit co nejbližší obvodu. Vnitřní oscilátor je připojen k externímu krystalu 16 MHz. Tlačítkem SW1 je možné provést reset zařízení. Tlačítko SW2 bylo vytvořeno jako rezervní, s volitelnou funkcí. Podobně LED diodám D2 a D3 bude přiřazena funkce až později, při návrhu programu. Vstupy PD2 a PD3 umožňují generovat přerušení při změnách logických úrovní. Konektor P2 slouží k připojení běžného ISP programátoru, pomocí kterého se do mikrokontroléru po připájení všech součástek k desce nahraje software. Díky přítomnosti konektoru je možné později nahrávat upravené verze programu. Samotný snímač, který je k dostání na miniaturní desce plošných spojů se pak připojí k desce s mikrokontrolérem pomocí čtyřpinového konektoru.

5.1.4 Testování

Ještě před návrhem desky plošných spojů je vhodné ověřit funkčnost navrženého zapojení. K tomu bylo zakoupeno kontaktní nepájivé pole o rozměrech 166 x 55 x 8 mm s celkovým počtem 200 pinů. Dále bylo potřeba zakoupit propojky pro kontaktní pole a všechny potřebné součástky ve variantě THT. K obvodu MCP2200, který se v pouzdře THT nedodává, bylo potřeba zakoupit miniaturní DPS redukci, na níž se obvod připájel. Nožičky redukce se pak zasunuly do nepájivého pole.



Obrázek 31: Zapojení na nepájivém kontaktním poli


Toto zapojení bylo následně testováno na svou funkčnost. Více je k tomu uvedeno dále, v části, která se zabývá návrhem software.

5.1.5 Deska plošných spojů

Vývojové práce HW dále pokračují návrhem desky plošných spojů. K tomu je nejdříve potřeba jednotlivým součástkám přiřadit pouzdra a vytvořit tzv. netlist, který se dále naimportuje v části Pcbnew.

Při návrhu je obecně možné postupovat více způsoby. V jednom z případů se začne návrhem DPS, přičemž rozměrům vzniklé desky se poté přizpůsobí celkové rozměry zařízení. Jinou možností je, že jsou předem známy požadované rozměry desky a rozmístění součástek se jim přizpůsobuje. V tomto případě bylo rozhodnuto nejdříve nalézt vhodnou konstrukční krabičku a jejím rozměrům přizpůsobit desku plošných spojů. Zásadní v tomto případě je, aby bylo možné DPS do krabičky přišroubovat. Krabička KP34 je jedna z mála z nabídky GM electronic, které disponují vnitřními nastavci s otvory pro přišroubování DPS.

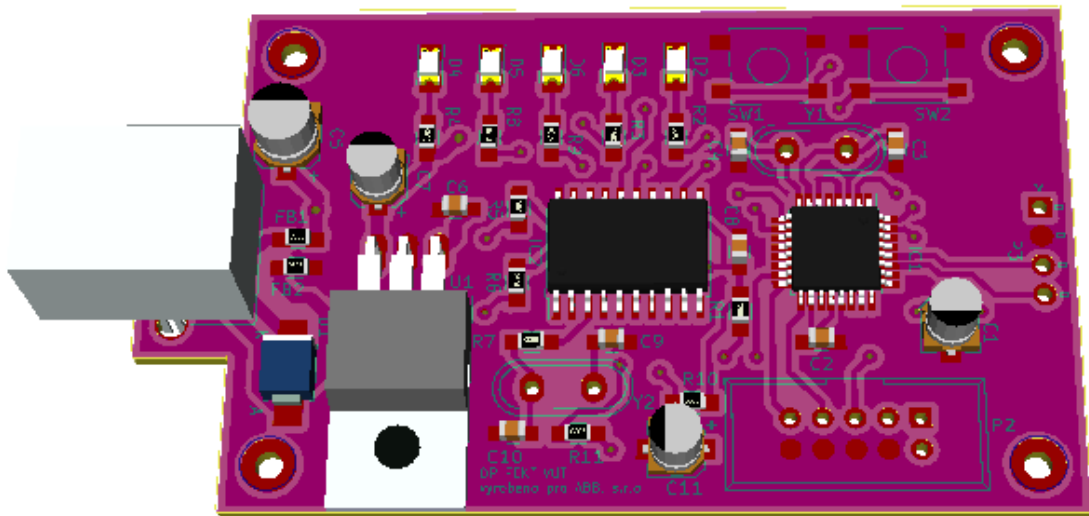
Tabulka 19: Parametry krabičky KP34 [27]

Název	KP34
Foto	 <p>Obrázek 32: Krabička KP34</p>
Cena s DPH u GM electronic	54 Kč
Rozměry	100 x 56 x 43 mm
Vzdálenost mezi montážními děrami pro DPS*	60 mm a 36 mm
Max. rozměry DPS	47 x 90 mm
Prodejce	GM electronic, spol. s.r.o.

* změřeno, výrobce tento údaj neudává

Jak je patrné z obrázku krabičky, nelze využít celou délku pro osazení obdélníkové DPS. Pro zvýšení přístupnosti USB konektoru je potřeba desku rozšířit o výstupek, ke kterému bude připájen USB konektor. Při návrhu desky tedy byly již od počátku specifikovány rozměry desky, do kterých bylo nutné se vejít.

Vzniklá deska je dvouvrstvá, s potiskem na přední straně a s nepájivou maskou na obou stranách. Většina součástek byla zvolena v SMD pouzdře. Keramické kondenzátory a rezistory jsou všechny v pouzdře 0805. LED diody mají pouzdro 1206. Tam, kde to bylo možné, byly zvoleny delší pájecí plošky, pro případ, že by se první prototyp pájel ručně, nikoli přetavením. Konektory, stabilizátor a krystaly pak mají THT pouzdra.



Obrázek 33: 3D model navržené DPS

Na obrázku výše lze vidět 3D model navržené desky, tak, jak ho vykresluje KiCad. Lze si všimnout určitých nedokonalostí použitého software, např. ne všechny knihovny součástek obsahují 3D modely a proto chybí 3D modely pro krystaly, tlačítka a dva z konektorů. Dále díry, na kterých je zachován měděný povrch se zobrazují jako nevyvrtané, přestože ve výstupních souborech se s vyvrtáním děr počítá.

Protože na desce zbylo relativně dost místa, stabilizátor LF33 je osazen horizontálně, přičemž je možné ho k desce připevnit šroubem a styčné plochy opatřit teplovodivou pastou pro lepší odvod tepla. Ke konektoru P3 se připájí destička se snímačem BME280 a do krabičky se vyřízne otvor pro vstup vzduchu zvnějšku, který se překryje síťovinou pro zamezení vniku prachu. Stejně tak se vyřízne otvor pro USB konektor. K LED diodám se poté zakoupí světlovody a do krabičky se pro ně vyvrtají drobné díry. Podobný postup platí i pro tlačítka, místo světlovodů je třeba pořídit nástavce.

5.2 Softwarová část

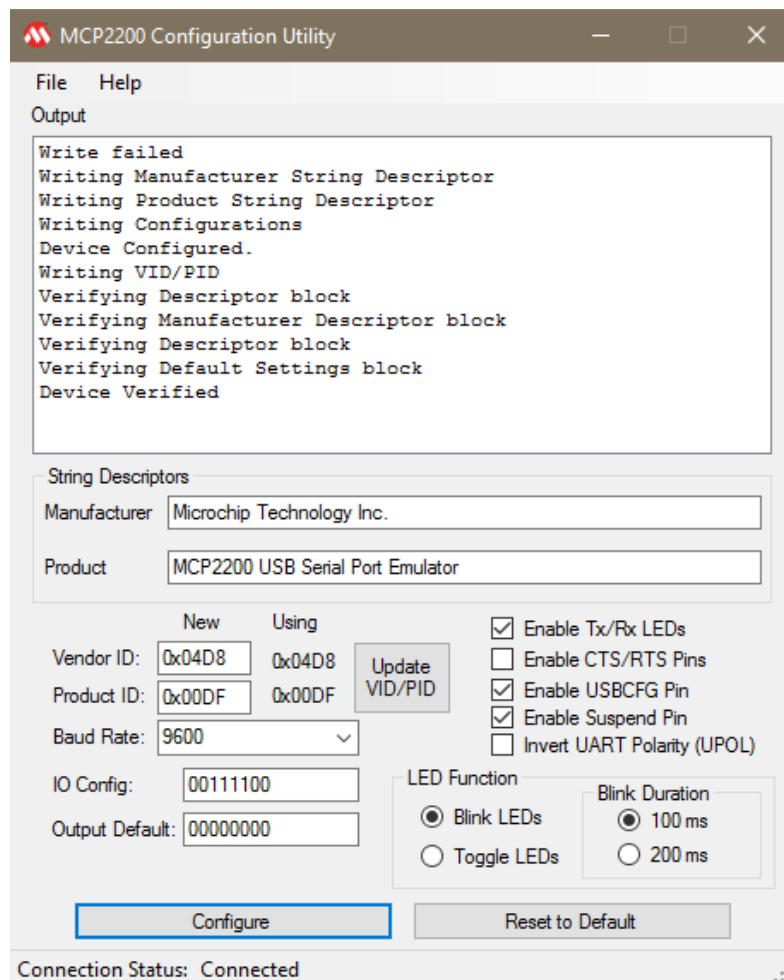
Celá procedura návrhu softwaru pro mikrokontrolér se skládá z několika kroků:

1. Konfigurace obvodu MCP2200
2. Instalace vývojového prostředí Atmel Studio a zprovoznění programátoru USBASP
3. Konfigurace tzv. pojistek mikrokontroléru (nastavení zdroje časování, watchdog timeru, možnost vypnutí resetu apod.)
4. Zkouška prvního testovacího programu na čtení teploty a vlhkosti
5. Návrh výsledného software pro mikrokontrolér včetně návrhu komunikačního protokolu

5.2.1 Konfigurace obvodu MCP2200

Aby bylo vůbec možné testovat komunikaci s PC, je nutné nejdříve zprovoznit komunikační obvod MCP2200. Po jeho připojení k PC by se v novějších verzích Windows mělo zařízení automaticky rozpoznat jako sériový port. Výrobce přesto nabízí na svých stránkách ovladače jak pro Windows, tak i pro Linux [25]. Po rozpoznání zařízení mu Windows přiřadí číslo COM portu a je možné ho nalézt ve správci zařízení.

Poté, co bylo zařízení rozpoznáno, lze pokračovat dalším krokem, který spočívá v konfiguraci obvodu pomocí MCP2200 Configuration Utility, což je jednoduchý nástroj, který výrobce nabízí na svých stránkách ke stažení.



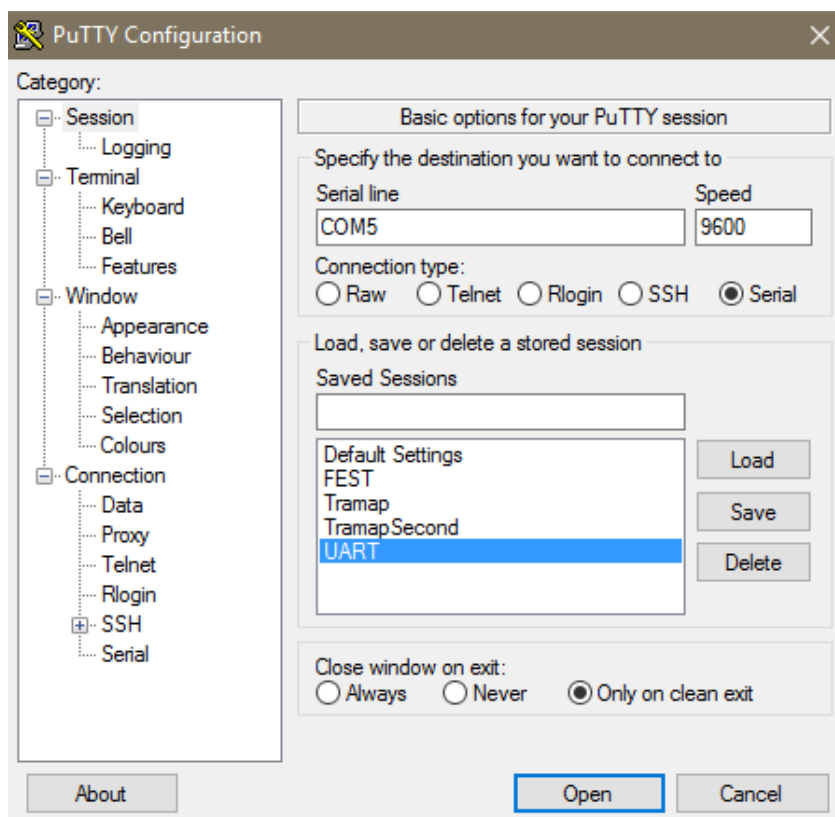
Obrázek 34: Konfigurační nástroj pro MCP2200

Nástroj umožňuje měnit název a dokonce i ID zařízení, přenosovou rychlost, dále pak aktivovat Rx / Tx diody, případně povolit diagnostické výstupy Suspend a USBCFG, atd. Na předešlém obrázku lze vidět nastavení použita pro tuto aplikaci. Přenosová rychlost 9600 Bd je dostačující, informativní Rx / Tx diody jsou povoleny, oba diagnostické výstupy pro USB taktéž. Signály RTS / CTS jsou v této aplikaci nevyužity. Obrácení polarity rozhraní UART by mělo smysl v případě, kdyby signál po zvýšení napětových úrovních putoval dál přes rozhraní RS-232, což není tento případ.

Podle zvolených možností se pak též mění pole IO Config, kde I znamená vstup a O výstup. Vývody, které zůstanou nevyužité, je vhodné nastavit jako výstupy. Výsledkem tedy bude hodnota 00000000.

Po dokončení konfigurace obvodu je možné přistoupit k otestování funkčnosti vzniklého virtuálního sériového portu. V terminálu PuTTY je třeba vyplnit název sériové linky a rychlost v Bd. V podrobnějších nastaveních (Connection / Serial) je možné zvolit též počty datových a stop

bitů, paritní bit a řízení toku. Paritní bit se zde nepoužívá, stop bit je jeden, řízení toku se nepoužívá.



Obrázek 35: Testování komunikace v programu Putty

V případě úspěšného navázání spojení se otevře prázdné terminálové okno, v opačném případě se vypíše chyba.

5.2.2 Propojení prostředí Atmel Studio s programátorem USBASP

Společnost Atmel poskytuje volně ke stažení vývojové prostředí Atmel Studio, v době psaní práce se jednalo o verzi 7. Jedná se o přehledné vývojové prostředí velmi podobné Visual Studiu, ve kterém se pracuje podobným způsobem. Podporuje nejrůznější typy mikrokontrolérů a stejně tak i programovacích zařízení, přičemž je též možné propojit jej s vlastním programovacím zařízením.

Aby bylo možno použít k programování zařízení USBASP, je nutné nejdříve nainstalovat jeho ovladač, který lze dohledat na internetu [28]. Instalátor umožňuje volbu více typů ovladačů a je proto třeba odzkoušet, se kterým z nich je zařízení rozpoznáno a funguje. Test funkčnosti se provede po stažení nástroje AVRdude z webu [29]. Tento nástroj slouží k přímému zapisování zkompilevaného kódu do mikrokontroléru a je schopen spolupracovat i s programovacími

zařízeními třetích stran. Spouští se s parametry přes příkazovou řádku. Příkaz, kterým se ověří připojení programátoru k mikrokontroléru může vypadat následovně:

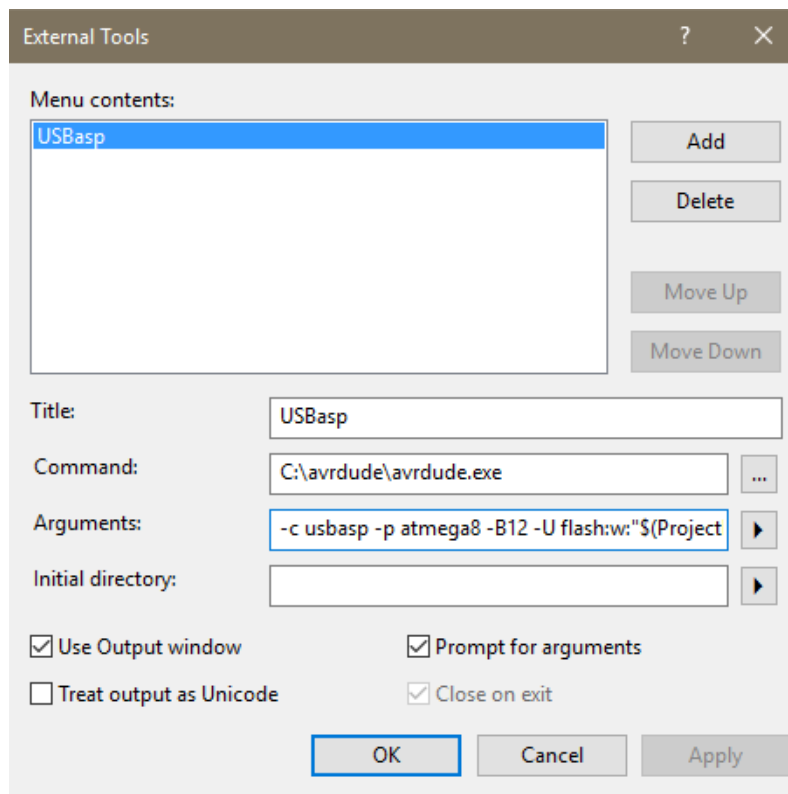
```
C:\avrdude\avrdude.exe -c usbasp -p atmega8
```

Výstup by pak měl vypadat následovně:

```
avrdude.exe: AVR device initialized and ready to accept instructions
Reading | ##### | 100% 0.02s
avrdude.exe: Device signature = 0x1e9307
avrdude.exe: safemode: Fuses OK
avrdude.exe done. Thank you.
```

Pokud program hlásí chybu, je nutné zkontrolovat propojení programátoru a mikrokontroléru. Mimo to může pomoci zkouška jiného typu ovladače pro USBASP.

Poté, co byla úspěšně odzkoušena spolupráce programátoru a podpůrného software, je vhodné nastavit spolupráci mezi Atmel Studiem a nástrojem AVRdude. V Atmel Studiu se pod záložkou Tools nachází External Tools, kde je možné přidat si spouštění vlastního příkazu s předáváním proměnných.



Obrázek 36: Nastavení spouštění AVRdude v Atmel Studiu

Zde je možné přidat si vlastní příkaz. Parametry je třeba nastavit podle předešlého obrázku, přičemž do pole argumentů se vkládá řetězec

```
-c usbasp -p atmega8 -B12 -U flash:w:"$(ProjectDir)Debug\$(TargetName).hex":i
```

V případě, že do mikrokontroléru nahráváme konečnou, nikoli vývojovou verzi navrženého software, je vhodné zaměnit složku Debug za složku Release. Podobně v případě jiného umístění AVRdude je třeba změnit cestu k němu.

5.2.3 Konfigurace pojistek mikrokontroléru

Termín pojistka zde má jiný než běžný význam. Pojistky mikroprocesoru jsou základní konfigurační parametry, které se ukládají do specifické paměti. Mikrokontrolér ATmega8A umožňuje konfiguraci zdroje časování, watchdog timeru, detekce nízké úrovně napájecího napětí, dále umožňuje zakázat reset, sériové programování, apod. Je nutno upozornit, že nesprávné nastavení pojistek může znefunkčnit mikrokontrolér.

V tomto případě je potřeba nastavení pojistek změnit, a to z toho důvodu, že je využíván externí krystal pro časování. Lze k tomu využít některý z volně dostupných kalkulátorů na webu.

LOW Fuse Presets:

Brown-out detection enabled; [BODEN=0]
 Brown-out detection level at VCC=2.7 V; [BODLEVEL=1]
 Ext. Crystal/Resonator High Freq.; Start-up time: 16K CK + 64 ms; [CKSEL=1111 SUT=11] ▼

HIGH Fuse Presets:

Boot Flash section size=1024 words Boot start address=\$0C00; [BOOTSZ=00]; default value ▼
 Boot Reset vector Enabled (default address=\$0000); [BOOTRST=0]
 CKOPT fuse (operation dependent of CKSEL fuses); [CKOPT=0]
 Preserve EEPROM memory through the Chip Erase cycle; [EESAVE=0]
 Reset Disabled (Enable PC6 as i/o pin); [RSTDISBL=0] *
 Serial program downloading (SPI) enabled; [SPIEN=0] *
 Watch-dog Timer always on; [WDTON=0]

LOCKBIT Fuse Presets:

Application Protection Mode 1: No lock on SPM and LPM in Application Section ▼
 Boot Loader Protection Mode 1: No lock on SPM and LPM in Boot Loader Section ▼
 Mode 1: No memory lock features enabled ▼

Manual Fuse Bit Manipulation
 Remember: = programmed = 0; = unprogrammed = 1

Bit	LOW	HIGH
7	<input type="checkbox"/> BODLEVEL	<input type="checkbox"/> RSTDISBL *
6	<input type="checkbox"/> BODEN	<input type="checkbox"/> WDTON
5	<input type="checkbox"/> SUT1	<input checked="" type="checkbox"/> SPIEN *
4	<input type="checkbox"/> SUT0	<input checked="" type="checkbox"/> CKOPT
3	<input type="checkbox"/> CKSEL3	<input type="checkbox"/> EESAVE
2	<input type="checkbox"/> CKSEL2	<input checked="" type="checkbox"/> BOOTSZ1
1	<input type="checkbox"/> CKSEL1	<input checked="" type="checkbox"/> BOOTSZ0
0	<input type="checkbox"/> CKSEL0	<input type="checkbox"/> BOOTRST
Default	0xC1	0x99
Apply	0xFF	0xC9

AVRDUDE -U lfuse:w:0xFF:m -U hfuse:w:0xC9:m

Obrázek 37: Nastavení pojistek pomocí webového kalkulátoru [30]

Výsledné hodnoty 0xFF a 0xC9 se poté nahrají do mikrokontroléru:

```
C:\avrdude\avrdude.exe -c usbasp -p atmega8 -B12 -U lfuse:w:0xFF:m -U hfuse:w:0xC9:m
```

O volbě externího krystalu pro časování je třeba informovat i Atmel Studio, které potřebuje znát frekvenci procesoru např. při použití funkcí delay. Nastavení frekvence procesoru je možné provést v záložce Project / Properties / AVR GNU C Compiler / Symbols. Do tabulky definovaných symbolů se přidá:

```
F_CPU=16000000UL
```

5.2.4 Zkouška prvního testovacího programu na čtení teploty a vlhkosti

Po dokončení všech předešlých nastavení je možné přikročit k samotné zkoušce funkčnosti senzoru. K tomu ale nestačí senzor k mikrokontroléru pouze připojit, je nutno disponovat funkčním softwarem, který obstarává komunikaci se senzorem. Místo psaní vlastní knihovny od začátku může být v tomto případě vhodnější použít již existující knihovnu. Výhodou v tomto případě je, že se jedná o poměrně známý a rozšířený senzor. Poměrně často se tento senzor objevuje ve spojení s platformou Arduino a proto též není těžké nalézt příslušnou knihovnu. Horší je to pak s knihovnami, které jsou určeny přímo pro nasazení v procesorech AVR bez mezičlánku v podobě Arduina.

První z nalezených je oficiální knihovna napsaná firmou Bosch v jazyce C [31]. Jedná se o multiplatformní kód, který je třeba přizpůsobit zvolené platformě. Programátor si musí sám dotvořit některé funkce, zejména ty, které přímo pracují s hardwarem, tedy odesílání a přijímání dat přes I²C. Z pohledu programátora lze říci, že se jedná o dosti rozsáhlý kód, ve kterém není snadné se zorientovat.

Druhá nalezená knihovna pochází od nezávislého autora a je určena přímo pro procesory AVR [32]. To je výhoda, ovšem nedokonalostí této knihovny je fakt, že funkce pro čtení atmosférického tlaku nevrací správné hodnoty. V rámci této práce se tedy nabízí možnost knihovnu zdokonalit a poskytnout ji k dalšímu užití. Knihovna je poskytována pod otevřenou licencí MIT. Po dalším zkoumání se pak ukázalo, že se jedná pouze o mírně upravenou knihovnu pro Arduino tak, aby fungovala na procesorech AVR bez Arduina.

Prvním krokem bylo v tomto případě odzkoušení funkčnosti této druhé knihovny na dostupném hardware. Po přidání všech zdrojových a hlavičkových souborů do projektu v Atmel Studiu a drobných úpravách (přenosová rychlost, názvy I²C registrů, změna I2C adresy senzoru na 0x76) by mělo být možné kód zkompilovat a nahrát do mikrokontroléru. Ke knihovně je poskytnut i hlavní program disponující funkcí *main*, který každých 1,5 sekundy odešle do PC hodnoty teploty, tlaku, vlhkosti a nadmořské výšky vypočítané z tlaku.

Terminálový program se při zkoušce nastaví následovně:

Tabulka 20: Nastavení sériové komunikace

Přenosová rychlost	9600 Bd
Parita	Bez parity
Stop bity	1
Řízení toku	Žádné

```
COM5 - PuTTY
Temperature: 22.22C Pressure: -5168.0 Humidity: 43.44% Altitude: 0.0
Temperature: 22.20C Pressure: -656.0 Humidity: 43.17% Altitude: 0.0
Temperature: 22.20C Pressure: 19208.0 Humidity: 43.8% Altitude: 0.0
Temperature: 22.20C Pressure: 17184.0 Humidity: 43.4% Altitude: 0.0
Temperature: 22.15C Pressure: 16112.0 Humidity: 42.79% Altitude: 0.0
Temperature: 22.15C Pressure: 13560.0 Humidity: 42.59% Altitude: 0.0
Temperature: 22.15C Pressure: 12688.0 Humidity: 42.50% Altitude: 0.0
Temperature: 22.13C Pressure: 17424.0 Humidity: 42.43% Altitude: 0.0
Temperature: 22.12C Pressure: 9552.0 Humidity: 42.44% Altitude: 0.0
Temperature: 22.11C Pressure: 8144.0 Humidity: 42.52% Altitude: 0.0
Temperature: 22.12C Pressure: 7592.0 Humidity: 42.52% Altitude: 0.0
Temperature: 22.12C Pressure: 15376.0 Humidity: 42.45% Altitude: 0.0
Temperature: 22.11C Pressure: 29408.0 Humidity: 42.59% Altitude: 0.0
Temperature: 22.12C Pressure: 14288.0 Humidity: 42.80% Altitude: 0.0
Temperature: 22.11C Pressure: -7112.0 Humidity: 42.93% Altitude: 0.0
Temperature: 22.10C Pressure: 5664.0 Humidity: 43.1% Altitude: 0.0
Temperature: 22.10C Pressure: 5392.0 Humidity: 43.5% Altitude: 0.0
Temperature: 22.10C Pressure: 17104.0 Humidity: 43.5% Altitude: 0.0
Temperature: 22.10C Pressure: 20376.0 Humidity: 42.94% Altitude: 0.0
Temperature: 22.9C Pressure: 28520.0 Humidity: 42.83% Altitude: 0.0
Temperature: 22.9C Pressure: 26776.0 Humidity: 42.78% Altitude: 0.0
Temperature: 22.10C Pressure: 24576.0 Humidity: 42.85% Altitude: 0.0
Temperature: 22.11C Pressure: 17264.0 Humidity: 42.95% Altitude: 0.0
```

Obrázek 38: Výstup v terminálu PuTTY po nahrání vzorového programu

Z předchozího obrázku je patrné, že z hlediska hardwaru je vše v pořádku, komunikace se senzorem probíhá, data jsou odesílána do PC. Zbývá tedy opravit funkci pro čtení atmosférického tlaku a pokračovat pak návrhem a implementací komunikačního protokolu.

Při ladění kódu pro čtení atmosférického tlaku se ukázalo, že chyba byla způsobena přenosem z kódu pro Arduino, který může být kompilátorem přeložen mírně odlišně. K opravě bylo potřeba upravit výstupní hodnotu funkce pro čtení tlaku.

5.2.5 Návrh komunikačního protokolu

V předchozí části bylo ověřeno, že komunikace se senzorem funguje a že po určitých úpravách jsme schopni získat na výstupu hodnoty teploty, vlhkosti a tlaku. Pro praktické nasazení je ale nutné software zdokonalit. Měření by totiž probíhalo každých 1,5 sekundy, navíc s využitím funkce delay, během které procesor čeká a nemůže provádět žádné jiné operace. Navíc by se ani většina naměřených hodnot nevyužila, vzhledem k tomu že požadovaná frekvence měření je každých 15 minut. Z těchto důvodů je vhodné upravit způsob komunikace tak, aby byly naměřené hodnoty odesílány na vyžádání. Toho je možné dosáhnout např. implementací sady příkazů [33]. Následující tabulka uvádí seznam příkazů posílaných přes UART, na které mikrokontrolér reaguje.

Tabulka 21: Seznam příkazů pro komunikaci s modulem

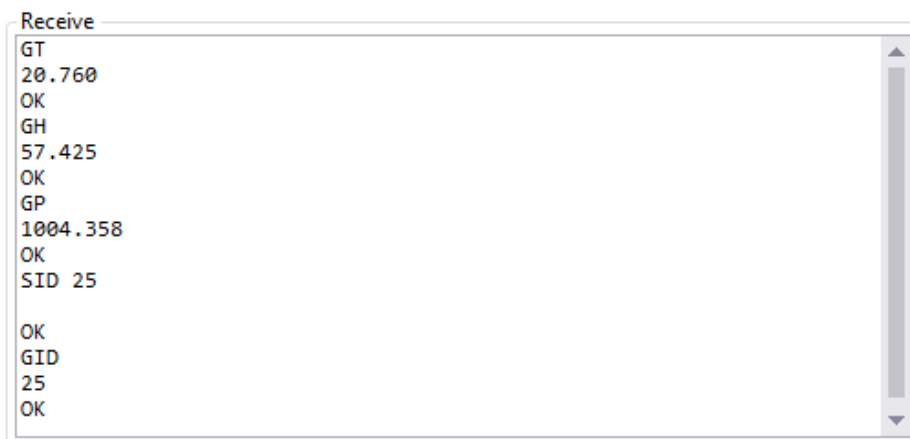
Příkaz	Parametr	Funkce	Návratová hodnota
GT	-	Vypíše teplotu	float (°C)
GH	-	Vypíše vlhkost	float (%)
GP	-	Vypíše tlak	float (hPa)
GID	-	Vypíše ID modulu	int
SID	int	Nastaví ID modulu	-
RST	-	Provede reset komunikačního modulu a mikrokontroléru	-

Tabulka příkazů se postupně upravovala v průběhu tvorby software. Kromě nezbytných příkazů pro výpis teploty, tlaku a vlhkosti byla též přidána možnost uložení identifikačního ID do paměti EEPROM, která nevyžaduje externí napájení a po resetu se nesmaže. Je ale třeba upozornit na to, že v případě nahrání nového programu do AVR dochází též ke smazání paměti EEPROM. Možnost uchování ID je potřebná pro pozdější rozpoznání, o který měřicí modul se jedná. Měřicí moduly a stejně tak i průmyslová PC ve výrobě se mohou občas zaměňovat a proto by nebylo vhodné ukládat ID do PC.

I když jsou v tabulce zmíněny datové typy float a int, z pohledu komunikace přes UART jsou číselné hodnoty přenášeny jako znaky, byte po byte. To znamená, že je nutné převádět řetězce na číselné hodnoty a opačně, i když by bylo samozřejmě možné přenášet přímo číselné datové typy tak, jak jsou uloženy v paměti. Tím bychom ale přišli o možnost přímého zobrazení naměřených hodnot v terminálu pro účely ladění atd. Na straně PC je pak potřeba pro další zpracování též provádět příslušné převody.

Každý z příkazů se potvrzuje znakem `'\r'`, který lze v programu Putty zpravidla odeslat klávesou Enter. Terminálový program používaný pro komunikaci je třeba vhodně nastavit, spolu se znakem `'\r'` může být při stisknutí klávesy Enter odeslán i znak `'\n'`. Další nastavení zůstávají stejná: 9600 Bd, bez parity a řízení toku, 1 stop bit.

Příkaz SID se tedy jako jediný zadává s parametrem odděleným mezerou. Tedy např. příkazem *SID 25* potvrzeným enterem nastavíme ID na 25. Ověření funkčnosti se pak provede příkazem *GID*.



Obrázek 39: Komunikace s modulem pomocí příkazů

5.2.6 Popis funkce programu mikrokontroléru

Program se skládá z hlavní funkce *main*, obsluh přerušení a dalších pomocných funkcí, které se nacházejí ve čtyřech souborech s kódem:

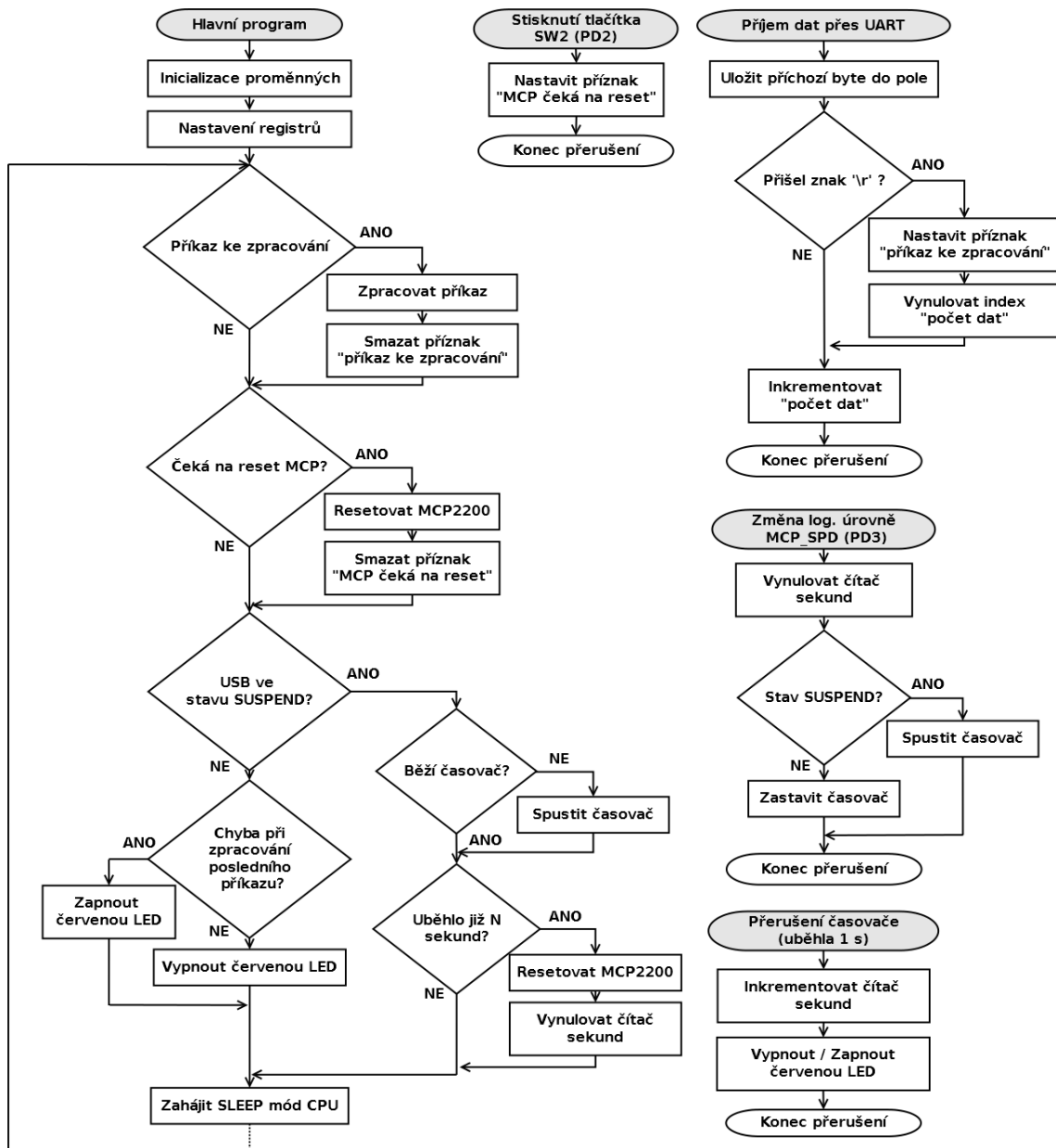
Tabulka 22: Obsah zdrojových souborů

main.c	uart.c	i2c_master.c	bme280.c
Hlavní funkce včetně pomocných funkcí	Inicializace a obsluha rozhraní UART	Inicializace a obsluha rozhraní I ² C	Čtení naměřených hodnot ze senzoru

Zatímco poslední tři zmíněné soubory lze brát spíše jako knihovny, první soubor nejvíce určuje výsledné chování.

Po kompilaci zabírá veškerý kód 7678 bytů v paměti mikrokontroléru, přičemž velikost jeho FLASH paměti je 8 KB. Lze tedy říci, že mikrokontrolér je dostatečně využitý a že není předimenzován pro tuto aplikaci. Zároveň je zde ale ještě možnost dodatečných úprav a drobných rozšíření kódu.

Většina zásadních algoritmů, které by měly být vysvětleny, se nachází v souboru *main.c*. Naznačeny jsou na vývojovém diagramu na následujícím obrázku.



Obrázek 40: Vývojový diagram (vlevo hlavní funkce, vpravo obsluhy přerušení)

Po resetu dochází nejdříve k inicializaci proměnných a nastavení registrů (vstupní a výstupní brány, nastavení rozhraní UART a I²C, nastavení časovače). Poté program vstupuje do hlavní nekonečné smyčky, v níž se kontroluje několik událostí.

Pokud byl pomocí rozhraní UART přijat nový příkaz ke zpracování, dojde v obsluze přerušení k aktivování tohoto příznaku a uložení příkazu do příslušného pole po jednotlivých bytech. Příkaz musí být ukončen znakem 'r'. V hlavním cyklu programu je poté příkaz vyhodnocen, což se provádí porovnáním jednotlivých znaků s přednastavenými znaky jednotlivých příkazů. Pokud dojde ke shodě, provede se příslušná akce (tedy např. načtení hodnoty teploty a její odeslání). V opačném případě je odesláno hlášení o nerozpoznaném příkazu.

Pokud bylo stisknuto tlačítko SW2, které slouží pro reset komunikačního obvodu, dojde v obsluze přerušeni k nastavení příznaku s touto informací. Tlačítko SW2 je připojeno ke vstupu PD2, který umožňuje generování přerušeni. Mikrokontrolér disponuje jen dvěma vstupy s touto funkcí, k druhému z nich je připojen vývod MCP_SPD. Tlačítku SW2 je prozatím přiřazena funkce resetování komunikačního obvodu, ale v případě potřeby je možné implementovat funkci jinou. Po nastavení příslušného příznaku tedy následně v hlavním cyklu dochází k resetu komunikačního obvodu MCP2200 přivedením logické nuly na vývod MCP_RST.

Dalším stavem, který se kontroluje, je tzv. suspend stav USB zařízení, ve kterém je zařízení uvedeno do nečinného stavu s nízkým odběrem [34]. Do tohoto stavu může být USB zařízení uvedeno hostitelským zařízením. Obvod MCP2200 disponuje výstupem, na kterém se objeví logická 1 v případě, že se nachází v tomto stavu. Pozorováním bylo zjištěno, že log. 1 se objeví v několika případech:

- Startuje operační systém
- PC je v režimu spánku
- Zařízení bylo odebráno

Režim spánku (případně hibernace) může být na každém PC mírně odlišný. Některá PC úplně vypnou napájení všem USB zařízením, jiná napájení ponechají. V případě odebrání zařízení ze systému ve správci zařízení se též rozsvítí indikace stavu suspend. Komunikace s obvodem tak již nadále není možná. Pro tuto aplikaci je důležité se tomuto stavu vyhnout, případně na něj alespoň upozornit.

V případě, že se zařízení dostane do stavu suspend, dojde ke spuštění časovače, který každou sekundu inkrementuje čítač a přepne červenou LED diodu, což má za následek blikání. Pokud stav suspend trvá příliš dlouho, mikroprocesor vyvolá reset obvodu MCP2200. Reset obvodu způsobí v případě odebraného zařízení jeho opětovné přidání. Komplikovanější situace nastává, pokud se PC dostane do režimu spánku. Pokud zůstane USB napájeno, reset komunikačního obvodu nemusí PC probudit. Nicméně blikání červené diody ukazuje, že je třeba deaktivovat režim spánku při nečinnosti atd.

Dále probíhá kontrola zpracování posledního příkazu. Pokud nebyl poslední příkaz rozpoznán, rozsvítí se červená LED dioda. V opačném případě červená dioda zhasne.

Na konci hlavního cyklu mikrokontrolér přejde do režimu spánku, ve kterém je zastaveno CPU, což snižuje spotřebu. Pokud se vyskytne požadavek na obsluhu přerušeni, režim spánku se ukončí a CPU pokračuje v provádění instrukcí, přičemž se vrátí na opět začátek cyklu.

Měřicí modul může indikovat pomocí LED diod tři různé stavy, z nichž dva jsou chybové.

Tabulka 23: Indikace stavů pomocí LED diod - shrnutí

ZEL.	ČER.	Stav	Zpracování posledního příkazu
●	○	Aktivní	V pořádku
●	●	Aktivní	Příkaz nerozpoznán
○	●	Suspend	-

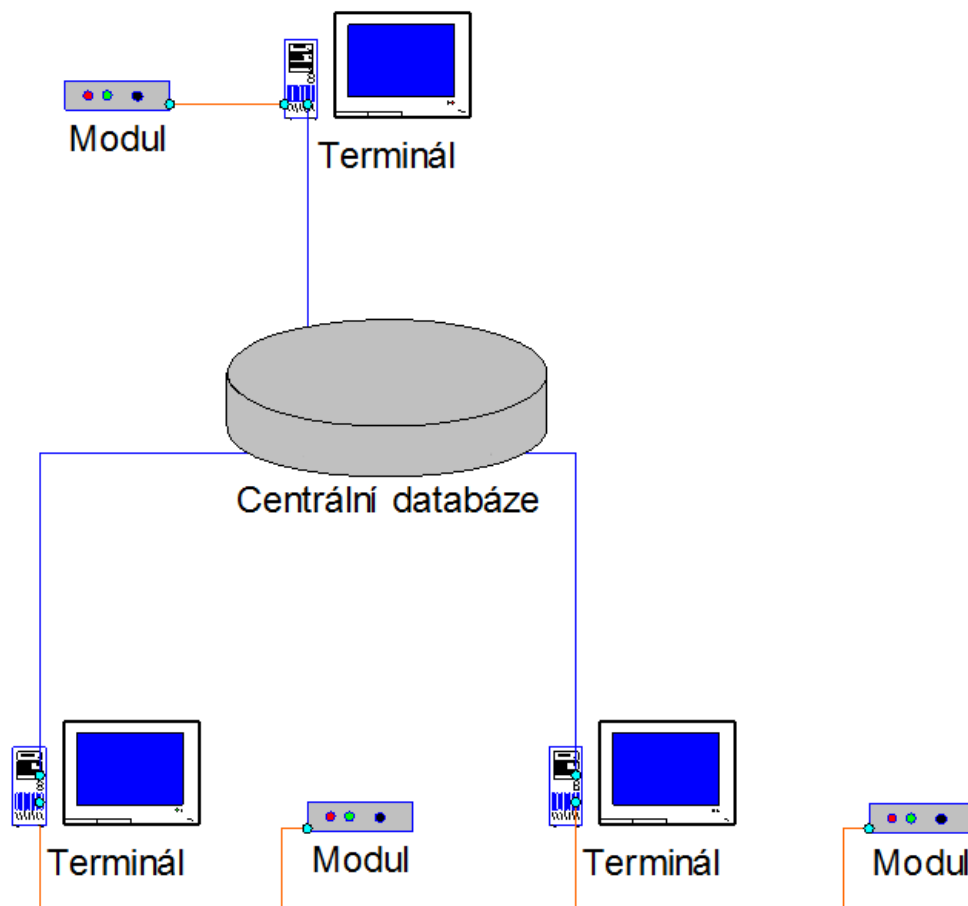
V prvním případě je měřicí modul připojen, v pořádku rozpoznán a je možné s ním komunikovat skrze jeden z virtuálních sériových portů COM s číslem, které mu přiřadil Windows. Pokud už komunikace probíhá, pak poslední příkaz byl v pořádku vyhodnocen. Druhý případ naznačuje, že poslední přijatý příkaz nebyl rozpoznán, tudíž nemohl být zpracován. Po zpracování dalšího příkazu, který je ve správném tvaru, červená dioda zhasne a vracíme se do prvního stavu. V případě, že se měřicí modul dostane do stavu suspend, zelená dioda zhasne a objeví se blikání červené diody.

6 NÁVRH LOKÁLNÍ A VZDÁLENÉ DATABÁZE

Tato část se zabývá řešením otázky ukládání naměřených dat, a to jak lokálně na počítači, ke kterému je měřicí modul připojen, tak i centrálně s využitím sběru dat ze všech měřících modulů rozmístěných ve výrobní hale.

6.1 Definice požadavků

Jak už bylo dříve zmíněno, při využití funkce ukládání do vzdálené (centrální) databáze funguje terminál jako prostředník, který předává naměřená data dál. Na terminálech tedy musí na pozadí běžet program, který obstarává toto předávání dat. Program musí být schopen ukládat zároveň jak do lokální, tak i do vzdálené databáze, přičemž obě tyto možnosti jsou volitelné.



Obrázek 41: Rekapitulace síťové topologie

Základní měřené veličiny, které jsou pro obě varianty společné, jsou teplota, vlhkost a atmosférický tlak. Přitom ke každému měření je vázán čas, kdy měření proběhlo. V následující tabulce jsou uvedeny parametry ke každé z těchto veličin:

Tabulka 24: Parametry ukládaných veličin

Veličina	Jednotka	Počet digitů (formát)	Příklad
Teplota	° C	XXX,X	110,2 ° C
Relativní vlhkost	%	XXX,X	45,3 %
Atmosférický tlak	hPa	XXXX,X	1030,5 hPa
Čas	s	dd.mm.rrrr hh:mm:ss	21.12.2016 20:45:32

Databáze tedy musí být schopna uchovat všechny tyto veličiny s požadovanou přesností. Je tedy třeba zvolit vhodné datové typy ideálně tak, aby byly schopny pojmout příslušné hodnoty a zároveň aby nebyly zbytečně naddimenzované.

Co se týče lokální databáze, na první pohled je patrné, že se nebude skládat z více než jedné tabulky. Jediná tabulka, kterou bude obsahovat je tabulka naměřených hodnot a časů.

Složitější a zajímavější situace nastává v případě vzdálené databáze. Je nutné zohlednit, že naměřené hodnoty pocházejí od několika modulů. Každý modul je tedy třeba odlišit pořadovým číslem, které má uložené ve své EEPROM paměti. Není přípustné, aby měly dva moduly stejné pořadové číslo. Každý z modulů se pak nachází na určitém místě, které je dáno svými souřadnicemi a názvem (např. dotvrzovací tunel, linka proudových transformátorů). Není přípustné, aby se dva moduly nacházely na jednom místě zároveň, ale může se stát, že na jednom či více místech se nenachází žádný měřicí modul.

6.2 Návrh databázového modelu

Jednoduchý grafický návrh je možné vytvořit např. v aplikaci Dia Diagram Editor, která je volně ke stažení a je plně dostačující pro potřeby tohoto projektu.

Při návrhu se předpokládalo, že pro realizaci navržených databázových modelů se použije Microsoft SQL Server, který je v různých verzích nainstalován na serverech společnosti ABB, s.r.o. v Brně. Tomu odpovídají též některé datové typy specifické pro MS SQL Server (např. NVARCHAR), které jsou použity v následujících databázových modelech.

6.2.1 Lokální databáze

Lokální databáze bude umístěna ve formě souboru (např. typu .mdf) na pevném disku terminálu. Obslužný program bude naměřené hodnoty z měřícího modulu ukládat přímo do ní. Přitom další parametry jako např. obnovovací frekvence pro lokální měření se budou ukládat zvlášť do příslušného konfiguračního souboru.

Databázový model lokální databáze je velmi primitivní:

Measurement	
•MeasurementId	bigint
°Temperature	decimal(4,1)
°Humidity	decimal(4,1)
°Pressure	decimal(5,1)
•MeasTime	datetime2

ErrorLog	
•ErrorId	bigint
•ErrorDate	datetime2
°ErrorTypeId	tinyint
°AdditionalDesc	nvarchar(50)

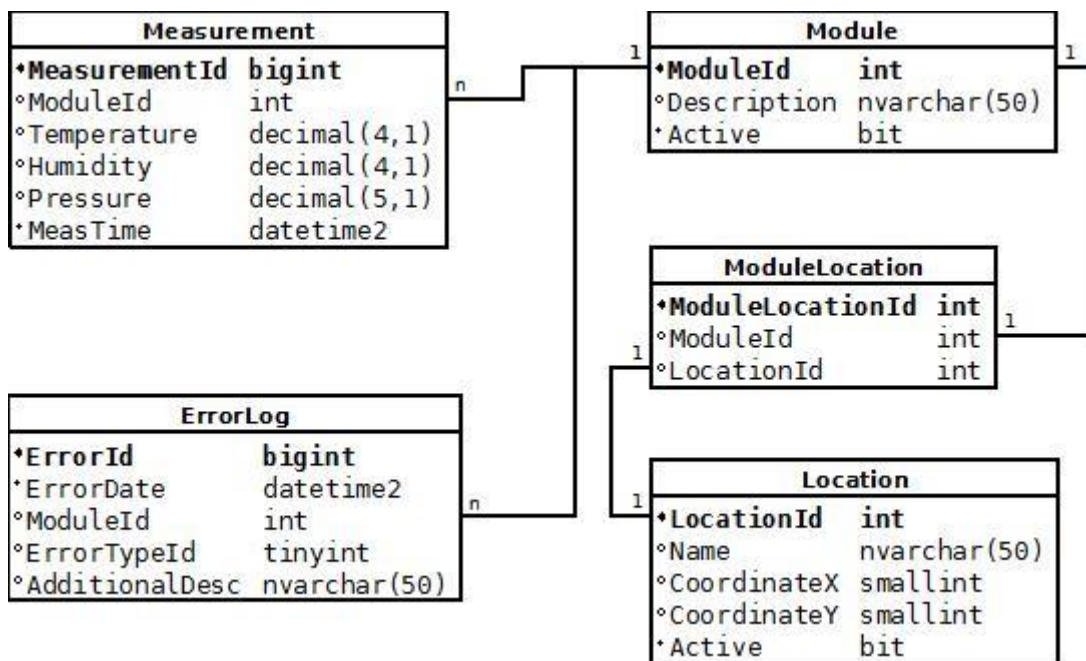
Obrázek 42: Lokální databáze skládající se ze dvou tabulek

Databáze se tedy skládá pouze z dvou vzájemně nezávislých tabulek. Do tabulky Measurement se vedle ID měření, které slouží jako primární klíč, ukládají také příslušné hodnoty teploty, vlhkosti, tlaku a čas, kdy byly hodnoty naměřeny. Pro naměřené hodnoty je použit datový typ decimal, přičemž první z hodnot v závorce reprezentuje počet digitů, druhá hodnota pak znamená počet desetinných míst. Pro ukládání času je použit standardní datový typ datetime2. Druhá tabulka ErrorLog slouží k záznamu chyb. Údaje o chybě je do ní možné vkládat dvěma způsoby, buď pomocí ID typu chyby (ErrorTypeId), nebo pomocí dodatečného popisu (AdditionalDesc).

6.2.2 Vzdálená databáze

Vzdálená databáze bude implementována na serveru k tomu určenému, ke kterému se terminály budou připojovat s příslušným uživatelským jménem a heslem. Budou zde ukládány naměřené hodnoty ze všech modulů, které pak bude možné přehledně zobrazovat.

Databázový model je již v tomto případě zajímavější:



Obrázek 43: Databázový model vzdálené databáze

Databáze se skládá z pěti tabulek, přičemž první z nich, tabulka Measurement vychází z tabulky se stejným názvem pro lokální databázi. Tabulka byla rozšířena o atribut ModuleId, který umožňuje identifikovat, který z měřících modulů je zdrojem příslušných hodnot. V další tabulce Module jsou definovány všechny dostupné měřící moduly. Každý modul je specifický svým unikátním pořadovým číslem (Number), dále je možné připojit krátkou poznámku (Description). V případě, že některé z modulů nebudou dočasně využívány, je možné nastavit bit Active do nuly.

Další tabulka Location pak obsahuje údaje o všech lokalitách, kde mohou být měřící moduly umístěny. Souřadnice CoordinateX a CoordinateY definují polohu měřících lokalit na již dříve zmíněném plánu výrobní haly. Každá lokalita dále disponuje atributem RefreshRate, tedy obnovovací frekvencí. Je tedy možné stanovit pro dvě různé lokality různé obnovovací frekvence. Podobně jako v případě tabulky Module, i zde je možnost dočasně vyřadit měřící lokalitu pomocí atributu Active.

Tabulka ModuleLocation pak řeší přiřazení měřících modulů k jednotlivým lokalitám, přičemž k jedné lokalitě může být přiřazen vždy jen jeden modul.

Poslední tabulka ErrorLog umožňuje podobně jako v případě lokální databáze zaznamenávání vzniklých chybových stavů, například chybě připojení k modulu.

7 REALIZACE MĚŘÍCIHO MODULU

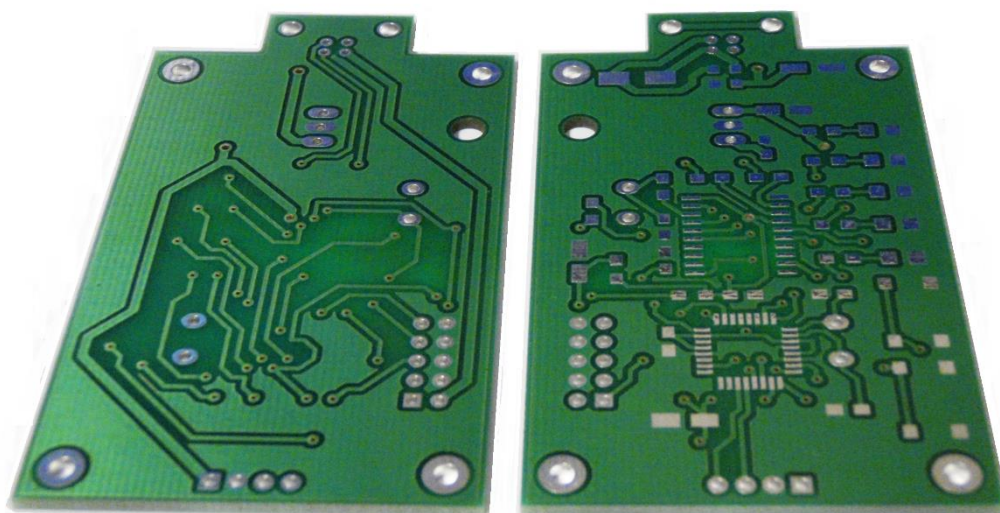
7.1 Výroba DPS

Výroba navržené desky plošných spojů byla poptána u třech různých firem. Zvolena byla firma APAMA, s.r.o., která sídlí v Brně a která nabídla nejnižší cenu výroby. V první fázi byly vyrobeny pouze dva kusy (jeden kus nespĺňuje požadavek na minimální plochu desky). Jedna z vyrobených desek, která sloužila jako prototyp, pak byla osazena a odzkoušena na správnou funkci. Následně ještě deska prošla drobnými úpravami a do výroby bylo následně zadáno osm kusů druhé verze desky.

Tabulka 25: Specifikace DPS pro výrobu

Výška	76 mm
Šířka	43 mm
Fréza před kovením	ano
Počet vrstev	2 vrstvá DPS
Materiál	FR4 – 1,5 – 18/18
Nepájivá maska	Zelená oboustranná
Potisk	Bílý vrchní
Povrchová úprava	HAL (Pb Free)
Konečné opracování	Střihání na kusy, frézování

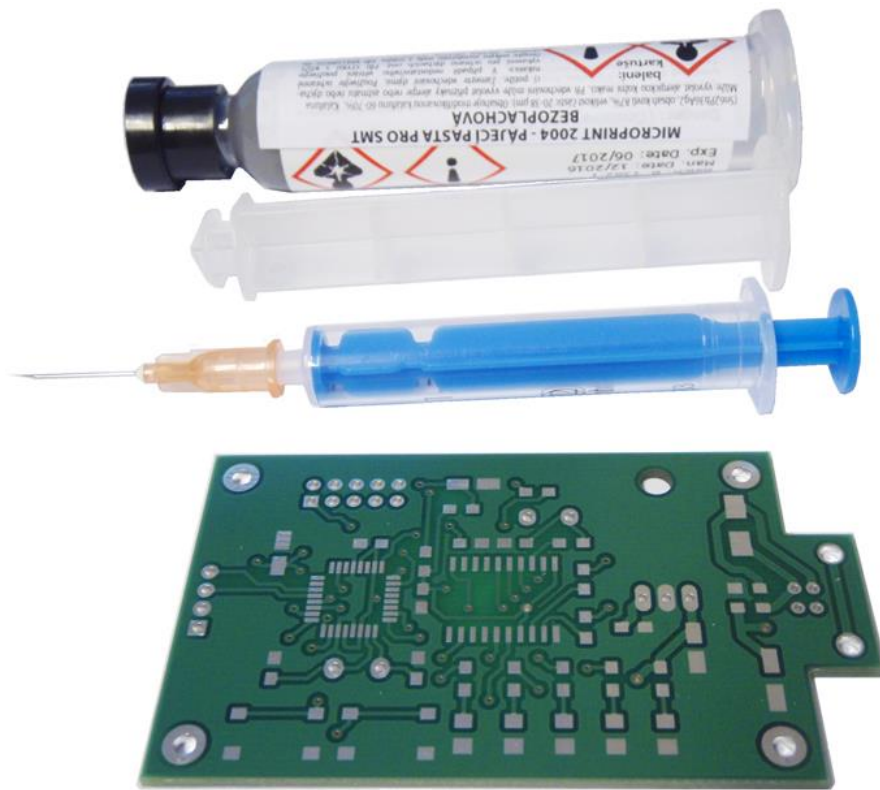
První dvě desky jsou bez bílého potisku z důvodu nekompatibility výstupního gerber souboru pro potisk s výrobní technologií firmy APAMA, což bylo zjištěno až při výrobě. To nemá zásadní vliv, při následném osazování stačí mít k dispozici výkres DPS.



Obrázek 44: První dva kusy vyrobené kusy DPS

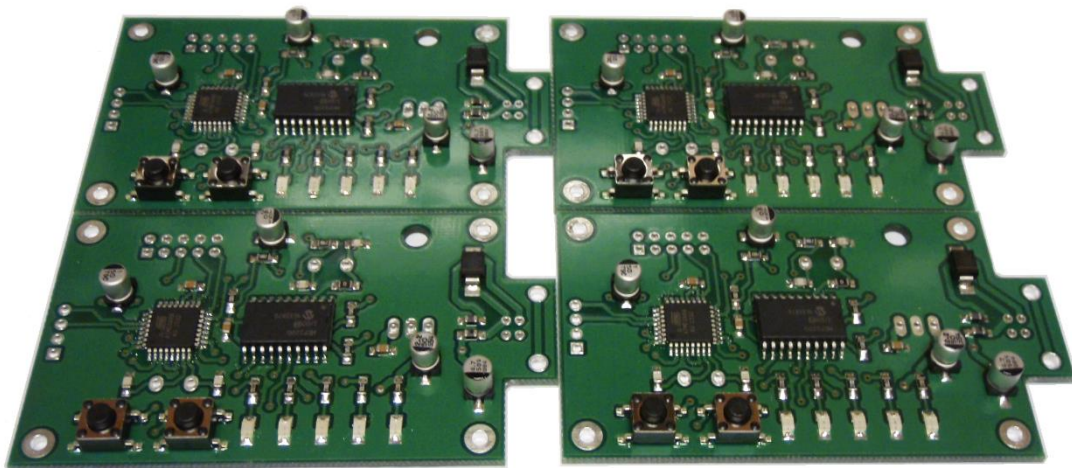
7.2 Osazení DPS

Osazení probíhalo běžným způsobem, který se při výrobě DPS používá, tedy nanesením nepájivé pasty na pájecí plošky, přiložením součástek a zahřátím DPS na dostatečnou teplotu pro přetavení pájecí pasty. Pájecí pasta byla nanášena ručně pomocí injekční stříkačky. Se součástkami bylo nutno vzhledem k jejich rozměrům manipulovat s pinzetou.



Obrázek 45: Příprava na nanášení pájecí pasty

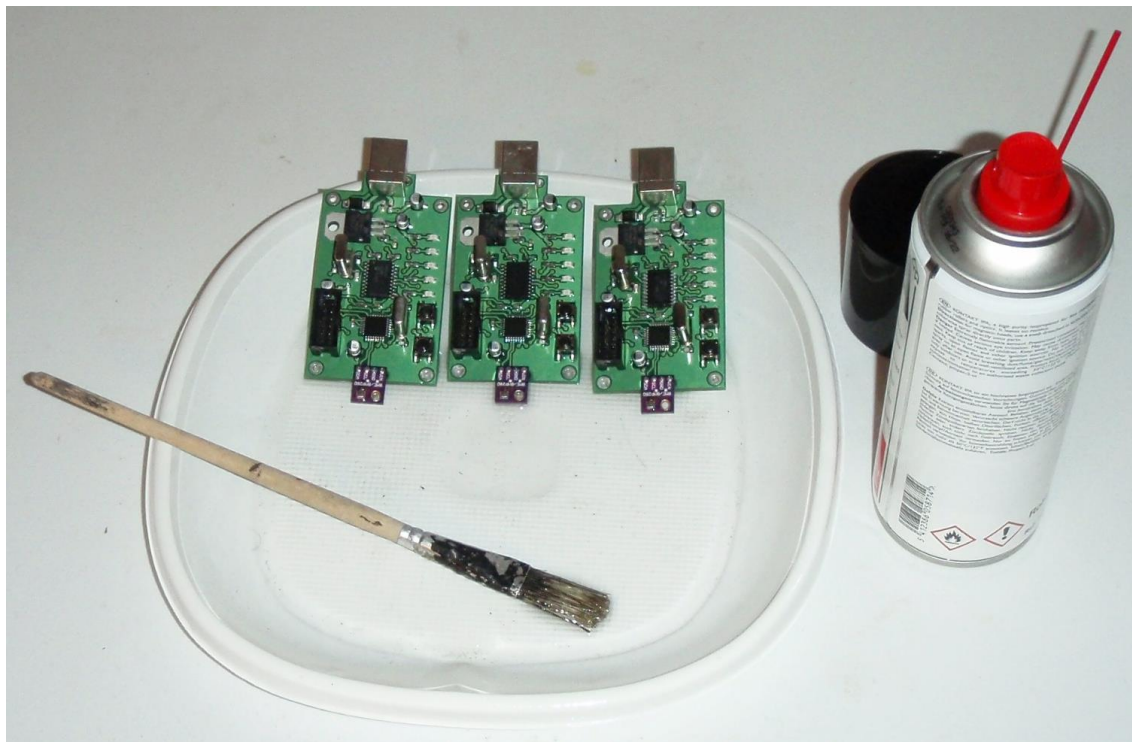
Osazování probíhalo ve dvou fázích. Nejdříve byly osazeny DPS součástky, poté byla deska zahřáta a po přetavení se pokračovalo osazením vývodových THT součástek, které bylo nutno připájet manuálně.



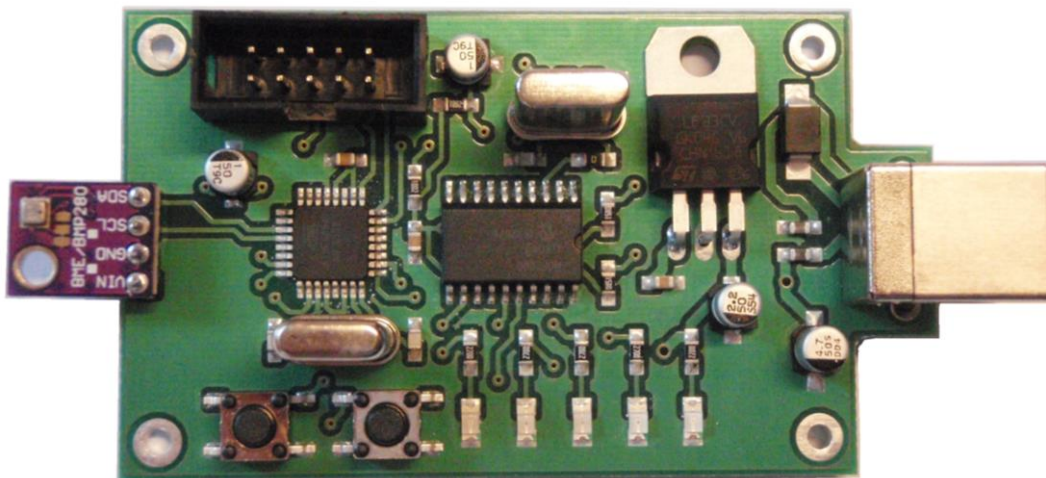
Obrázek 46: Dávka 4 desek po připájení SMD součástek

V druhé fázi tedy byly ručně osazeny konektory, stabilizátor, krystaly a senzor BME280, který je umístěn na vlastní desce. Obě desky jsou propojeny pomocí čtyřpinového konektoru. Vývodovým součástkám byly posléze zarovnány vývody.

Poslední fází výroby bylo očištění zejména spodní strany DPS od zbytků tavidla, nepřetavené pájecí pasty, případně drobných kuliček cínu na vrchní straně DPS. Desky byly čištěny pomocí izopropanolu, nejdříve aktivně pomocí štětečku, poté pasivně namočením desky do lázně.



Obrázek 47: Čištění desek pomocí izopropanolu



Obrázek 48: Dokončená DPS

7.3 Naprogramování a otestování modulu

Po dokončení obou fází pájení následuje vizuální kontrola všech plošek a pozic součástek. Pokud je vše v pořádku a není nutné provádět žádné opravy, je možné nezávisle odzkoušet komunikační obvod a mikroprocesor. Po připojení USB konektoru by se měla rozsvítit vpravo umístěná zelená dioda D4 a počítač by měl oznámit připojení nového hardware.

Následně je možné postupovat stejně jako v části 5.2. Pokračuje se konfigurací komunikačního obvodu pomocí MCP2200 Configuration Utility podle Obrázek 34: Konfigurační nástroj pro MCP2200. Pokud povolíme Rx a Tx LED diody, obě žluté diody D5 a D6 by se měly rozsvítit.

Poté připojíme k desce konektor programátoru USBASP a změníme hodnoty tzv. pojistek mikrokontroléru pomocí již zmíněného příkazu

```
C:\avrdude\avrdude.exe -c usbasp -p atmega8 -B12 -U lfuse:w:0xFF:m -U hfuse:w:0xC9:m
```

Pokud vše proběhlo v pořádku, je možné nahrát do mikrokontroléru finální verzi programu pro odesílání naměřených hodnot. Nahrání je možné provést pomocí vývojového prostředí Atmel Studio. Po dokončení nahrávání by se měly probudit též diody D2 a D3 a informovat o stavu zařízení podle Tabulka 23. Stejně tak už by měla být funkční resetovací tlačítka SW1 a SW2.

Posledním krokem oživení modulu je otevření terminálového programu a otestování reakcí na všechny příkazy, které jsou vypsány v Tabulka 21.

7.4 Odhad nákladů na materiál pro výrobu měřicího modulu

Ceny všech nakupovaných položek byly v průběhu času zaznamenávány, aby bylo možné vytvořit tabulku s přehledem nákladů na materiál pro výrobu a aby bylo možné dospět k přibližné ceně za 1 kus.

Tabulka 26: Odhad nákladů na materiál

Položka	Cena za 8 kusů s DPH	Cena na 1 kus s DPH
Součástky	2 262,16 Kč	282,77 Kč
Senzor BME280	840,87 Kč	105,11 Kč
DPS včetně prototypu	2 440,00 Kč	305,00 Kč
Pájecí pasta	645,00 Kč	80,63 Kč
Izopropanol	312,00 Kč	39,00 Kč
Další náklady	180,00 Kč	22,50 Kč
Celkem	6 680,03 Kč	835,01 Kč

Tabulka nezahrnuje náklady na nářadí a další nástroje a přístroje použité při výrobě. Stejně tak nezmiňuje ani práci vynaloženou při výrobě měřicích modulů.

V tabulce je možné si všimnout výrazně nižší ceny senzorů BME280 v porovnání s původně předpokládanou cenou 290 Kč uvedenou v Tabulka 14: Parametry senzoru Bosch BME280 a to z toho důvodu, že se podařilo zakoupit 8 kusů nových senzorů ze zahraničí se zanedbatelnou cenou poštovního.

Značnou část celkových nákladů tvoří náklady za součástky včetně krabiček. Mezi nejdražší součástky patří komunikační obvod MCP2200 (64 Kč v GME), mikrokontrolér (55 Kč v GME), a krabička KP34 (54 Kč v GME).

V tubě pájecí pasty zůstala po výrobě jednoho prototypu a osmi sériových kusů více než polovina původního objemu pasty. Jedna tuba by tedy odhadem stačila na výrobu 16 kusů desek.

Další náklady v sobě zahrnují poštovné a různé drobné výdaje.

Výsledná odhadovaná cena za materiál na jeden kus je rovna 835,01 Kč. Pro porovnání: Nejlevnější z měřicích modulů třetích stran zmiňovaný v části TI HDC1080EVM4.3.4 je modul TI HDC1080EVM v ceně 773,63 Kč bez poštovního.

8 NÁVRH SOFTWARE PRO PC

Účelem této části je popsat navrhovaný software pro průmyslové počítače – terminály, který slouží ke komunikaci s měřicími moduly, zaznamenávání naměřených hodnot a jejich ukládání do lokální i vzdálené databáze. Software kromě toho disponuje ještě dodatečnými funkcionalitami popsány dále.

8.1 Souhrn požadavků na software

Kromě požadavků na software definovaných v zadání diplomové práce vznikly ještě dodatečné požadavky vyplývající z konkrétní plánované aplikace měřicího systému, tedy v hale Přístrojových transformátorů a senzorů ABB v Brně. Software byl navrhován tak, aby splňoval jak požadavky definované v zadání DP, tak i požadavky ABB.

Požadavky vyplývající ze zadání

- ukládání hodnot s časovými značkami do lokální databáze
- odesílání naměřených hodnot do vzdálené databáze
- přehledné zobrazování naměřených hodnot
- synchronizace hodin se vzdáleným zdrojem přesného času
- odesílání e-mailu v případě překročení mezí nebo poruchy senzoru

Další požadavky ABB

- chod programu na pozadí
- automatický bezobsluhový režim
- záznam poruch do databáze

Jak je tedy patrné, ABB definuje ještě další požadavky, které nejsou zmíněny v zadání, na druhou stranu některé z požadovaných funkcionalit zmíněných v zadání nevyžaduje (konkrétně ukládání do lokální databáze, synchronizaci hodin a odesílání emailů). Přesto byly implementovány i tyto funkce, které lze deaktivovat. Klíčovou funkcionalitou je ukládání dat do vzdálené databáze, na což budou navazovat další projekty, které už nejsou předmětem této diplomové práce.

Výrobní terminály jsou nastaveny tak, aby se po zapnutí spustil klient pro připojení k serveru vzdálené plochy. MES klient poté běží na vzdáleném serveru, nikoli na příslušném terminálu. Operátor výroby pracuje výhradně s MES klientem a je nepřípustné, aby bylo operátorovi přístupné rozhraní programu a aby program jakkoli narušoval běžný provoz. Je tedy třeba zajistit, aby se po startu operačního systému spouštěl taktéž program pro zaznamenávání hodnot ze senzoru, a to na pozadí. Kromě toho je třeba implementovat automatický bezobsluhový režim, který je schopen po připojení měřicího modulu automaticky navolit COM port a přenosovou rychlost. Tím se zamezí nutnosti přihlašovat se k administrátorskému účtu při změně konfigurace, což na několik minut po dobu servisního zásahu zabraňuje operátorovi pracovat s MES klientem.

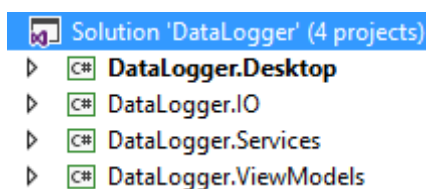
Všechny konfigurační parametry by taktéž měly být snadno přístupné v samostatném konfiguračním souboru.

8.2 Popis architektury SW

Software pro komunikaci s měřícím modulem byl realizován pomocí vývojového prostředí Microsoft Visual Studio 2015. Jako primární programovací jazyk byl zvolen C# - vysokoúrovňový objektově orientovaný programovací jazyk vycházející z C, který byl vyvinut společností Microsoft. Spolu s dalšími jazyky jako je Visual Basic .NET nebo F#, patří i C# k jazykům, které je možno zkompilovat do stejného jazyka CIL vzdáleně připomínajícího Assembler. Jazyk CIL je nezávislý na použitém procesoru a musí ještě projít další kompilací, na jejímž výstupu je teprve kód zpracovatelný pomocí příslušného procesoru. Pro spouštění aplikací navržených pomocí těchto programovacích jazyků je zapotřebí mít nainstalován tzv. .NET Framework v prostředí Windows. .NET Framework je standardní součástí novějších operačních systémů Windows, pro chod nejnovějších aplikací je ale třeba .NET Framework aktualizovat. Chod těchto aplikací je možný s určitými omezeními i v prostředí Linux, je ale potřeba dodatečných softwarových nástrojů.

Navržená aplikace vyžaduje ke své funkci .NET Framework 4.5.2, který není standardně dodáván s operačním systémem Windows 7 [35], běžícím na výrobních terminálech. Proto je potřeba software doinstalovat. Požadovaný .NET Framework lze snadno stáhnout z webu firmy Microsoft.

Samotná aplikace je rozdělena na 4 projekty:



Obrázek 49: Souhrn projektů

Celek se skládá z projektů, přičemž z každého projektu může po kompilaci vzniknout samostatná knihovna, případně spustitelný soubor, což je případem právě prvního projektu s grafickým uživatelským rozhraním. Projekt IO pak obsahuje třídu používanou aplikací pro sériovou komunikaci. Další projekt Services se zabývá přístupem k lokální i vzdálené databázi a synchronizací času. Čtvrtý projekt ViewModels obsahuje veškerou logiku aplikace.

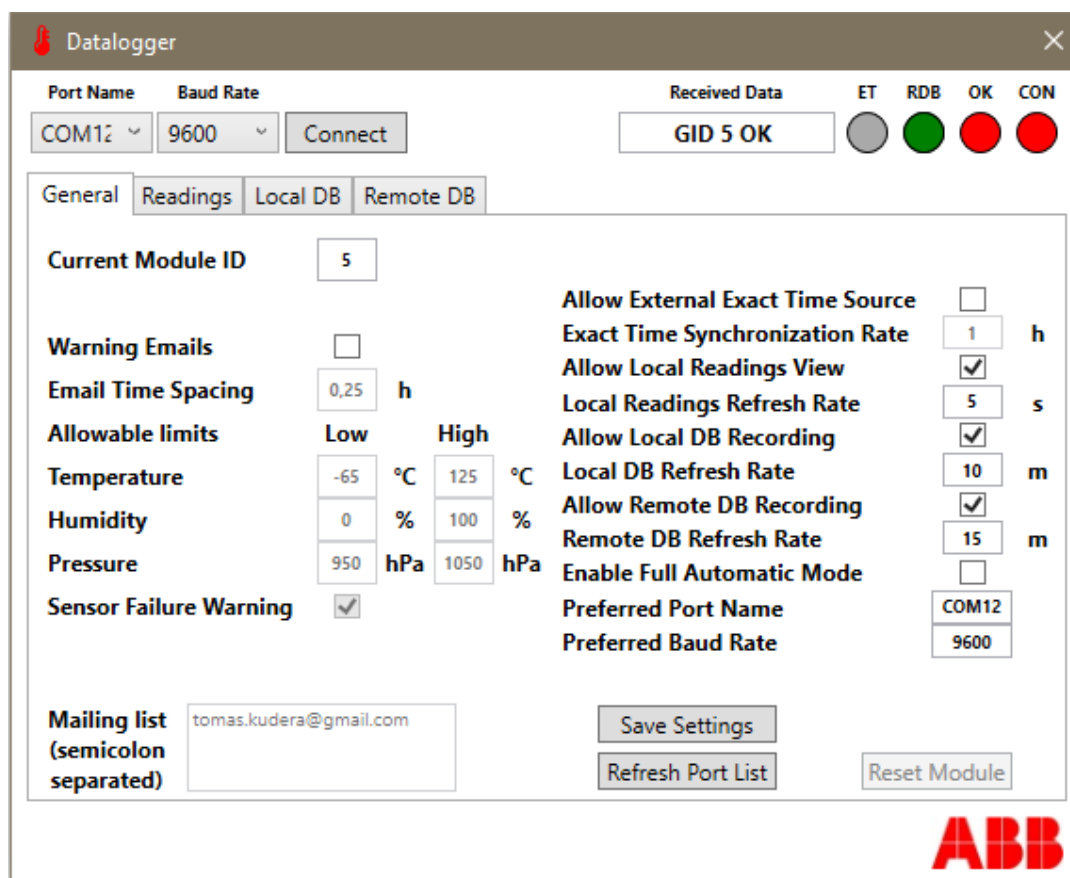
Grafické rozhraní aplikace je vytvořeno pomocí knihovny WPF, nástupce starších Windows Forms. WPF používá značkovací jazyk XAML, který zapadá do konceptu oddělení uživatelského rozhraní a logiky aplikace.

Aplikace využívá třídu *System.IO.Ports.SerialPort* [36] pro přístup k sériovým portům. Jedná se o třídu běžně zabudovanou v .NET Framework. Její výhodou je snadnost použití, odpadá nutnost pracovat se sériovými porty na nižších úrovních. Nevýhodou může být absence některých pokročilejších funkcionalit.

Pro přístup k databázím se v aplikaci používá Entity Framework, který umožňuje vysokoúrovňovou práci s databází. Programátor je používáním Entity Framework oprostěn od psaní SQL dotazů, místo toho může používat přímo jazyk C# , případně jazyk LINQ podobný SQL, který je určen k tvorbě dotazů. Při práci s Entity Framework je možné zvolit několik paradigmat. V případě, že databáze ještě neexistuje, je možné jednotlivé tabulky a relace mezi nimi definovat přímo v kódu (přístup Code first). Na základě toho se pak automaticky vytvoří příslušná databáze. Pokud už databáze existuje, je možné použít přístup Database first. Entity Framework pak z již existující databáze vytvoří všechny příslušné třídy včetně jejich relací, se kterými je pak možné v kódu pracovat. Výstupem je taktéž databázový model v grafické podobě, na kterém je možné ověřit si správnost importu všech tabulek, případně též procedur a funkcí.

8.2.1 Stavový řádek a hlavní konfigurační menu

Na následujícím obrázku je možné vidět základní menu, které se objeví po spuštění aplikace.



Obrázek 50: Základní konfigurační menu




V levé horní části okna se nachází rozbalovací seznam pro volbu sériového portu a přenosové rychlosti. Při spuštění aplikace jsou zjištěna jména všech dostupných sériových portů pomocí statické metody *SerialPort.GetPortNames()*. Seznam dostupných sériových portů je též možné manuálně aktualizovat pomocí tlačítka na obnovení seznamu portů, pokud je během chodu aplikace připojen nový modul. Aktualizace seznamu se provádí automaticky v případě použití automatického režimu, viz dále.

Seznam přenosových rychlostí je staticky definován a zahrnuje nejčastěji používané přenosové rychlosti 300, 1200, 2400, 4800, 9600, 19200, 38400, 57600, 115200, 230400, 460800 a 921600 Bd. Měřicí moduly jsou naprogramovány na rychlost 9600 Bd, je ale možné použít i vyšší, případně nižší rychlosti. Další parametry sériové komunikace jsou nastaveny staticky: používá se 8 datových bitů, 1 stop bit, parita ani řízení toku se nepoužívá.

V pravé horní části okna se pak nacházejí indikační prvky. První textové okno zobrazuje v textové formě data přijatá od měřícího modulu. Okno je možné využít při ladění, slouží pro kontrolu formátu přijatých dat.

Za textovým oknem pak následuje barevná indikace stavu jednotlivých bloků. Jednotlivé barvy a zkratky jsou vysvětleny v následující tabulce:

Tabulka 27: Vysvětlení stavového řádku

Zkratka	ET	RDB	OK	CON
	Synchronizace času se vzdál. serverem	Ukládání do vzdálené DB	Stav komunikace	Připojení k sériovému portu
	Synchronizováno	Probíhá	V pořádku	Připojeno
	Nesynchronizováno	Neprobíhá	Chyba při komunikaci	Nepřipojeno
	Deaktivováno	Deaktivováno	-	-

Počítač může obecně disponovat více než jedním sériovým portem a aplikace umožňuje připojit se k libovolnému dostupnému portu s jednou ze zvolených přenosových rychlostí. Po připojení k libovolnému portu se zeleně rozsvítí CON. To ale ještě není zárukou, že na druhé straně komunikačního kanálu je měřicí modul, který je navíc nastaven na stejnou přenosovou rychlost. Po připojení se proto vždy aplikace dotáže příkazem *GID* na ID připojeného modulu, přičemž odpověď modulu by mělo být zopakování příkazu *GID*, za nímž následuje ID modulu a řetězec *OK*. Stav komunikace je tedy prvotně vyhodnocen na základě této odpovědi. Každá další odpověď musí obsahovat řetězec *OK*, jinak je hlášena chyba při komunikaci.

Pokud uživatel neví, ke kterému portu je modul připojen, případně pokud nezná přenosovou rychlost, lze se připojit i bez zadání těchto údajů. Aplikace se pak pokouší automaticky připojit – zkouší všechny kombinace portů a přenosových rychlostí, přičemž pokaždé vyhodnocuje odpověď na příkaz *GID*.

Ukládání do vzdálené databáze je možné, pouze pokud je povoleno a pouze pokud je v konfiguračním souboru *App.config* uveden správný Connection String (řetězec v definovaném formátu obsahující přihlašovací údaje pro připojení k DB). Další podmínkou je, že ID modulu připojeného k PC se nachází v tabulce Module ve vzdálené databázi. Kontrolka může svítit zeleně i v případě, že modul v danou chvíli není připojen – v takovém případě se vyhodnocuje poslední připojené ID.

Podobně i synchronizaci času lze povolit či zakázat. V případě povolení se aplikace pokusí kontaktovat vzdálený server a získat z něj přesný čas. Pokud se to podaří, rozsvítí se zelená, v opačném případě je použit lokální čas a svítí červená. Více o synchronizaci času bude dále.

Pod hlavním řádkem, který je pevnou součástí okna se pak nachází jednotlivé záložky reprezentující základní funkcionality programu. V první záložce General je možné konfigurovat chování programu.

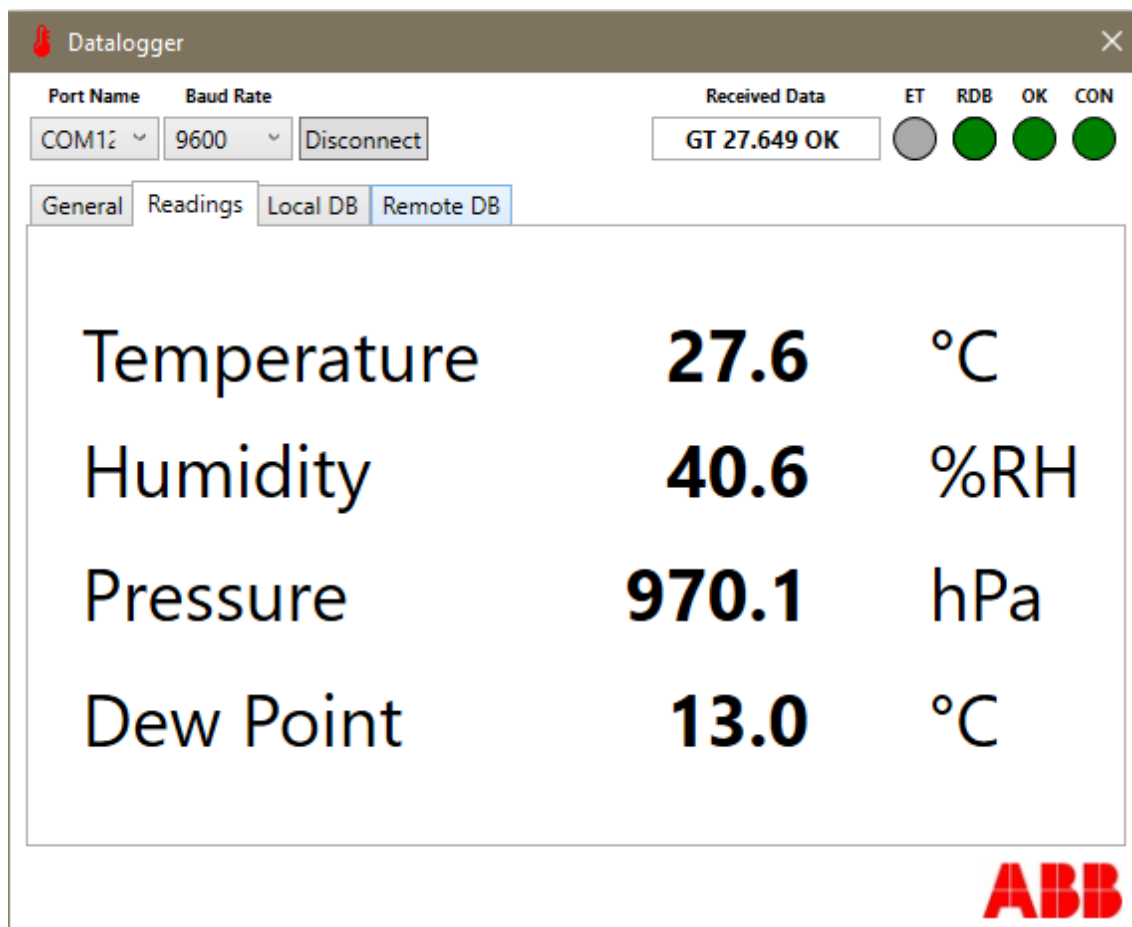
Prvním ze zobrazovaných parametrů je současné ID modulu, které se načte po připojení. ID je možné měnit, ale každou ze změn konfiguračních parametrů je třeba potvrdit tlačítkem k uložení nastavení. Nové ID se poté zapíše do modulu. Ostatní parametry se zapisují do konfiguračního souboru *App.config (Datalogger.Desktop.exe.config)* ve formátu XML. Aplikace je schopna pamatovat si ID posledního připojeného modulu, pro případ přerušení komunikace. Poslední připojené ID se pak spolu s časem chyby zapisuje do tabulky ErrorLog, případně je možné povolit odesílání varovných emailů, pro něž je také tento údaj potřeba.

V další části okna je pak možné nastavovat parametry související s odesíláním varovných emailů, případně emaily zcela deaktivovat. Důležitým parametrem je časový rozestup mezi emaily, jehož vhodným nastavením lze zabránit zahlcení emailové schránky varovnými emaily se stejnou chybou.

V pravé části okna je pak možné povolit či zakázat jednotlivé funkcionality aplikace. Vždy je taktéž nutné definovat časový interval, jak pro frekvenci synchronizace času, tak i pro obnovovací frekvence lokálních naměřených hodnot, lokální databáze a vzdálené databáze. Desetinné hodnoty je možné zadávat jak s desetinnou tečkou, tak i čárkou.

8.2.2 Aktuální naměřené hodnoty

Další záložka Readings po úspěšném připojení k modulu zobrazuje lokální naměřené hodnoty, které jsou obnovovány s frekvencí, kterou lze definovat v předchozí konfigurační záložce General. Doporučený rozestup mezi měřeními se pohybuje v intervalu 5 - 60 s. Pokud je zobrazování lokálního hodnot povoleno, zobrazují se též v příslušné záložce naměřené hodnoty.



Obrázek 51: Naměřené lokální hodnoty

Zobrazuje se teplota, vlhkost, atmosférický tlak a teplota rosného bodu. Naměřené hodnoty jsou zaokrouhleny běžným způsobem na jedno desetinné místo. První tři veličiny jsou získány přímo z měřicího modulu, rosný bod je vypočítán z teploty a vlhkosti pomocí běžně užívaného vzorce:

$$t_d = \frac{243,04 \left[\ln\left(\frac{RH}{100}\right) + \frac{17,625 t}{243,04 + t} \right]}{17,625 - \ln\left(\frac{RH}{100}\right) - \frac{17,625 t}{243,04 + t}} \quad (\text{rov. 3})$$

Vzorec slouží spíše pro orientační výpočet rosného bodu. Za předpokladu, že teplota se pohybuje v rozmezí 0 – 30 °C a rel. vlhkost v rozmezí 50 – 100 %, je přesnost vzorce lepší než ±1 °C. Mimo rozsah je nutné počítat se sníženou přesností [37].

8.2.3 Lokální databáze naměřených hodnot

V záložce Local DB je možné zobrazit si naměřené hodnoty uložené v lokální databázi. Naměřené hodnoty s časovými značkami se ukládají do souboru *LocalDb.mdf*, který se nachází ve stejné složce jako hlavní spustitelný soubor. Aby bylo možné s tímto souborem pracovat, je nutné mít nainstalovanou odlehčenou verzi SQL Serveru pro lokální použití s názvem *LocalDb*. Další informace k její instalaci jsou zmíněny v části 9.1.2.

V hlavní konfigurační záložce General lze definovat interval mezi zápisy do lokální databáze. Doporučená hodnota je 5 – 60 minut. Zápis do lokální databáze lze v případě potřeby zakázat úplně.

Pro zobrazení naměřených hodnot za určité období je pak třeba zadat časové rozmezí pomocí políček *Date From* a *Date To* a potvrdit pomocí *Show Records*.

The screenshot shows the 'Datalogger' application window. At the top, it displays 'Port Name' as COM12 and 'Baud Rate' as 9600. A 'Disconnect' button is visible. On the right, 'Received Data' shows 'GP 977.070 OK' and four status indicators (ET, RDB, OK, CON) with green circles. Below this are tabs for 'General', 'Readings', 'Local DB', and 'Remote DB'. The 'Local DB' tab is active, showing 'Date From' (29.03.2017 19:14:39) and 'Date To' (03.04.2017 19:14:39). Buttons for 'Show Records', 'Export', 'Delete All Records', and 'OK' are present. A table displays the following data:

ID	Date And Time	Temperature (°C)	Humidity (%)	Pressure (hPa)	Dew Point (°C)
11	01.04.17 08:54:48	21.8	47.1	972.3	10
12	01.04.17 08:54:54	21.8	46.2	972.3	9.7
13	01.04.17 08:55:00	21.8	46.3	972.4	9.8
14	01.04.17 08:55:06	21.9	46.1	972.3	9.8
15	01.04.17 10:16:19	22.5	43.8	972.3	9.6
16	01.04.17 10:16:25	22.6	43.4	972.3	9.5
17	01.04.17 11:50:59	24.1	42.8	971.8	10.7
18	01.04.17 11:51:05	24.2	42.0	971.8	10.5
19	01.04.17 11:51:13	24.3	41.7	971.8	10.5
20	01.04.17 11:51:19	24.4	41.4	971.8	10.4
21	01.04.17 14:28:34	27.7	40.8	970.0	13.2
22	01.04.17 14:28:34	27.8	40.0	969.1	13

The ABB logo is visible in the bottom right corner of the window.

Obrázek 52: Zobrazení hodnot uložených v lokální databázi

V tabulce je sice zobrazen i rosný bod, ten se ale neukládá do databáze, protože je funkcí teploty a vlhkosti, ze kterých je pro každou zobrazenou hodnotu vypočítán. Je třeba brát na vědomí, že v případě, že byly ve zvoleném časovém období naměřeny nové hodnoty, v tabulce se neobjeví, dokud nedojde k opětovnému kliknutí na *Show Records*.

I když bylo původně zvažováno zobrazování naměřených hodnot ve vlastním grafu, ukázalo se, že vhodnější je umožnit místo toho jen export dat do souboru kompatibilního s MS Excel, který poskytuje rozsáhlé možnosti práce s grafy. Zobrazenou tabulku je možné exportovat do souboru .csv pomocí tlačítka *Export*. Po kliknutí na něj se otevře standardní ukládací formulář. Vzniklé .csv soubory používají středník jako oddělovač a naměřené hodnoty jsou uloženy s desetinnou čárkou, což je přizpůsobeno MS Excelu nastavenému na české prostředí.

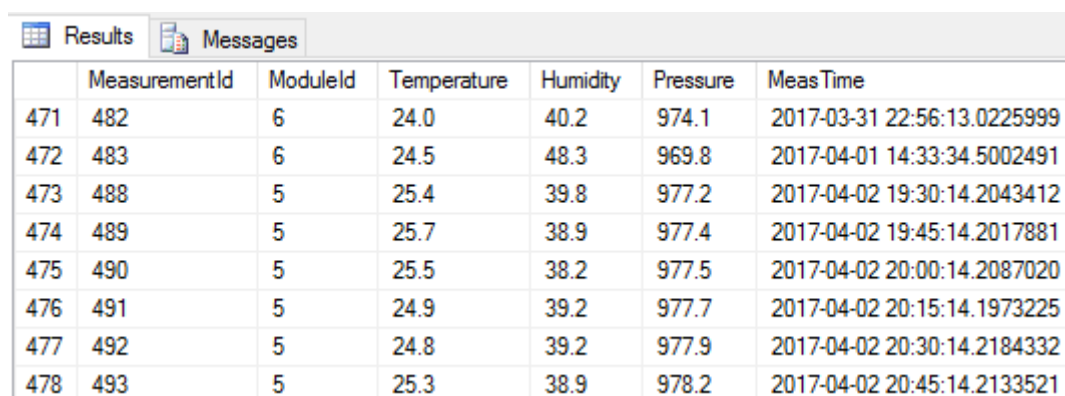
Všechny záznamy v databázi je taktéž možné smazat pomocí tlačítka *Delete All Records*.

8.2.4 Vzdálená databáze naměřených hodnot

Podobně jako v předchozích případech, v záložce *General* je možné definovat časový interval pro ukládání dat do vzdálené databáze včetně možnosti kompletní deaktivace. Aplikace umožňuje připojit se k databázovým serverům Microsoft SQL Server. Aby bylo možné připojit se k databázi, je potřeba do konfiguračního souboru *App.config* uložit přihlašovací údaje ve formě tzv. *Connection String*. Jedná se o delší řetězec, ve kterém jsou jednotlivé parametry pro připojení odděleny středníky. Obsáhlejší informace o těchto řetězcích je možné nalézt na webu MSDN společnosti Microsoft [38].

V souvislosti s připojením ke vzdálené databázi je třeba sledovat stav kontrolky RDB ve stavovém řádku. Ta je zelená, pouze pokud jsou správně zadány přístupové údaje, dále pokud nic nebrání v připojení k serveru a pokud se ID současného, případně posledního připojeného měřicího modulu nachází v tabulce *Module*. V případě, že jsou tyto podmínky splněny, z databáze se načte ID a název pracoviště, ke kterému je daný modul přiřazen. Ověřit si ID a název přiřazeného pracoviště je možné pod záložkou *Remote DB*, kde se tyto údaje zobrazují.

Funkčnost ukládání do vzdálené databáze je pak možné ověřit přímo zobrazením hodnot uložených v tabulce *Measurement*. Zobrazit uložené hodnoty je možné například pomocí nástroje Microsoft SQL Server Management Studio dodávaného k instalaci SQL Serveru.



	MeasurementId	ModuleId	Temperature	Humidity	Pressure	MeasTime
471	482	6	24.0	40.2	974.1	2017-03-31 22:56:13.0225999
472	483	6	24.5	48.3	969.8	2017-04-01 14:33:34.5002491
473	488	5	25.4	39.8	977.2	2017-04-02 19:30:14.2043412
474	489	5	25.7	38.9	977.4	2017-04-02 19:45:14.2017881
475	490	5	25.5	38.2	977.5	2017-04-02 20:00:14.2087020
476	491	5	24.9	39.2	977.7	2017-04-02 20:15:14.1973225
477	492	5	24.8	39.2	977.9	2017-04-02 20:30:14.2184332
478	493	5	25.3	38.9	978.2	2017-04-02 20:45:14.2133521

Obrázek 53: Výpis hodnot z centrální databáze

Na předchozím obrázku je možné vidět výpis naměřených hodnot z testování dvou různých senzorů. Při reálném provozu by byly v tabulce jiné hodnoty, především by se v případě více aktivních modulů postupně střídaly hodnoty *ModuleId*.

Ukládání hodnot do centrální databáze je nejdůležitějším bodem zadání z hlediska požadavků ABB, neboť další projekty navazující na tento budou pracovat s daty z této databáze.

Další z tabulek centrální databáze, kam se mohou zapisovat data je tabulka ErrorLog, která je koncipována tak, aby mohla zaznamenat více typů chyb. V době vzniku aplikace se počítalo s dvěma možnými chybami. Seznam chybových stavů se ale může dodatečně rozšiřovat.

První z chybových stavů je případ, kdy připojení k centrální databázi je funkční, ale k modulu se nelze připojit. V takovém případě pokaždé, kdy má dojít k záznamu naměřené hodnoty do tabulky Measurement, dojde místo toho k záznamu chyby do tabulky ErrorLog.

Druhou, méně závažnou chybou je stav, kdy je připojení k databázi i k modulu v pořádku, ale nedaří se synchronizovat čas se vzdáleným serverem. Může k němu dojít v případě výpadku podnikového připojení k internetu při zachování připojení k intranetu.

8.2.5 Synchronizace času

Funkci synchronizace času se vzdáleným zdrojem lze použít v případech, kdy se nechceme spoléhat na systémový čas v operačním systému. V dnešních dobách už je ale běžné, že čas, se kterým pracuje operační systém, je synchronizován se vzdáleným serverem, i když samozřejmě s omezenou přesností. Podmínkou synchronizace je v každém případě funkční připojení k internetu.

Jedním z protokolů umožňujících relativně přesnou synchronizaci času je protokol NTP. Zjednodušenou variantou je protokol SNTP. Oba protokoly používají stejný tvar paketu, rozdíl je v samotném programu na straně klienta, který v případě NTP implementuje další algoritmy pro zvýšení přesnosti. NTP servery se rozdělují do několika kategorií v závislosti na přesnosti. Po celém světě existuje velké množství volně dostupných NTP serverů, mezi nejznámější patří například servery Národního institutu standardů a technologie (NIST) v USA, své vlastní servery provozují i některé společnosti známé v českém prostředí, např. CZ.NIC, z.s.p.o. nebo CESNET z.s.p.o. Svůj vlastní NTP server nižší kategorie má dokonce i FEKT VUT v Brně [39]. Kromě toho existují projekty, které sdružují velké množství NTP serverů po celém světě, jako například NTP Pool Project. Využitím tzv. poolů odpadá nutnost definovat na straně klienta více adres NTP serverů pro případ výpadku některých z nich. Je možné používat jednu adresu pro celý pool. Systém je sám schopen vybrat vhodný server i v závislosti na lokalitě klienta tak, aby se minimalizovalo zpoždění.

V novějších operačních systémech Windows se pro synchronizaci času používá služba W32time používající protokol SNTP. Ta ale sama o sobě nezaručuje chybu nižší než 1 sekundu [40].

V aplikaci je pro účely práce se synchronizovaným časem vytvořena vlastní třída *AccurateDateTime*. Ta obsahuje jednu veřejnou časovou proměnnou s aktuálním časem a jednu veřejnou bitovou proměnnou, která dává informaci o tom, jestli je čas synchronizován. Čas je možné synchronizovat pomocí dalších dvou metod. V případě úspěšné synchronizace je bitová

proměnná nastavena na hodnotu *true*, v opačném případě na *false*. V případě, že je přístupováno k hodnotě časové proměnné, zjistí se nejprve, zdali je čas synchronizován. Pokud ano, vrací se hodnota synchronizovaného času, pokud ne, vrací se hodnota systémového času.

Při synchronizaci se aplikace pokouší připojit k již zmiňovanému NTP poolu pod adresou *pool.ntp.org*. Skrze tuto adresu dojde k nasměrování na některý z vhodných serverů v blízkosti, tedy buď server v ČR, nebo server v některé ze sousedních zemí. Aby bylo možné se ke vzdálenému serveru připojit, je nutné zajistit, aby byl UDP port 123, který NTP používá, povolen na firewallu. Maximální doba mezi odesláním požadavku a přijetím dat je nastavena na 2000 ms. Tato hodnota je zásadní pro další odhady přesnosti.

Stav synchronizace je vždy možné vidět v hlavním stavovém řádku aplikace. Pokud je synchronizace povolena, je stav zobrazován pomocí kontrolky *ET*. Synchronizaci času lze povolit či zakázat pomocí *Allow External Exact Time Source*. Dále je možné nastavit, jak často má docházet k synchronizaci. Hodnota v hodinách se zadává do pole *Exact Time Synchronization Rate*. Doporučený rozsah je od 1 hodiny do 48 hodin. Aplikace se pokusí o synchronizaci vždy po startu a následně vždy po uběhnutí zadané doby.

8.2.6 Odesílání emailů při překročení mezních hodnot

Možnost odesílání varovných emailů je jedním z dalších požadavků definovaných v zadání DP. Aplikace umožňuje odesílat varovné emaily ve dvou případech. Prvním z nich je případ, kdy není možné připojit se k měřicímu modulu. Druhým je případ, kdy dojde k překročení uživatelsky definovaných maximálních či minimálních hodnot teploty, vlhkosti nebo tlaku.

Dovolené rozsahy, ve kterých se hodnoty mohou pohybovat, je možné definovat v hlavním konfiguračním menu v záložce *General* (viz Obrázek 50). Tam je možné globálně povolit či zakázat odesílání varovných emailů, definovat minimální a maximální hodnoty rozsahů a případně také povolit varování i pro případ nepřipojeného měřicího modulu. Důležitým parametrem je *Email Time Spacing*, který definuje minimální časový interval mezi dvěma emaily. Emaily je možné odesílat na více adres, které je třeba oddělit středníkem.

Pokud jsou varovné emaily povoleny, vždy když má dojít k aktualizaci naměřených hodnot, kontroluje se, jestli už uplynula definovaná doba od odeslání posledního emailu. Naměřené hodnoty mohou být aktualizovány jak pro účely zobrazení lokálních hodnot, tak i pro zápis do databázi. Dále se může kontrolovat, zdali je modul připojen a zdali se naměřené hodnoty nacházejí v definovaných intervalech.

K samotnému odesílání emailů se používá známý emailový protokol SMTP, přičemž zprávy se šifrují pomocí SSL. Aby bylo možné zprávu odeslat, je třeba v konfiguračním souboru definovat přihlašovací údaje k SMTP serveru:

Tabulka 28: Parametry pro připojení k SMTP serveru

Parametr	Parametr v konfiguračním souboru	Příklad
Adresa SMTP serveru	SmtAddress	smtp.email.com
Port SMTP serveru	SmtPort	587
Uživatelské jméno	SmtUserName	user@email.com
Heslo	SmtPassword	UsersPassword123

Odesílané emaily jsou v textové formě, přičemž v úvodu emailu jsou vypsány problémy, které nastaly. Může se jednat buď o problém s připojením k modulu, případně překročení jednoho nebo více dovolených rozsahů hodnot. Následuje výpis aktuálních naměřených hodnot, na který navazuje výpis dovolených rozsahů. V závěru emailu je pak vypsáno ID posledního, případně aktuálního připojeného modulu a lokalita, na které je modul umístěn.

Dva příklady varovných emailů je možné vidět v následující tabulce:

Tabulka 29: Příklady varovných emailů

Problém s připojením k měřicímu modulu	Překročení jednoho z povolených rozsahů
<p>Warning: Following problems occurred: Connection error.</p> <p>Current Temperature: NaN °C Current Humidity: NaN %RH Current Pressure: NaN hPa Current Dew Point: NaN °C</p> <p>Temperature Low: 5°C Temperature High: 35°C Humidity Low: 20 %RH Humidity High: 42 %RH Pressure Low: 900 hPa Pressure High: 1100 hPa</p> <p>Module ID: 2 Location: 7 - VT Navijárna Date: 07.04.2017 17:39:06</p>	<p>Warning: Following problems occurred: Humidity out of limits.</p> <p>Current Temperature: 21,5 °C Current Humidity: 43,9 %RH Current Pressure: 975,2 hPa Current Dew Point: 8,7 °C</p> <p>Temperature Low: 5°C Temperature High: 35°C Humidity Low: 20 %RH Humidity High: 42 %RH Pressure Low: 900 hPa Pressure High: 1100 hPa</p> <p>Module ID: 2 Location: 7 - VT Navijárna Date: 07.04.2017 17:40:06</p>

Z obsahu prvního emailu lze vyčíst, že se nelze připojit k měřicímu modulu. Proto také nejsou naměřeny žádné hodnoty (NaN – Not A Number). Poslední spojení bylo navázáno s modulem, který měl ID 2. Tento modul je v databázi přiřazen k pracovišti s ID 7 a názvem *VT Navijárna*. V druhém případě je připojení k modulu v pořádku, ale došlo k překročení dovoleného rozsahu vlhkosti, který byl od 20% do 42%. Naměřená hodnota byla 43,9%.

8.2.7 Automatický režim

Požadavek na implementaci automatického režimu vyplývá z charakteru provozu měřicího systému. Jak už bylo zmíněno, program na zaznamenávání dat musí být schopen běhu na pozadí. Mimo to je třeba zajistit, aby byl pravidelně kontrolován stav připojení a seznam dostupných sériových portů. Po připojení měřicího modulu k počítači musí být program schopen bez jakékoli obsluhy se s ním sám během určeného časového intervalu spojit.

Pokud je automatický režim povolen (*Enable Full Automatic Mode*), každých 5 vteřin probíhá kontrola, zdali je připojení ke COM portu aktivní (stav CON) a zdali je na druhé straně měřicí modul (stav OK). Pokud připojení není aktivní, program se pokusí sám připojit k preferovanému portu preferovanou rychlostí. Tyto dva parametry může uživatel zadat do polí *Preferred Port Name* a *Preferred Baud Rate*. Po každém úspěšném připojení se do těchto polí uloží oba parametry.

V případě, že není možné se připojit k preferovanému portu, program se začne pokoušet postupně se připojit ke všem dostupným sériovým portům (jejichž aktuální seznam průběžně získává od OS), přičemž vyzkouší všechny přenosové rychlosti v seznamu. Vždy po otevření sériového portu se odešle příkaz *GID* a následně se posuzuje odpověď. Připojování končí ve chvíli, kdy program obdrží od modulu správnou odpověď obsahující *GID* a *OK*.

V případě běhu programu na pozadí je možné sledovat proces automatického připojování i na indikačních diodách měřicího modulu. V průběhu procesu při zkoušení různých přenosových rychlostí bliká žlutá dioda *Rx*. Ve chvíli, kdy je zvolena správná přenosová rychlost, dojde k rozpoznání příkazu *GID* modulem, který vzápětí odpoví, což se projeví jako bliknutí diody *Tx*. Při každém následujícím čtení naměřených hodnot probliknou obě diody.

9 ZPROVOZNĚNÍ A TESTOVÁNÍ KOMPONENTŮ MĚŘÍČÍHO SYSTÉMU

Tato závěrečná část se dělí na další dvě méně spolu související části, přičemž první z nich se zabývá popisem dalších postupů, které je třeba následovat pro finální zprovoznění měřicího systému v konkrétních podmínkách v hale Přístrojových transformátorů a senzorů ABB v Brně. Zejména se jedná o softwarovou přípravu průmyslových počítačů na běh aplikace pro záznam dat z měřicího modulu. Druhá část je pak zaměřena jak na testování samotných měřících modulů, tak i na testování běhu aplikace pro záznam dat.

9.1 Příprava průmyslového PC pro běh aplikace

9.1.1 Specifikace průmyslového PC

Firma ABB poskytla v závěrečné části práce na DP pro účely testování jeden z průmyslových počítačů, které se používají ve výrobní hale. Průmyslové počítače používané v hale Přístrojových transformátorů a senzorů jsou dodávány firmou ELVAC a.s. sídlící v Ostravě. Parametry zapůjčeného průmyslového PC jsou shrnuty v následujících bodech [41] :

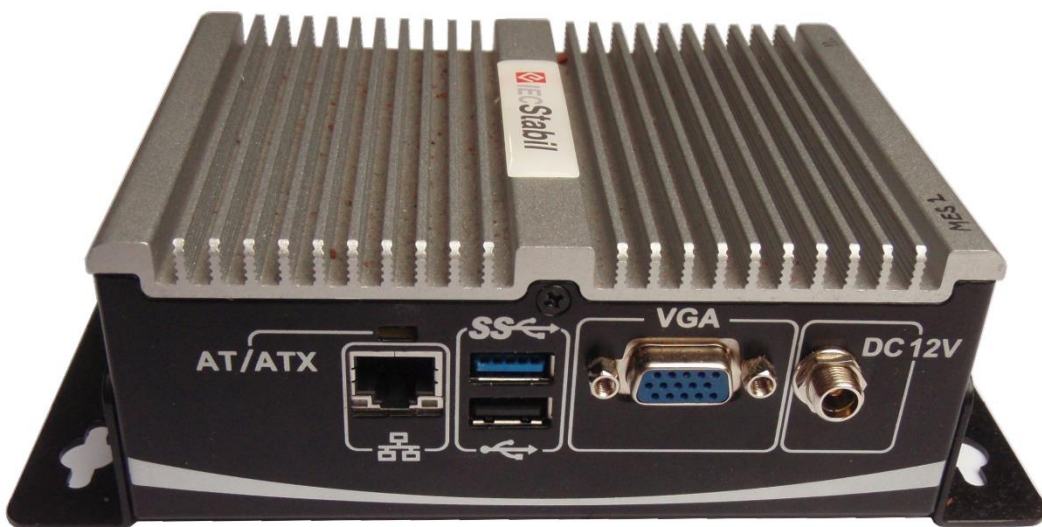
- bezventilátorové řešení
- Intel Bay Trail N2930 1.83 GHz procesor
- VESA standard na obou stranách pro montáž k monitoru
- paměť 2GB DDR3L SO-DIMM (max. 8 GB)
- Vstupy a výstupy: VGA, 3xUSB, 1xUSB 3.0, 1xRS-232, 1xRS422/485, 1xGbE
- 80 GB SSD
- nízká spotřeba do 20W
- pracovní teplota 0 ~ 50°C
- Váha: 0,5 kg, rozměry: 147 x 132 x 45mm
- IEI One Key Recovery Solution: zálohovací systém, který poskytuje uživateli obnovu i zálohu OS
- OS MS Windows 7 Embedded, volitelně jiný OS
- včetně zahoření, otestování a konfigurace PC
- možnost rozšíření záruky z 2 až na 5 let
- možnost Servisu ON SITE a NON STOP

Tyto počítače jsou konstruovány přímo pro použití v průmyslovém prostředí se zaměřením na odolnost vůči teplotě, vibracím a prachu. Výhodou jsou též malé rozměry a snadná montáž. Přední a zadní pohled na zapůjčený počítač je možné vidět na následujících obrázcích.



Obrázek 54: Přední pohled na PC UIBX-230

Přední strana disponuje dvěma USB 2.0 porty, jedním RS232 portem a konektory 3,5 mm jack pro případné reproduktory a mikrofon.



Obrázek 55: Zadní pohled na PC UIBX-230

Na zadní straně PC se nachází konektor pro Ethernetový kabel (až 1Gbit/s), jeden USB 3.0 konektor, jeden USB 2.0 konektor, VGA konektor pro monitor a konektor pro napájecí zdroj. Standardně jsou u těchto počítačů ve výrobní hale ABB obsazeny 2 USB kabely, jeden pro vstup z dotykové obrazovky, druhý pro vstup z čtečky čárových kódů.


9.1.2 Příprava operačního systému

Počítač UIBX-230 disponuje operačním systémem Windows 7 Embedded ve 32 bitové verzi. Distributoři počítačů s verzí Embedded mohou sami volit systémové části, které budou součástí předinstalovaného operačního systému pro zákazníka. Vlivem toho mohou některé systémové části běžné dostupné v jiných verzích Windows 7 chybět. Stejně tak je ale možné do systému zabudovat i další části, které nejsou v běžných verzích Windows běžné.

Poskytnutý počítač nebyl běžně používán a v době převzetí na něm nebyly nainstalovány žádné aktualizace vyjma balíčku Service Pack 1.

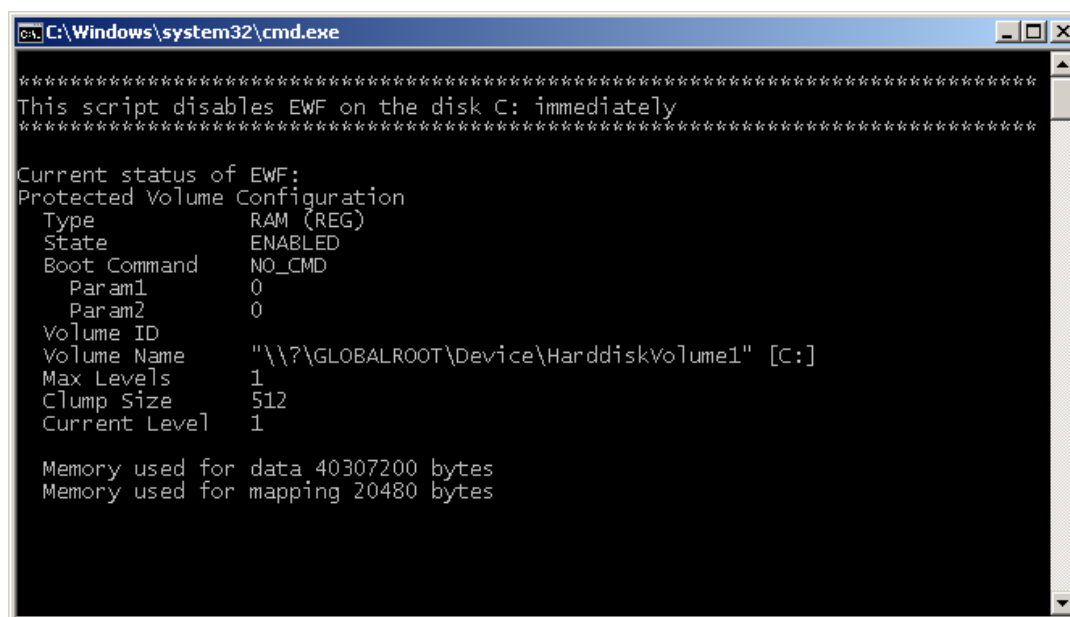
EWF

PC bylo dodáno s povoleným EWF, což je filtr zápisu na disk, který v tomto konkrétním případě funguje tak, že jakékoli změny (nové soubory, aktualizace) zapisuje do operační paměti místo pevného disku. Po restartování PC byly všechny změny včetně systémových aktualizací ztraceny.

Název položky ^	Datum změny	Typ	Velikost
 ewf_disable	18.11.2008 11:42	Dávkový soubor sy...	2 kB
 ewf_enable	7.8.2007 17:31	Dávkový soubor sy...	2 kB
 ewf_flush	7.8.2007 16:42	Dávkový soubor sy...	1 kB
 ewf_status	7.8.2007 17:13	Dávkový soubor sy...	1 kB
 WES7 EWF reini	26.10.2015 9:38	Příkazový skript sys...	1 kB

Obrázek 56: Obsah složky C:\EWF

Tuto funkcionalitu je možné povolit či zakázat pomocí dávkových souborů umístěných ve složce EWF na disku C.



```
C:\Windows\system32\cmd.exe
*****
This script disables EWF on the disk C: immediately
*****
Current status of EWF:
Protected Volume Configuration
Type          RAM (REG)
State         ENABLED
Boot Command  NO_CMD
  Param1      0
  Param2      0
Volume ID
Volume Name   "\\?\GLOBALROOT\Device\HarddiskVolume1" [C:]
Max Levels   1
Clump Size   512
Current Level 1

Memory used for data 40307200 bytes
Memory used for mapping 20480 bytes
```

Obrázek 57: Deaktivace EWF pomocí ewf_disable

Aktualizace systému

Po zakázání EWF bylo možné přikročit k aktualizování systému. Této části postupu je zde věnována menší pozornost, protože všechny ostatní počítače, které jsou denně používány v hale ABB, se samy pravidelně aktualizují. Vyhledání a stažení aktualizací u tohoto počítače nebylo možné provést hned zpočátku plně automaticky. Důvodem je to, že postupem času došlo i k aktualizování samotného programu Windows Update. Ten už ve své starší verzi není schopen ani vyhledání a stažení aktualizace sama sebe. Proto je nutné z webu společnosti Microsoft nejdříve stáhnout a nainstalovat aktualizace KB3020369 a KB3172605 pro 32 bitový Windows 7.

.NET Framework

Aby bylo možné spustit program pro záznam naměřených hodnot, je potřeba mít nainstalován dostatečně aktuální .NET Framework. Na počítači byl nainstalován .NET Framework 3.5., na němž aplikaci nelze spustit. Bylo tedy třeba stáhnout instalátor .NET Framework 4.5.2. Microsoft nabízí jak zmenšený instalátor, který data stahuje z internetu, tak i instalátor pro počítače bez připojení k internetu.

Ovladače pro měřící modul

Operační systém musí být schopen rozpoznat komunikační modul MCP2200, který slouží jako USB/UART převodník a v počítači vytváří virtuální sériový port. Protože už je v dnešních dobách instalace ovladačů mnohem snazší než dříve (ovladače pro obvyklá zařízení se samy instalují z internetu), očekávalo se, že po připojení měřícího modulu k PC se ovladač sám stáhne a nainstaluje. Bohužel k tomu nedošlo a bylo třeba věnovat značný čas hledání příčiny problému. Prvním krokem bylo stažení ovladačů poskytnutých výrobcem z jeho webu. Ani s tímto ovladačem nebyla komunikace s modulem funkční. Ukázalo se, že v souboru *mchpcdc.inf* obsahujícím instalační informace se nachází reference na další soubory, které jsou vyžadovány k funkci zařízení. Konkrétně se jednalo o soubory *mdmcpq.inf* a *usbser.sys*. Tyto soubory se běžně nacházejí ve standardních verzích Windows 7, ale v této konkrétní instalaci Windows 7 Embedded nebyly přítomny. Soubory bylo potřeba extrahovat z instalačního média Windows 7 jiné edice. Kromě toho bylo potřeba ještě dohledat závislosti souboru *mdmcpq.inf* a nainstalovat všechny ovladače dohromady. Poté už bylo zařízení úspěšně rozpoznáno a do systému byl přidán nový COM port. Všechny potřebné soubory byly přidány do složky s instalátorem ovladačů pro MCP2200, který instaluje všechny *inf* soubory, které se nachází ve stejné složce. Instalátor ovladačů se všemi *inf* soubory se nachází na CD přiloženém k DP.

SQL Server Express LocalDb

Pokud je vyžadován také záznam do lokální databáze, nestačí aplikaci poskytnout databázový soubor *mdf*. Je potřeba nainstalovat velmi odlehčenou verzi Microsoft SQL Serveru, která se jednoduše nazývá LocalDB. V případě povolení záznamu do lokální databáze se pak automaticky na pozadí spustí proces SQL serveru, který pracuje s příslušným *mdf* souborem. Nejvyšší verze LocalDB, kterou bylo možné na PC nainstalovat je verze 2014 pro 32 bitů. Instalátor o velikost 37 MB je možné stáhnout z webu společnosti Microsoft. Mimo to je instalátor umístěn spolu s dalším potřebným software na příloženém CD. Novější verze LocalDB 2016 již není podporována operačním systémem Windows 7. Původní *mdf* soubor pro záznam byl vytvořen právě pomocí SQL Serveru verze 2016, a starší SQL Server s ním není schopen pracovat. Z toho důvodu bylo potřeba vytvořit jiný *mdf* soubor kompatibilní s verzí 2014.

Spouštění aplikace pro záznam dat po startu

Průmyslové počítače jsou do ABB dodávány s již předinstalovaným software VMware View pro přístup ke vzdálené ploše, na které běží MES klient. Tento software se spouští po startu systému. V případě, že dojde k takové chybě, že se aplikace ukončí, dojde k jejímu opětovnému spuštění. Toto zajišťuje program *Loader.exe* běžící na pozadí, který dodala firma ELVAC. Program se nachází ve složce *C:\ELVAC* a konfiguruje se pomocí souboru *Loader.ini*, kde se mimo jiné uvádí i cesta k automaticky spouštěnému souboru. Aby bylo možné spouštět dva různé programy najednou, je třeba upravit program *Loader.exe* tak, aby z konfiguračního souboru načítal kromě cesty k VMware View také cestu k aplikaci pro záznam dat a obě aplikace spouštěl. V této záležitosti byl vznesen požadavek na úpravu programu *Loader.exe* firmou ELVAC.

9.2 Testování komponentů měřicího systému

V této části jsou uvedeny výsledky testů a měření na jednotlivých komponentech měřicího systému.

9.2.1 Srovnání naměřených hodnot všech osmi modulů

Toto měření bylo provedeno za následujících podmínek: Všech osm vyrobených měřících modulů bylo umístěno na jedno místo co nejbližší k sobě. K počítači byl postupně připojován jeden po druhém. Z každého měřicího modulu bylo zaznamenáno 10 po sobě následujících měření teploty, vlhkosti a tlaku. Pro každý modul pak byl vypočítán aritmetický průměr z deseti zaznamenaných měření. Z toho důvodu se pracuje s hodnotami s dvěma desetinnými místy.

Cílem tohoto měření nebylo zjištění skutečných hodnot teploty, vlhkosti a tlaku (a tedy i nejistot měření), ale ověření, zdali odchylka naměřených hodnot u některé z dvojic modulů nepřesahuje výrobcem definované intervaly absolutních chyb.

Měření je orientační a slouží pouze k ověření základní schopnosti naměřit přibližně stejné hodnoty za stejných podmínek. Senzor je v podstatě srovnáván sám se sebou. Pro důkladnější ověření by bylo zapotřebí provést toto měření vícekrát v různých prostředích s odlišnými hodnotami teploty, vlhkosti a tlaku a mít též k dispozici vhodnou referenční měřidlo. Porovnání hodnot s referenčním měřidlem je po plánovaném dodání měřících modulů v červnu 2017 schopna provést sama firma ABB, která disponuje dostatečně přesným zkalibrovaným měřidlem.

Tabulka 30: Srovnání naměřených hodnot osmi vyrobených modulů

ID	1	2	3	4	5	6	7	8
T (°C)	21,57	20,77	21,01	20,80	20,79	20,52	20,50	20,53
RH (%)	50,36	51,47	52,07	50,66	51,58	51,28	54,87	54,83
p (hPa)	973,00	972,13	972,76	972,08	972,40	972,74	972,47	972,30

Pokud vypočítáme pro každou z měřených veličin rozdíl mezi maximální a minimální hodnotou, výsledek by neměl přesahovat výrobcem udávané absolutní chyby.

Z údajů senzoru Bosch BME 280 uvedených v katalogovém listu lze vyčíst výrobcem udávané absolutní chyby pro teplotu, tlak a vlhkost:

Tabulka 31: Udávané hodnoty přesnosti senzoru BME 280 [16]

Měření teploty	Přesnost	± 1 °C (typ.) v rozsahu 0 °C až +65 °C
	Rozsah	-40 až +85 °C
Měření vlhkosti	Přesnost	± 3 %RH (typ.) v rozsahu 20 %RH až 80 %RH
	Rozsah	0 až 100 %RH
Měření tlaku	Přesnost	± 1 hPa (typ.) v rozsahu 300 až 1100 hPa
	Rozsah	300 až 1100 hPa

Z těchto hodnot již lze získat dovolený maximální rozdíl naměřených hodnot při měření za stejných podmínek dvěma různými senzory Bosch BME 280. Ten je roven dvojnásobku absolutní hodnoty absolutní chyby.

Tabulka 32: Porovnání rozdílů max. a min. hodnot s dovoleným rozdílem

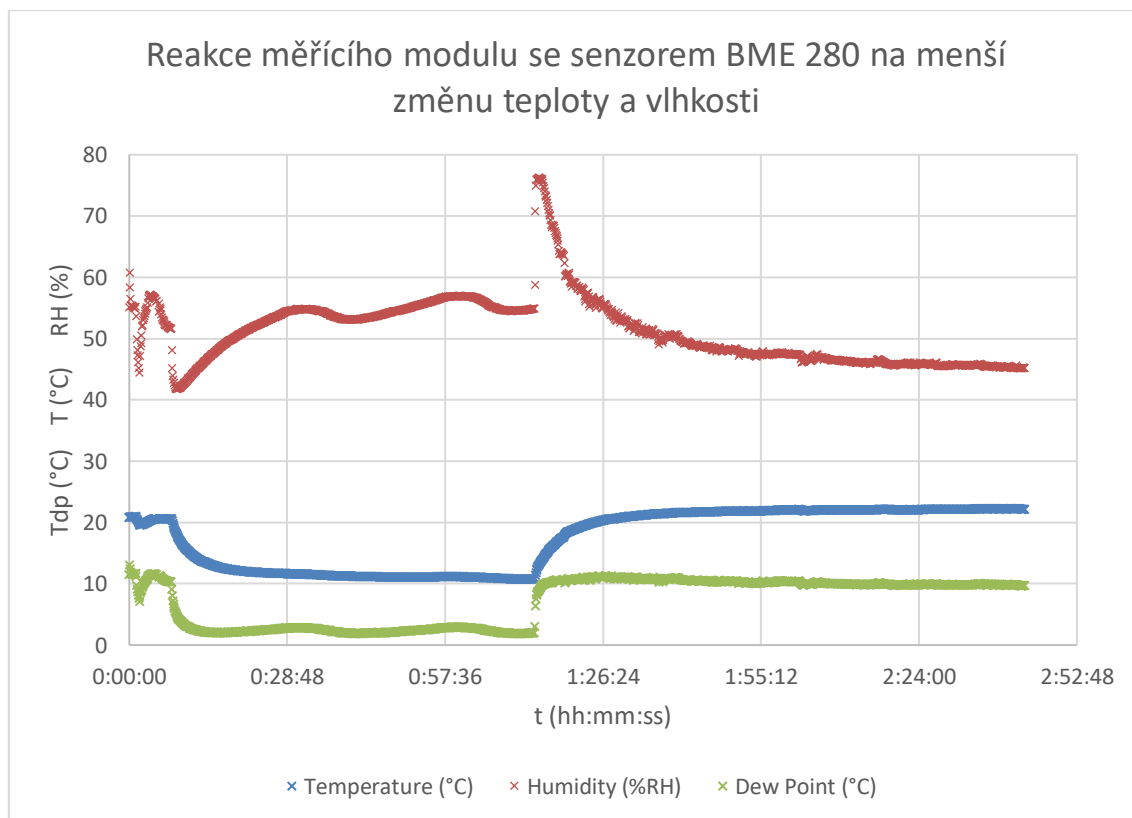
	Max. naměřená	Min. naměřená	Rozdíl	Max. rozdíl
T (°C)	21,57	20,50	1,07	2,00
RH (%)	54,87	50,36	4,51	6,00
p (hPa)	973,00	972,08	0,92	2,00

Z předchozí tabulky vyplývá, že u žádné z veličin nedošlo k překročení maximálního rozdílu vyplývajícího z absolutní chyby definované výrobcem.

9.2.2 Doba reakce na rychlou změnu teploty a vlhkosti

Pro získání povědomí o dynamických vlastnostech měřicího modulu je dobré provést orientační měření doby reakce na náhlou změnu teploty a vlhkosti. Je k tomu zapotřebí prostor s jinou než pokojovou teplotou, kam by bylo možné senzor umístit a sledovat měnící se výstupní hodnoty. V případě absence profesionálních přístrojů, které jsou schopny udržovat teplotu v daných mezích, je možné použít i standardní chladničku či mrazničku.

Dynamické vlastnosti měřicího modulu byly zkoumány při dvou měřeních. Nejprve byl měřicí modul vložen z prostředí o pokojové teplotě do chladničky a po dostatečném ustálení naměřených hodnot byl vyjmut ven. Přitom byly celou dobu každých 6 sekund zaznamenávány naměřené hodnoty do lokální databáze. Soubory s naměřenými hodnotami je možné nalézt na CD přiloženém k DP. Zpracované naměřené hodnoty je možné vidět v následujících grafech.



Obrázek 58: Reakce měřicího modulu na menší změny teploty a vlhkosti

K vložení senzoru do chladničky došlo v čase 00:07:42. Deska modulu byla vložena do ochranného kartonového obalu s výřezem pro senzor. Naměřené hodnoty se začaly měnit okamžitě po vložení, z čehož lze usuzovat, že dopravní zpoždění je zanedbatelné. Na průběhu teploty je možné vidět typický přechodový děj prvního řádu s poměrně velkou časovou konstantou. Po vložení měřicího modulu do chladničky došlo k prudkému snížení naměřené hodnoty vlhkosti, která poté začala pomalu stoupat. V čase 01:13:54 pak došlo k vyjmutí modulu z chladničky, což bylo u teploty provázeno opět stejným přechodovým dějem. U vlhkosti došlo

k rychlému a prudkému zvýšení, pro jehož lepší zaznamenání nebyla vzorkovací frekvence dostatečná. Z grafu vyplývá, že v okamžiku vyjmutí měřicího modulu došlo k částečné kondenzaci na jeho povrchu. Atmosférický tlak nebyl do grafu vyneseno, protože se po dobu měření měnil jen minimálně.

Z naměřených hodnot je možné určit časové konstanty měření teploty a vlhkosti. Je k tomu možné použít standardního postupu, kdy hledáme takovou hodnotu teploty, která je rovna 0,63 ustálené hodnoty. Pro tuto funkční hodnotu času pak nalezneme odpovídající čas, ve kterém byla tato hodnota naměřena. V tomto konkrétním případě je možné použít následující rovnici, přičemž za T_0 se dosadí teplota před vyjmutím modulu z chladničky a za T_∞ pak ustálená hodnota pokojové teploty.

$$T_\tau = 0,63(T_\infty - T_0) + T_0 \quad (\text{rov. 4})$$

Po dosazení do vzorce tedy získáváme:

$$T_\tau = 0,63(22,0 - 10,7) + 10,7 = 17,819 \text{ }^\circ\text{C}$$

V naměřených hodnotách nalezneme nejbližší hodnotu teploty a odečteme čas, ve kterém byla zaznamenána. Nejbližší hodnota 17,8 °C byla zaznamenána v čase 1:19:24. Tento čas odečteme od času vyjmutí modulu z chladničky (01:13:54). Výsledkem je 5 minut a 30 sekund, tedy $\tau_T = 330$ s.

Podobný postup lze použít pro relativní vlhkost. Do vzorce dosazujeme místo teplot hodnoty vlhkosti:

$$RH_\tau = 0,63(45,2 - 76,3) + 76,3 = 56,707 \text{ } \%$$

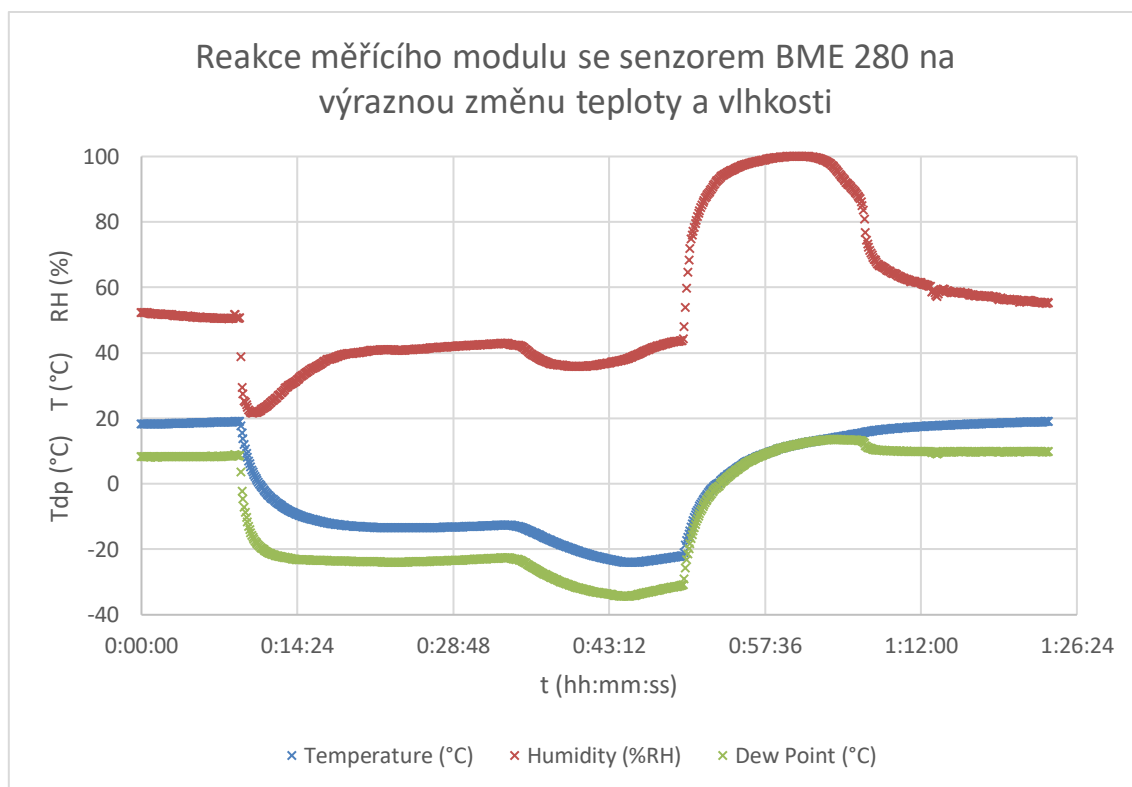
Drobnou změnou oproti předchozímu je to, že za hodnotu H_0 je dosazena maximální naměřená hodnota vlhkosti. Trvalo totiž ještě 54 sekund, než po vyjmutí modulu vlhkost vystoupala na 76,3 %. Poté se začala snižovat podle typického průběhu přechodového děje. Hodnotě 76,3% odpovídá čas 1:14:48, který se v tomto případě uvažuje jako začátek přechodového děje.

Výsledné hodnoty RH_τ bylo poprvé dosaženo v čase 1:23:01. Opakováním předchozího postupu získáváme časovou konstantu rovnou 8 minutám a 13 sekundám, tedy $\tau_{RH} = 493$ s.

Z předchozího lze usoudit, že hodnoty časových konstant jsou poměrně velké a měřicí modul proto nelze doporučit pro měření rychlých změn teplot a vlhkostí. Měřicí modul je ale přesto poměrně dobře použitelný pro prostředí, kde se hodnoty teploty a vlhkosti mění maximálně o jednotky stupňů a procent během 15 minutového intervalu mezi dvěma měřeními, což je právě prostředí výrobní haly ABB. Menších hodnot časových konstant by pravděpodobně bylo možné dosáhnout použitím delších a užších propojovacích vodičů mezi senzorem a deskou modulu. Za

současného stavu je totiž deska senzoru poměrně pevně spojena s větší deskou modulu, což může výrazně zvyšovat její tepelnou kapacitu.

Při druhém měření dynamických vlastností byl modul vložen přímo do mrazničky, teplotní skok byl tedy značně větší než v prvním případě. Vše další zůstalo shodné s prvním měřením: ukládání dat každých 6 sekund i postup měření.



Obrázek 59: Reakce měřicího modulu na výraznější změny teploty a vlhkosti

Modul byl vložen do mrazničky v čase 0:09:08 v kartonovém obalu s výřezem pro senzor. Opět je možné pozorovat postupné snižování teploty připomínající přechodový děj prvního řádu. Vlhkost se po vložení do mrazničky prudce snížila a poté se začala pomalu zvyšovat. Přibližně ve 34. minutě došlo ke spuštění kompresoru a dalšímu, tentokrát postupnému ochlazení. Několik minut po vypnutí kompresoru byl v čase 00:50:02 modul vyjmut z mrazničky. Následovalo postupné zvyšování naměřené teploty podle typického průběhu. Hodnota vlhkosti začala prudce stoupat, z grafu je patrné, že na desce plošných spojů došlo ke kondenzaci, teplota rosného bodu se téměř rovnala naměřené teplotě. Po dobu přibližně 10 minut byla naměřená vlhkost vyšší než 95%, než se začala postupně snižovat.

9.2.3 Testování podporovaných přenosových rychlostí měřicího modulu

Měřicí modul byl také testován za účelem zjištění přenosových rychlostí, na kterých je schopen pracovat. Aby bylo možné změnit přenosovou rychlost modulu z výchozích 9600 Bd, je třeba provést dvě změny: upravit přenosovou rychlost komunikačního obvodu MCP2200 a stejně tak i mikrokontroléru. Kromě použití programu MCP2200 Configuration Utility je potřeba připojit i programátor USB ASP k desce modulu a znovu nahrát software mikrokontroléru s upravenou přenosovou rychlostí. Postup pro provedení těchto úkonů je zmíněn v části 5.2. Následující tabulka zobrazuje výsledky testování různých přenosových rychlostí. Všechny následující přenosové rychlosti jsou podporovány jak obvodem MCP2200, tak i programem pro záznam dat.

Tabulka 33: Podporované přenosové rychlosti měřicího modulu

Přenosová rychlost (Bd)	2400	4800	9600	19200	38400
Výsledek	✓	✓	✓	✓	✓
Přenosová rychlost (Bd)	57600	115200	230400	460800	921600
Výsledek	✓	✓*	✗	✗	✗

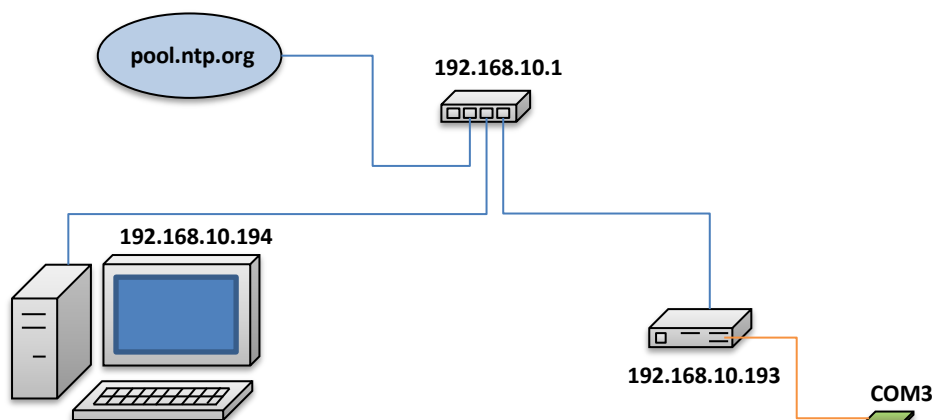
Měření všech přenosových rychlostí bylo provedeno na prototypu a na jednom z osmi vyrobených modulů pro ABB. Oba moduly se v tomto ohledu chovaly stejně a nic nenasvědčovalo tomu, že by se podporované rychlosti u dalších modulů měly lišit. V případě rychlosti 115200 Bd bylo potřeba provést další změny v kódu, konkrétně zadat přenosovou rychlost 57600 a povolit mód dvojnásobné rychlosti.

Mimo jiné byly úspěšně otestovány i hodnoty 300 a 1200 Bd, ale pouze přes komunikační terminál, protože jsou pro záznamovou aplikaci příliš pomalé.

9.2.4 Testování zatížení CPU a paměti při běhu aplikace na průmyslovém PC

Pro testování zatížení CPU a využití paměti bylo potřeba připravit takové podmínky, aby byla využita většina funkcionalit, které aplikace nabízí. Znamenalo to tedy nutnost zprovoznit jak zápis do lokální databáze, tak i do databáze vzdálené. Pro zprovoznění zápisu do lokální databáze bylo potřeba nainstalovat již zmíněnou LocalDB verzi SQL Serveru 2014. Složitější bylo zprovoznění zápisu do vzdálené (centrální) databáze. Tentokrát již nebyl instalován další lokální SQL Server, který by suploval funkci vzdáleného serveru. Počítač byl připojen do lokální LAN sítě, ke které byl taktéž připojen druhý PC s již existující instalací SQL Serveru, na kterém probíhal vývoj aplikace a centrální databáze. Po povolení vzdálených připojení a udělení výjimky ve Windows Firewallu se podařilo úspěšně připojit k centrální databázi.

Uspořádání sítě použité při testování je možné vidět na následujícím obrázku:



Obrázek 60: Uspořádání sítě pro testování běhu aplikace na průmyslovém PC

Router s IP adresou 192.168.10.1 zajišťuje přenos dat mezi stolním PC s adresou 192.168.10.194, průmyslovým PC s adresou 192.168.10.193 a internetem. Připojení k internetu se používá k synchronizaci aktuálního času. Měřicí modul je k průmyslovému PC připojen přes USB a v systému se k němu přistupuje přes port COM3.

The screenshot shows the Datalogger application interface. The top section displays the port name (COM11) and baud rate (9600). The 'Received Data' section shows 'GP 972.567 OK' and four green status indicators labeled ET, RDB, OK, and CON. The 'General' tab is selected, showing date and time filters for 'Date From' (16.04.2017 13:47:18) and 'Date To' (18.04.2017 13:47:18). Below the filters is a table of recorded data:

ID	Date And Time	Temperature (°C)	Humidity (%)	Pressure (hPa)	Dew Point (°C)
42	16.04.17 15:01:32	21.9	42.3	972.9	8.5
43	16.04.17 15:01:38	22.0	42.3	972.8	8.6
44	16.04.17 15:01:44	21.9	42.4	972.9	8.5
45	16.04.17 15:01:50	22.0	42.3	972.9	8.6
46	16.04.17 15:01:56	22.0	42.3	972.8	8.6
47	16.04.17 15:02:02	22.0	42.4	972.9	8.6
48	16.04.17 15:02:08	22.0	42.4	972.8	8.6
49	16.04.17 15:02:14	22.0	42.4	972.8	8.6
50	16.04.17 15:02:20	22.0	42.4	972.9	8.6
51	16.04.17 15:02:26	22.0	42.4	972.9	8.6
52	16.04.17 15:02:32	22.0	42.3	972.9	8.6
53	16.04.17 15:02:38	22.0	42.3	972.9	8.6
54	16.04.17 15:02:44	21.9	42.3	972.8	8.5
55	16.04.17 15:02:50	22.0	42.3	972.9	8.6

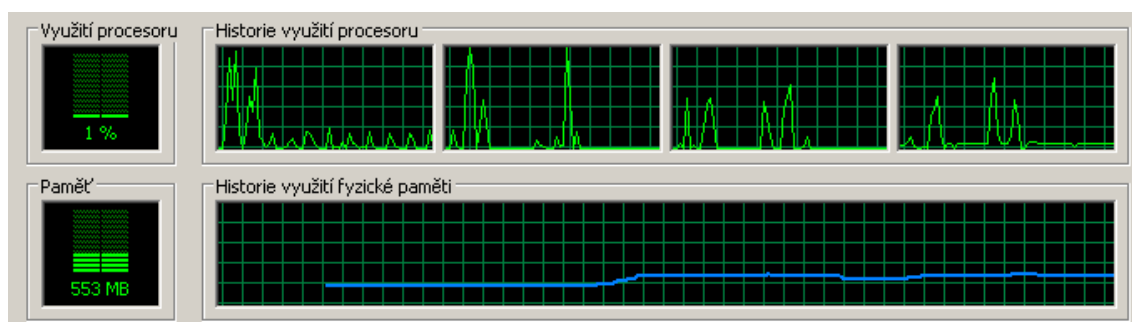
The ABB logo is visible in the bottom right corner of the application window.

Obrázek 61: Vzhled aplikace pro záznam dat při spuštění na PC UIBX-230

Předešlý obrázek zachycuje stav po spuštění aplikace na průmyslovém PC za zmíněných podmínek. Synchronizace času, zápis do lokální databáze i zápis do vzdálené databáze je plně funkční.

Po zprovoznění testovací sestavy bylo možno přikročit k samotným testům zatížení CPU a paměti. Testování probíhalo se zapnutým obnovováním lokálních naměřených hodnot každých 6 sekund a s ukládáním do lokální i centrální databáze každých 0,1 minuty, což je také šest sekund. Program se v tomto případě chová tak, že neopakuje zbytečně měření třikrát během periody, ale provede ho jen jednou za 6 sekund a stejné naměřené hodnoty zobrazí uživateli a uloží je jak do lokální, tak i do vzdálené databáze. Odesílání varovných emailů bylo vypnuto. Žádné další programy, které by mohly výrazněji ovlivňovat zatížení CPU spuštěny nebyly.

Spuštění aplikace trvalo na průmyslovém PC zhruba 10 sekund, což je výrazně déle než na výkonnějším stolním PC. Po spuštění a automatickém připojení k preferovanému COM portu se celkové zatížení procesoru snížilo na minimum. Zatížení se zvýšilo na jedno až dvě procenta při každých šest sekund při aktualizaci naměřených hodnot a jejich záznamu do databází.



Obrázek 62: Sledování využití procesoru po zapnutí aplikace ve správci úloh

Měřítka časové osy grafů zatížení procesoru je rovno právě 6 sekundám. V čase 0 došlo ke spuštění aplikace, což bylo provázeno vyšším zatížením všech jader. U prvního jádra pak každých 6 sekund dochází ke zvýšení zátěže na 20%. Běh programu pak může doprovázet i občasné zvýšení zatížení dalších jader, většinu času by ale jejich zatížení mělo být minimální. Paměťové nároky aplikace je možné vidět na dalším obrázku:

Název procesu	Uživatel...	P...	Pa... ▾	Popis
sqlservr.exe	Administ...	00	47 916 kB	SQL Server Windows NT
DataLogger.Desktop.exe	Administ...	00	27 500 kB	DataLogger.Desktop
explorer.exe	Administ...	00	15 620 kB	Průzkumník Windows
svchost.exe	SYSTEM	00	14 956 kB	Host Process for Windows Services

Obrázek 63: Paměťové nároky aplikace

Při testování spuštěná aplikace obsadila kolem 27 MB operační paměti. Protože bylo zapnuto ukládání do lokální databáze, běžel i proces *sqlservr.exe*, který ukládal data do *mdf* souboru.

10 ZÁVĚR

Úkolem této práce bylo navrhnout systém pro měření teploty, vlhkosti a tlaku ve výrobní hale, přičemž od počátku se počítalo s využitím tohoto systému ve výrobní hale Přístrojových transformátorů a senzorů společnosti ABB, s.r.o. v Brně, zejména pro účely sledování vlivu atmosférických podmínek na kvalitu skladovaných materiálů.

Při návrhu se postupovalo v souladu s body stanovenými v zadání. V první fázi byly definovány požadavky na příslušný systém z hlediska architektury sběru dat. Po dohodě se zodpovědnými osobami bylo vybráno 8 míst ve výrobní hale ABB, na kterých bude probíhat měření s požadovanou obnovovací frekvencí 15 minut. Poté byly zvažovány možnosti připojení měřících modulů k již existující podnikové síti – intranetu. Ze všech dostupných možností, tedy Ethernetu, WiFi a USB byla vybrána poslední varianta, která byla vyhodnocena jako cenově nejvýhodnější a nejméně složité řešení. Navržené řešení spočívá v připojení měřícího modulu k nejbližšímu průmyslovému počítači v okolí. Přitom počítač může ukládat naměřené hodnoty jak do lokální, tak i do centrální databáze, kam mohou ukládat i ostatní počítače, ke kterým je připojen měřící modul.

V další části práce pak byla pozornost zaměřena na průzkum trhu již hotových měřících modulů a senzorů s předpokladem, že vítězný senzor se stane součástí vlastního navrhovaného měřícího modulu. Předem byly zamítnuty analogové senzory, které jsou z pohledu autora pro tuto aplikaci méně vhodné než kombinované digitální senzory, jejichž vývoj je velmi perspektivní. Zvolený digitální kombinovaný MEMS senzor teploty, vlhkosti a tlaku Bosch BME 280 o rozměrech pouhých 2,5 x 2,5 mm je toho důkazem. Senzor je schopen měřit teplotu v rozsahu -40 až +85 °C, přičemž v rozsahu 0 až +65 °C výrobce udává obvyklou chybu ± 1 °C. Co se týče relativní vlhkosti, senzor je schopen pracovat v celém rozsahu 0 až 100%, přičemž v rozsahu 20 %RH až 80 %RH výrobce udává chybu ± 3 %RH. Mimo to senzor disponuje schopností měřit atmosférický tlak s obvyklou chybou ± 1 hPa v rozsahu 300 až 1100 hPa.

Následně byla pozornost věnována návrhu vlastního měřícího modulu, který se z pohledu hardwaru skládá ze tří základních prvků, a to senzoru BME 280, mikrokontroléru a komunikačního obvodu (převodník USB/UART). Zvolený mikrokontrolér ATmega8A je bezpochyby jedním z nejnámějších a nejpoužívanějších mikrokontrolérů s dostatečnou podporou, nízkou cenou a velkým množstvím návodů a vzorových programů na internetu.

Při tvorbě schématu zapojení se pak vycházelo z doporučených zapojení jednotlivých prvků, přičemž výsledné zapojení bylo opatřeno několika dodatečnými ochranami (transil, EMI filtry). Pro dané zapojení byla poté navržena deska plošných spojů a to tak, aby se vešla do vybrané konstrukční krabičky o rozměrech 100 x 56 x 43 mm.

Postup dále směřoval k oživení navrženého zapojení na nepájivém poli a odzkoušení funkce na testovacím programu, který pravidelně odesílá naměřené hodnoty do počítače. Funkčnost daného

zapojení se podařilo úspěšně ověřit a bylo možno přikročit k návrhu vlastního software pro mikrokontrolér. Komunikace mezi mikrokontrolérem a počítačem probíhá pomocí vlastního komunikačního protokolu, počítač odesílá krátké textové příkazy a mikrokontrolér na ně odpovídá. Mimo to software umožňuje indikaci stavu pomocí LED diod.

Další částí této diplomové práce byl databázový návrh, a to jak pro lokální databázi umístěnou na pevném disku průmyslového PC, tak i pro centrální databázi umístěnou na vzdáleném serveru. Navržená lokální databáze se skládá z dvou tabulek, přičemž do první z nich se ukládají naměřené hodnoty spolu s ID a časem měření. Druhá tabulka slouží k záznamu případných chybových stavů. Centrální databáze, která se skládá z pěti tabulek, již počítá se zpracováním dat z více modulů, které mohou být umístěny na různých místech, tudíž je komplexnější a z principu umožňuje přiřazovat jednotlivé moduly k příslušným místům ve výrobní hale.

Následně byla pozornost zaměřena na další bod zadání, který spočívá v realizaci a ověření funkčnosti navrženého měřicího modulu. Podklady pro výrobu desky plošných spojů byly předány firmě Apama s.r.o., která vyrobila nejdříve prototyp desky a následně po osazení a odzkoušení také dalších osm sériových kusů pro dodání do ABB. Všechny desky byly ručně osazeny jak SMD, tak i THT součástkami. Následovalo oživení desek a jejich odzkoušení. Celkové náklady na materiál pro výrobu osmi modulů byly odhadnuty na 6680 Kč, což je v přepočtu přibližně 835 Kč na jeden modul. Pro srovnání lze uvést cenu nejlevnějšího měřicího modulu z části 4.3: Modul TI HDC1080EVM za cenu 773,63 Kč bez poštovného.

Další částí této diplomové práce byl návrh software pro průmyslové počítače, který slouží k zaznamenávání naměřených hodnot jak do lokální, tak i do centrální databáze. Kromě požadavků na software definovaných v zadání bylo nutné zohlednit i další požadavky definované firmou ABB. Software byl navržen v moderním programovacím jazyce C# za pomoci vývojového prostředí MS Visual Studio. Program je možno konfigurovat pro záznam do lokální i centrální databáze typu Microsoft SQL s volitelnou obnovovací frekvencí. Aktuální naměřené hodnoty lze přímo zobrazovat, stejně tak je možné zobrazovat hodnoty uložené do lokální databáze. Naměřené hodnoty za zvolené časové období je možné exportovat do formátu .csv přizpůsobeného pro další zpracování v prostředí MS Excel. Další požadavky zadání jsou také implementovány. Software umožňuje definovat intervaly, ve kterých se smí pohybovat naměřené hodnoty. V případě, že se naměřené hodnoty vymykají definovaným intervalům nebo se nelze spojit s měřicím modulem, software umožňuje odeslání varovného emailu na předdefinované adresy. Chybová hlášení, která vzniknou vlivem nefunkční komunikace se senzorem je též možno automaticky ukládat do lokální i centrální databáze. Program je mimo jiné schopen připojit se ke vzdálenému NTP serveru za účelem synchronizace času. Aby program vyhověl také požadavkům ABB, byl vybaven schopností automatické detekce měřicího modulu po připojení a periodickou kontrolou stavu připojení. V případě výpadku připojení se pak program sám pokouší opětovně připojit.

Závěrečná část této diplomové práce se zabývala testováním jednotlivých částí měřicího systému a popisem postupů, které bylo třeba provést pro zprovoznění aplikace navržené v předešlé části na průmyslových počítačích používaných firmou ABB. Zprovoznění aplikace vyžadovalo instalaci dodatečného software, který je umístěn na CD přiloženém k této práci.

V závěrečné části také byla provedena zkušební měření s vyrobenými moduly. Cílem prvního měření bylo zjistit, zdali všechny měřicí moduly při stejných podmínkách naměří přibližně stejné hodnoty. Měření sloužilo pouze ke kontrole stejného chování všech měřících modulů. Související měření spočívající ve srovnání hodnot s referenčním měřidlem firmy ABB je plánováno provést při dodávce a instalaci měřících modulů do ABB v Brně v červnu 2017.

Cílem druhého měření byl odhad časových konstant pro měření teploty a vlhkosti. Časová konstanta pro měření teploty byla odhadnuta na 330 s a pro měření vlhkosti na 493 s. Jedná se o relativně vysoké hodnoty, a proto nelze měřicí modul doporučit pro použití v prostředích, kde dochází k rychlým změnám teplot a vlhkostí. Pro použití ve výrobní hale ABB jsou ale tyto hodnoty přijatelné. Neočekává se, že by se teplota či vlhkost během 15 minutového intervalu mezi měřeními změnila více než o jednotky stupňů či procent.

Konečná instalace a zprovoznění měřicího systému je naplánováno na červen 2017. Před samotnou instalací zbývá ještě zabudovat měřicí moduly do opracovaných konstrukčních krabiček. Aby bylo možné umístit měřicí moduly do dostatečné vzdálenosti od průmyslových počítačů, bude třeba zakoupit ještě aktivní prodlužovací USB kabely s délkou přesahující 10 m. Po zprovoznění měřicího systému se pak ABB plánuje na tento projekt dále navazovat. Klíčovým bodem je v tomto ohledu zrealizovaná centrální databáze naměřených hodnot, ze které se budou stahovat data pro další analýzu. Tvorba dalšího software je už pak přímo v kompetencích ABB.

11 SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

- [1] **USB Implementers Forum, Inc.** USB 2.0 Frequently Asked Questions. *USB.org*. [Online] 2016. [Citace: 28. Prosinec 2016.] <http://www.usb.org/developers/usbfaq#cab1>.
- [2] **Lascar Electronics Ltd.** EL-USB-2 Temperature, Humidity and Dew Point Data Logger. *Lascar Electronics Ltd.* [Online] 2016. [Citace: 28. 12 2016.] https://www.lascarelectronics.com/media/1572/easylog-data-logger_el-usb-2.pdf.
- [3] **I & CS spol. s r.o.** Loggery vlhkosti a teploty. *Měřicí přístroje*. [Online] 2016. [Citace: 28. Prosinec 2016.] <http://www.e-pristroje.cz/vlhkomery-datalogery.html>.
- [4] **Roman Gajda - GARNI.** Datalogger pro měření teploty, rel. vlhkosti a barometrického tlaku GAR 202. *Meteostanice, digitální teploměry a barometry - Garni*. [Online] 2016. [Citace: 28. Prosinec 2016.] <http://www.garni-meteo.cz/cz/eshop/datalogery/s-merenim-teploty-vlhkosti-a-tlaku/22-gar-202.html>.
- [5] **I & CS spol. s r.o.** USB datalogger LOG32TH 31.1054, teploměr-vlhkoměr. *Meteostanice / Měřicí přístroje*. [Online] 2016. [Citace: 28. Prosinec 2016.] http://www.meteostanice.cz/datalogervlhkomery-tfa_dostmann_usb_datalogger_log32th_31.1054,_teplomervlhkomer-389646674-936933245-datalogery-vlhkomery/.
- [6] **Texas Instruments.** HDC1080EVM Low Power Humidity and Temperature Sensor Evaluation Module. *Analog, Embedded Processing, Semiconductor Company, Texas Instruments - TI.com*. [Online] 2016. [Citace: 28. Prosinec 2016.] <http://www.ti.com/tool/HDC1080EVM>.
- [7] **Mouser Electronics, Inc.** HDC1080EVM Texas Instruments | Mouser. *Mouser Electronics - Elektronické součástky Distributor*. [Online] 2016. [Citace: 28. Prosinec 2016.] <http://cz.mouser.com/Search/ProductDetail.aspx?R=HDC1080EVMvirtualkey59500000virtualkey595-HDC1080EVM>.
- [8] **B+B Thermo-Technik GmbH.** OPERATION MANUAL Humidity- temperature probe with USB-Interface. *Conrad.com*. [Online] 2016. [Citace: 28. Prosinec 2016.] http://www.produktinfo.conrad.com/datenblaetter/500000-524999/502229-an-01-en-USB_TEMP_FEUCHTEFUEHLER_EDELSTAHL.pdf.
- [9] **Conrad Electronic Česká republika s.r.o.** USB senzor teploty/vlhkosti B & B Thermotechnik, HYTELOG-USB-SET2. *Conrad Electronic – obchod s elektronikou a technikou*. [Online] 2016. [Citace: 28. Prosinec 2016.] <http://www.conrad.cz/usb-senzor-teploty-vlhkosti-b-b-thermotechnik-hytelog-usb-set2.k502229>.
- [10] **CYNTEC CO., LTD.** Specification of Pt Thermal Sensor. *GM Electronic*. [Online] 2016. [Citace: 28. Prosinec 2016.] <https://www.gme.cz/data/attachments/dsh.530-109.1.pdf>.
- [11] **GM electronic, spol. s r.o.** Platinové teplotní čidlo PT100 - 100R. *GM Electronic*. [Online] 2016. [Citace: 28. Prosinec 2016.] <https://www.gme.cz/platinove-teplotni-cidlo-pt100-100r>.
- [12] **TME Czech Republic s.r.o.** HONEYWELL HIH-4000-001. *TME Czech Republic s.r.o. - Elektronické součástky*. [Online] 2016. [Citace: 28. Prosinec 2016.] <http://www.tme.eu/cz/details/hih-4000-001/cidla-vlhkosti/honeywell/>.

- [13] **Aosong(Guangzhou) Electronics Co.,Ltd.** . Temperature and humidity module AM2302 Product Manual. *秋月電子通商 - 電子部品・半導体【通販・販売】*. [Online] 2016. [Citace: 28. Prosinec 2016.] <http://akizukidenshi.com/download/ds/aosong/AM2302.pdf>.
- [14] **Tomi czech s.r.o.** Senzor teploty a vlhkosti DHT22. *tomi czech shop*. [Online] 2016. [Citace: 28. Prosinec 2016.] http://www.t-cz.com/senzor-teploty-a-vlhkosti-dht22_d14436.html.
- [15] **Mouser Electronics, Inc.** Texas Instruments HDC1080DMBT. *Mouser Electronics - Elektronické součástky Distributor*. [Online] 2016. [Citace: 28. Prosinec 2016.] <http://cz.mouser.com/ProductDetail/Texas-Instruments/HDC1080DMBT/>.
- [16] **Bosch Sensortec GmbH.** BME280 Combined humidity and pressure sensor. *Bosch Sensortec*. [Online] 2015. [Citace: 28. Prosinec 2016.] https://ae-bst.resource.bosch.com/media/_tech/media/datasheets/BST-BME280_DS001-11.pdf.
- [17] **Beřtová, Tereza.** BME280 I2C senzor barometrického tlaku, teploty, vlhkosti. *EasyDuino - Moduly pro Arduino, Raspberry Pi, vývojové desky*. [Online] 2016. [Citace: 28. Prosinec 2016.] <https://www.easyduino.cz/BME280-I2C-senzor-barometrickeho-tlaku-teploty-vlhkosti-d450.htm#>.
- [18] **Paradisetrionic.com.** BME280 Barometric Pressure, Humidity and Temperature Sensor, I2C. *Paradisetrionic.com*. [Online] 2016. [Citace: 28. Prosinec 2016.] <https://paradisetrionic.com/en/sensors/bme280-barometric-pressure-humidity-temperature-sensor-i2c>.
- [19] **Sensirion AG.** Datasheet SHT25 Humidity and Temperature Sensor IC. *Sensirion - Experts for Smart Sensor Solutions*. [Online] 2014. [Citace: 28. Prosinec 2016.] https://www.sensirion.com/fileadmin/user_upload/customers/sensirion/Dokumente/2_Humidity_Sensors/Sensirion_Humidity_Sensors_SHT25_Datasheet_V3.pdf.
- [20] **Premier Farnell UK Limited.** SENSIRION SHT25 Snímač Vlhkosti, 1.8 %, 3 V, 0% až 100% Relativní Vlhkosti, DFN, 6 Pinů, 8 s. *Farnell element14 Česká republika - Distributor elektronických součástek*. [Online] 2016. [Citace: 28. Prosinec 2016.] <http://cz.farnell.com/sensirion/sht25/sensor-humidity-temp-3x3mm-1-8/dp/1855469?MER=sy-me-pd-mi-alte>.
- [21] **Smith, Robert.** Compare DHT22, AM2302, AM2320, AM2321, SHT71, HTU21D, Si7021, BME280. *Kimberly & Robert's Home Page*. [Online] 2016. [Citace: 28. Prosinec 2016.] http://www.kandrsmith.org/RJS/Misc/Hygrometers/calib_many.html.
- [22] **Rutronik GmbH.** Bosch – BME280 Integrated Environmental Unit. *rutronik-tec.com*. [Online] 2015. [Citace: 28. Prosinec 2016.] <https://rutronik-tec.com/bosch-bme280-integrated-environmental-unit/>.
- [23] **Atmel Corporation.** ATmega8A. *Atmel Corporation - Microcontrollers, 32-bit, and touch solutions*. [Online] [Citace: 28. Prosinec 2016.] <http://www.atmel.com/devices/ATMEGA8A.aspx>.
- [24] **Protostack Pty Ltd.** USBASP AVR Programmer. *AVR Development kits, Boards and Components - Protostack*. [Online] 2016. [Citace: 28. Prosinec 2016.] <http://www.protostack.com/accessories/usbasp-avr-programmer>.

- [25] **Microchip Technology Inc.** MCP2200 USB 2.0 to UART Protocol Converter with GPIO. [Online] 2011. [Citace: 28. Prosinec 2016.] <https://www.microchip.com/wwwproducts/en/en546923>.
- [26] **STMicroelectronics** . Very low drop voltage regulator with inhibit function. *STMicroelectronics*. [Online] 2015. [Citace: 28. Prosinec 2016.] www.st.com/resource/en/datasheet/cd00000546.pdf.
- [27] **GM electronic, spol. s.r.o.** Krabička plastová KP34 (Z-45P). *GM Electronic*. [Online] 2016. [Citace: 28. Prosinec 2016.] <https://www.gme.cz/krabicka-plastova-kp34-z-45p>.
- [28] **Batard, Pete.** USB driver installation made easy. *Zadig*. [Online] 2015. [Citace: 28. Prosinec 2016.] <http://zadig.akeo.ie/>.
- [29] **Slashdot Media.** AVRdude GUI - Browse Files at SourceForge.net. *SourceForge*. [Online] 2016. [Citace: 28. Prosinec 2016.] <https://sourceforge.net/projects/avrdudegui/files/>.
- [30] **Zhao, Frank.** AVR Fuse Calculator for ATmega8. *Eleccelerator*. [Online] 2009. [Citace: 28. Prosinec 2016.] <http://eleccelerator.com/fusecalc/fusecalc.php?chip=atmega8>.
- [31] **Bosch Sensortec GmbH.** Bosch Sensortec BME280 sensor driver. *GitHub*. [Online] 2016. [Citace: 28. Prosinec 2016.] https://github.com/BoschSensortec/BME280_driver.
- [32] **McLaughlin, Maxmillion.** BME280 AVR sensor library (I2C). *GitHub*. [Online] 2016. [Citace: 28. Prosinec 2016.] <https://github.com/moa/bme280>.
- [33] **Parsing simple USART commands.** *adnbr*. [Online] 2017. [Citace: 16. Únor 2017.] <https://adnbr.co.uk/articles/parsing-simple-uart-commands>.
- [34] **Microsoft corp.** USB Device Power States (Windows Drivers). *Learn to Develop with Microsoft Developer Network | MSDN*. [Online] 2017. [Citace: 17. Únor 2017.] [https://msdn.microsoft.com/en-us/library/windows/hardware/ff537057\(v=vs.85\).aspx](https://msdn.microsoft.com/en-us/library/windows/hardware/ff537057(v=vs.85).aspx).
- [35] —. .NET Framework Versions and Dependencies. *Learn to Develop with Microsoft Developer Network | MSDN*. [Online] 2017. [Citace: 31. Březen 2017.] <https://msdn.microsoft.com/en-us/library/bb822049%28v=vs.110%29.aspx>.
- [36] —. SerialPort Class. *Learn to Develop with Microsoft Developer Network | MSDN*. [Online] 2017. [Citace: 1. Duben 2017.] [https://msdn.microsoft.com/en-us/library/system.io.ports.serialport\(v=vs.110\).aspx](https://msdn.microsoft.com/en-us/library/system.io.ports.serialport(v=vs.110).aspx).
- [37] **Lawrence, Mark G.** *The Relationship between Relative Humidity and the Dewpoint Temperature in Moist Air*. místo neznámé : American Meteorological Society, Únor 2005.
- [38] **Microsoft corp.** SQL Server Connection Strings for ASP.NET Web Applications. *Learn to Develop with Microsoft Developer Network | MSDN*. [Online] 2017. [Citace: 2. Duben 2017.] [https://msdn.microsoft.com/en-us/library/jj653752\(v=vs.110\).aspx](https://msdn.microsoft.com/en-us/library/jj653752(v=vs.110).aspx).
- [39] **Doležal, Ondřej.** Seznam českých NTP serverů. *8 kHz*. [Online] 14. Listopad 2015. [Citace: 6. Duben 2017.] <https://8khz.blogspot.cz/2015/11/seznam-ceskych-ntp-serveru.html>.
- [40] **Drake, Bob.** High Accuracy W32time Requirements. *TechNet Blogs*. [Online] [Citace: 6. Duben 2017.] <https://blogs.technet.microsoft.com/askds/2007/10/23/high-accuracy-w32time-requirements/>.
- [41] **ELVAC a.s.** IEC Stabil PRO UIBX-230. *ELVAC a.s.* [Online] [Citace: 13. Duben 2017.] <https://www.elvac.eu/Default.aspx?tabid=701&Display=ProductDetailView&TreeType=Product&ProductId=92292>.

12 SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ

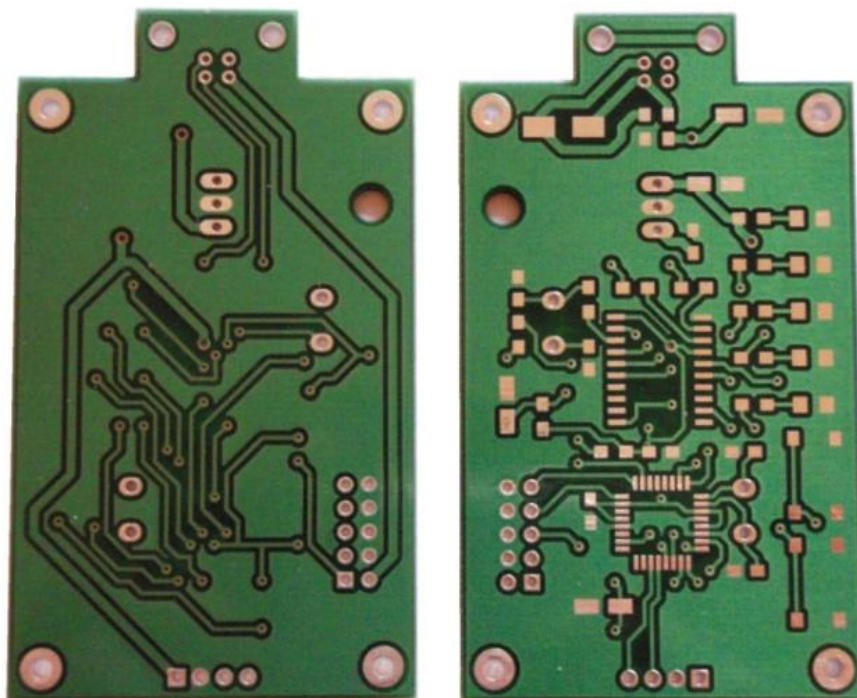
CIL	Common Intermediate Language
COM	Communications port
CPU	Central Processing Unit
CSV	Comma Separated Values
CTS	Clear To Send
DPS	Deska Plošných Spojů
EEPROM	Electrically Erasable Programmable Read-Only Memory
EMI	Electromagnetic Interference
EWf	Enhanced Write Filter
GME	GM Electronic
HAL	Hot Air Leveling
I2C	Inter-Integrated Circuit
IO	Input Output
ISP	In-System Programming
LED	Light Emitting Diode
LINQ	Language Integrated Query
MES	Manufacturing Execution Systems
MIT	Massachusetts Institute of Technology
MS SQL	Microsoft SQL Server
MSDN	Microsoft Developer Network
NaN	Not A Number
NIST	National Institute of Standards and Technology
NTP	Network Time Protocol
OS	Operační Systém
PDF	Portable Document Format
PoE	Power Over Ethernet
RH	Relative Humidity
RS232	Recommended Standard 232
RST	Reset
RTS	Request To Send
RX	Receiver
SMD	Surface Mount Device
SMTP	Simple Mail Transfer Protocol
SNTP	Simple Network Time Protocol
SPI	Serial Peripheral Interface
SQL	Structured Query Language
SSD	Solid State Drive
SSL	Secure Sockets Layer

THT	Through Hole Technology
TX	Transmitter
UART	Universal Asynchronous Receiver/Transmitter
UDP	User Datagram Protocol
USB	Universal Serial Bus
VESA	Video Electronics Standards Association
VGA	Video Graphics Array
WiFi	Wireless Fidelity
WPF	Windows Presentation Foundation
XAML	Extensible Application Markup Language
XML	Extensible Markup Language

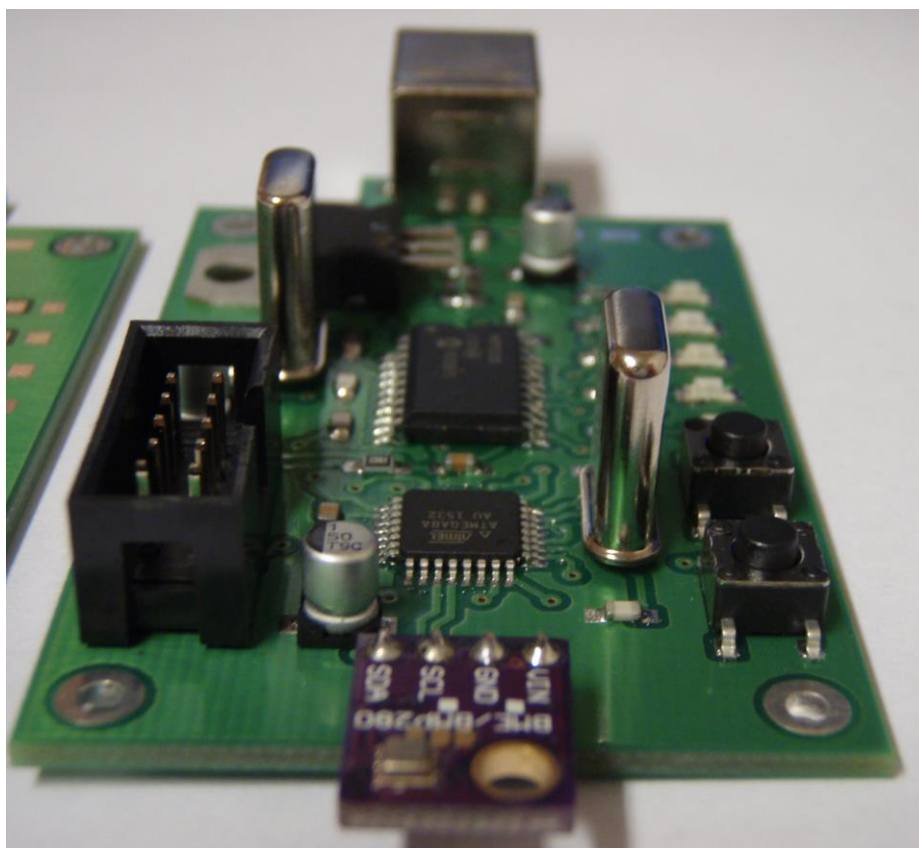
13 SEZNAM PŘÍLOH

Příloha 1: Druhá (sériová) verze DPS	99
Příloha 2: Detail zhotovené desky měřicího modulu	99
Příloha 3: Seznam součástí k zakoupení	100
Příloha 4: Schéma zapojení měřicího modulu	102
Příloha 5: Motiv DPS měřicího modulu	103

Příloha 1: Druhá (sépiová) verze DPS



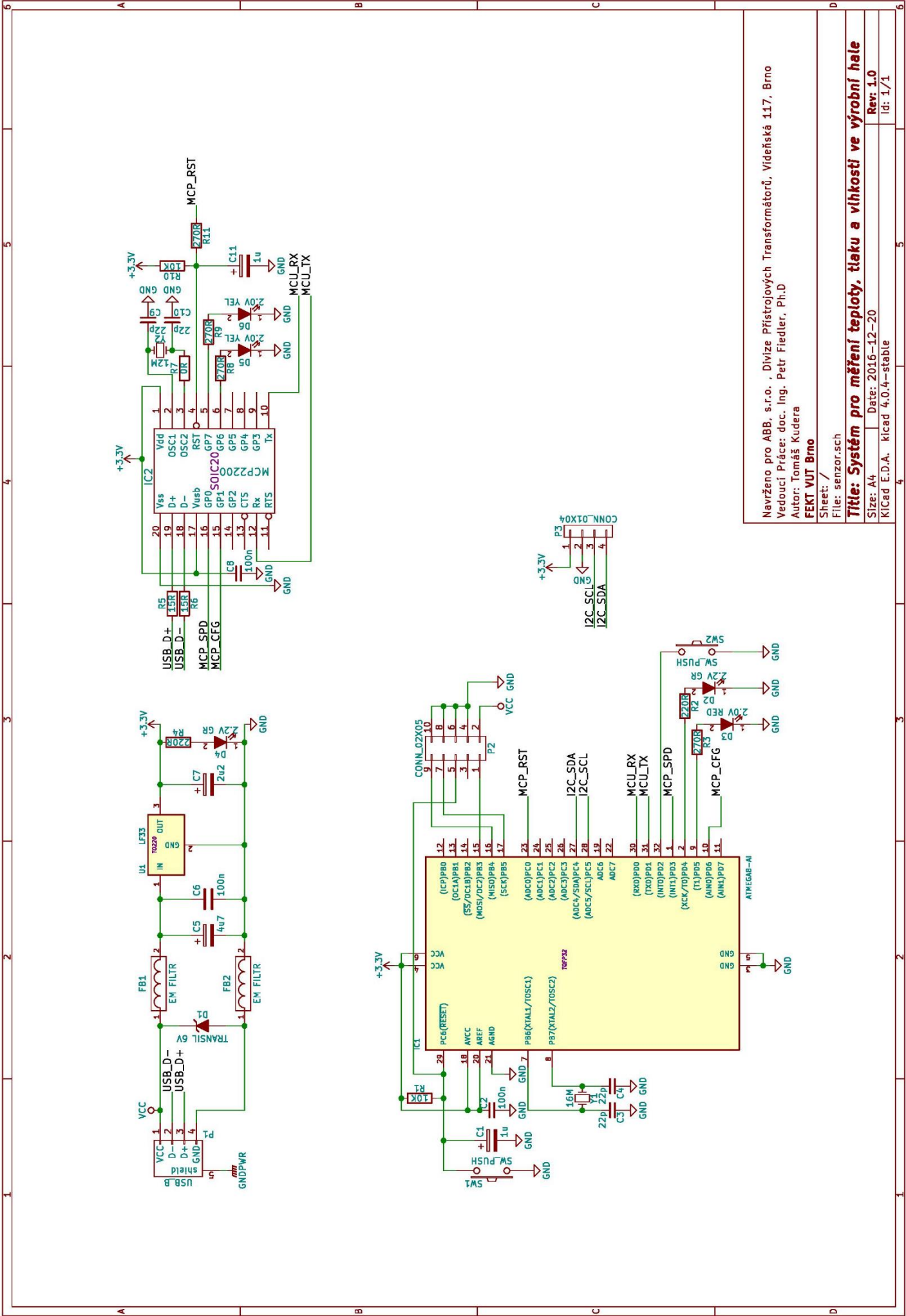
Příloha 2: Detail zhotovené desky měřicího modulu



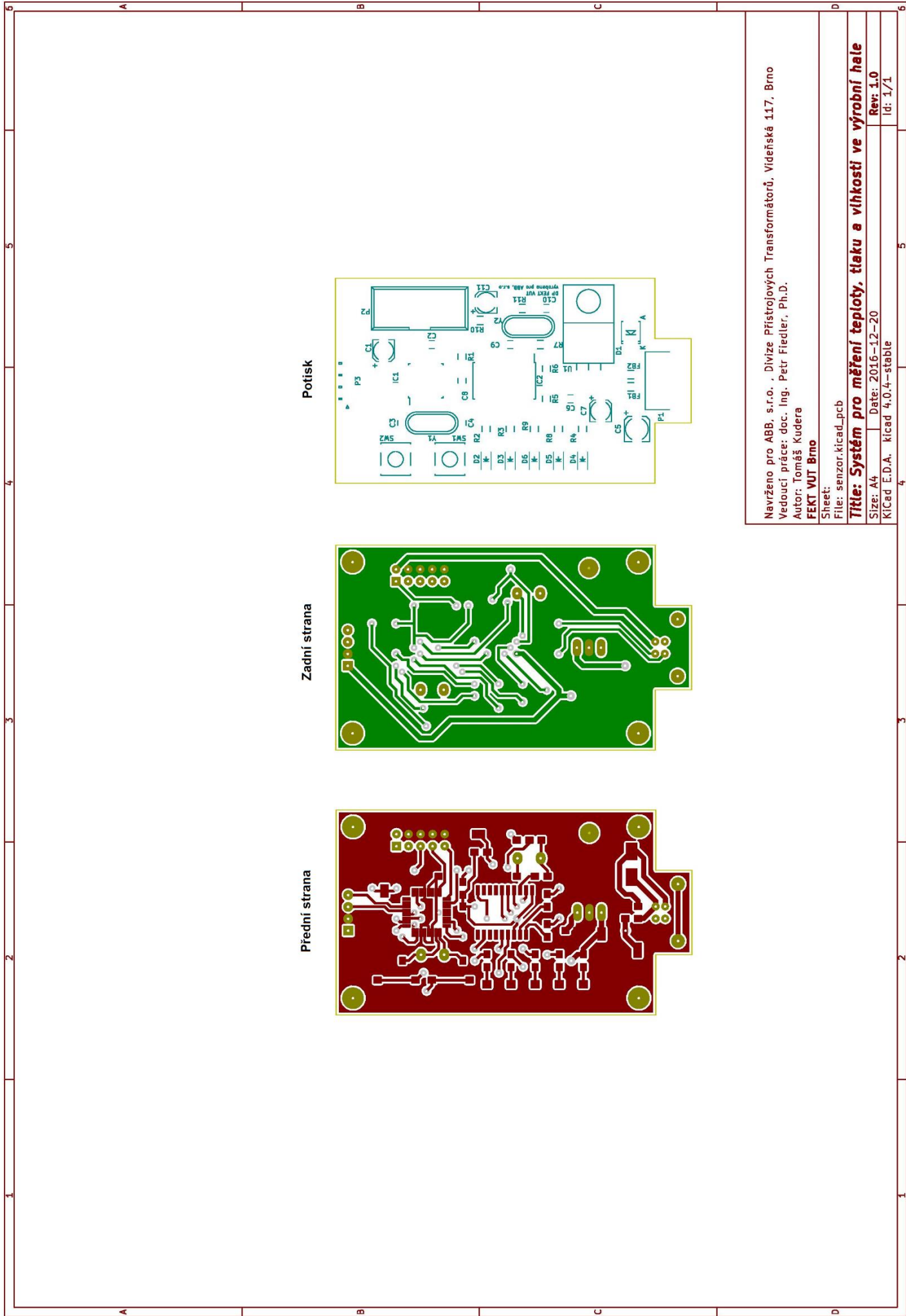
Příloha 3: Seznam součástek k zakoupení

Objednací list součástek pro GM Electronic			Počet modulů	8		
GM E číslo		Cena	Počet na 1 modul	Cena na 1 modul	Počet na N modulů	Cena na N modulů
908-005	https://www.gme.cz/ces-1u-50vt-jam-ct-b-4x5-4-rm5-5-1	2,10 Kč	2	4,20 Kč	16	33,60 Kč
906-148	https://www.gme.cz/cks0805-100n-50v-x7r-10-hitano	0,99 Kč	3	2,97 Kč	24	23,76 Kč
906-079	https://www.gme.cz/cks0805-22p-50v-npo-5-yageo	1,10 Kč	4	4,40 Kč	32	35,20 Kč
908-050	https://www.gme.cz/ces-4-7u-50vt-hit-ehv-b-5x5-4-rm5-9-1-4	1,90 Kč	1	1,90 Kč	8	15,20 Kč
900-337	https://www.gme.cz/ces-2-2u-50v-jam-cs-b-4x5-4-rm5-5-1	2,10 Kč	1	2,10 Kč	8	16,80 Kč
924-033	https://www.gme.cz/transil-unipolarni-sm6t6v8a	3,60 Kč	1	3,60 Kč	8	28,80 Kč
960-355	https://www.gme.cz/led-1206-green-350-120-ostg1206c1a-n	2,70 Kč	2	5,40 Kč	16	43,20 Kč
960-349	https://www.gme.cz/led-1206-red-120-120-oshr1206c1a-n	2,30 Kč	1	2,30 Kč	8	18,40 Kč
960-350	https://www.gme.cz/led-1206-yellow-120-120-osyl1206c1a-n	2,50 Kč	2	5,00 Kč	16	40,00 Kč
142-123	https://www.gme.cz/blm21ag121sn1d	3,20 Kč	2	6,40 Kč	16	51,20 Kč
958-174	https://www.gme.cz/atmega8a-au-tqfp32-atmel	55 Kč	1	55,00 Kč	8	440,00 Kč
959-132	https://www.gme.cz/usb-rs232-microchip-mcp2200-i-so-so20-microchip	64 Kč	1	64,00 Kč	8	512,00 Kč
832-120	https://www.gme.cz/konektor-usb1x90b-pcb	9,50 Kč	1	9,50 Kč	8	76,00 Kč
800-035	https://www.gme.cz/konektor-mlw10g	4,50 Kč	1	4,50 Kč	8	36,00 Kč
901-176	https://www.gme.cz/r0805-10k-1-yageo	1,30 Kč	2	2,60 Kč	16	20,80 Kč
901-379	https://www.gme.cz/r0805-220r-1-yageo	1,30 Kč	2	2,60 Kč	16	20,80 Kč
901-582	https://www.gme.cz/r0805-270r-1-yageo	1,30 Kč	4	5,20 Kč	32	41,60 Kč
901-573	https://www.gme.cz/r0805-15r-1-yageo	1,30 Kč	2	2,60 Kč	16	20,80 Kč
901-170	https://www.gme.cz/r0805-0r0-yageo	1,20 Kč	1	1,20 Kč	8	9,60 Kč
630-299	https://www.gme.cz/td-03xa-t-smd	5 Kč	2	10,00 Kč	16	80,00 Kč

330-165	https://www.gme.cz/lf33cv-to220-stm-thomson	22 Kč	1	22,00 Kč	8	176,00 Kč
131-019	https://www.gme.cz/krystal-hc49-u-q-16mhz	6,20 Kč	1	6,20 Kč	8	49,60 Kč
131-012	https://www.gme.cz/krystal-hc49-u-q-12mhz	5,10 Kč	1	5,10 Kč	8	40,80 Kč
622-573	https://www.gme.cz/krabicka-plastova-kp34-z-45p	54 Kč	1	54,00 Kč	8	432,00 Kč
745-063	https://www.gme.cz/pajeci-pasta-microprint-2006-pb-free	695 Kč	1	695,00 Kč	1	695,00 Kč
745-035	https://www.gme.cz/pajeci-pasta-microprint-2004	645 Kč	1	645,00 Kč		
			Celkem bez pasty	282 Kč		2 262 Kč



Navrženo pro ABB, s.r.o. , Divize Přístrojových Transformátorů, Videňská 117, Brno
 Vedoucí Práce: doc. Ing. Petr Fiedler, Ph.D
 Autor: Tomáš Kudera
FEKT VUT Brno
 Sheet: /
 File: senzor.sch
Title: Systém pro měření teploty, tlaku a vlhkosti ve výrobní hale
 Size: A4 Date: 2016-12-20 Rev: 1.0
 Křičad E.D.A. kicad 4.0.4-stable Id: 1/1



Přední strana

Zadní strana

Potisk

Navrženo pro ABB, s.r.o. , Divize Přístrojových Transformátorů, Vídeňská 117, Brno
 Vedoucí práce: doc. Ing. Petr Fiedler, Ph.D.
 Autor: Tomáš Kudera

FEKT VUT Brno

Sheet:
 File: senzor.kicad_pcb

Title: *Systém pro měření teploty, tlaku a vlhkosti ve výrobní hale*

Size: A4 Date: 2016-12-20 Rev: 1.0

KiCad E.D.A. kicad 4.0.4-stable Id: 1/1