

Meteorologická stanice řízená 32-bitovým procesorem s dotykovým displejem

Bc. Libor Valíček

Diplomová práce
2014



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta aplikované informatiky

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně

Fakulta aplikované informatiky

akademický rok: 2013/2014

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Bc. Libor Valíček**

Osobní číslo: **A12353**

Studijní program: **N3902 Inženýrská informatika**

Studijní obor: **Bezpečnostní technologie, systémy a management**

Forma studia: **kombinovaná**

Téma práce: **Meteorologická stanice řízená 32-bitovým procesorem s dotykovým displejem**

Téma anglicky: **A Meteorological Weather Station Controlled by a 32-bit Processor with Touch Screen**

Zásady pro vypracování:

1. Zvolte vhodné komponenty pro meteorologickou stanici: řídicí mikropočítač, snímače a dotykový displej.
2. Navrhněte hardwarové zapojení meteorologické stanice včetně připojení použitých snímačů.
3. Vytvořte prototyp meteorologické stanice.
4. Vytvořte obslužný software pro použitý mikropočítač.
5. Ověřte funkčnost vytvořené meteorologické stanice a srovnejte měřené údaje s údaji referenční meteorologické stanice.

Rozsah diplomové práce:

Rozsah příloh:

Forma zpracování diplomové práce: **tištěná/elektronická**

Seznam odborné literatury:

1. **KOPÁČEK, Jaroslav.** Jak vzniká počasí. Vyd. 1. V Praze, 2005, 226 s., [16] s. obr. příl. ISBN 80-246-1002-7.
2. **SOUKUPOVÁ, Jana.** Atmosférické procesy: (základy meteorologie a klimatologie). Vyd. 4., přeprac. V Praze: Česká zemědělská univerzita, 2009, 191, [11] s. ISBN 978-80-213-1895-3.
3. **VYSOUDIL, Miroslav.** Meteorologie a klimatologie pro geografy: (základy meteorologie a klimatologie). 1. vyd. Olomouc: Vydavatelství Univerzity Palackého, 1997, 191, [11] s. ISBN 80-706-7773-2.
4. **MANN, Burkhard.** C pro mikrokontroléry: ANSI-C, kompilátory C, spojovací programy – linkery, práce s ATMEL AVR a MSC-51, příklady programování v jazyce C, nástroje pro programování, tipy a triky. 1. vyd. Praha: BEN, 2003, 279 s. ISBN 80-730-0077-6.
5. **KAČMÁŘ, Dalibor.** Jazyk C: ANSI-C, kompilátory C, spojovací programy – linkery, práce s ATMEL AVR a MSC-51, příklady programování v jazyce C, nástroje pro programování, tipy a triky. Vyd. 1. Praha: Computer Press, c2001, 279 s. ISBN 80-722-6295-5.
6. **FROHN, M.** Elektronika: polovodičové součástky a základní zapojení. 1. české vyd. Praha: Computer Press, 2006, 479 s. ISBN 80-730-0123-3.

Vedoucí diplomové práce:

Ing. Jan Dolinay, Ph.D.

Ústav automatizace a řídicí techniky

Datum zadání diplomové práce:

7. února 2014

Termín odevzdání diplomové práce:

27. května 2014

Ve Zlíně dne 7. února 2014

prof. Ing. Vladimír Vašek, CSc.

děkan



doc. RNDr. Vojtěch Kresálek, CSc.

ředitel ústavu

Příjmení a jméno:

VALÍČEK LIBOR

Obor: BTSM-T

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že

- beru na vědomí, že odevzdáním diplomové/bakalářské práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb. o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších právních předpisů, bez ohledu na výsledek obhajoby ¹⁾;
- beru na vědomí, že diplomová/bakalářská práce bude uložena v elektronické podobě v univerzitním informačním systému dostupná k nahlédnutí, že jeden výtisk diplomové/bakalářské práce bude uložen v příruční knihovně Fakulty aplikované informatiky Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně a jeden výtisk bude uložen u vedoucího práce;
- byl/a jsem seznámen/a s tím, že na moji diplomovou/bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, zejm. § 35 odst. 3 ²⁾;
- beru na vědomí, že podle § 60 ³⁾ odst. 1 autorského zákona má UTB ve Zlíně právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla v rozsahu § 12 odst. 4 Autorského zákona;
- beru na vědomí, že podle § 60 ³⁾ odst. 2 a 3 mohu užít své dílo – diplomovou/bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití jen s předchozím písemným souhlasem Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše);
- beru na vědomí, že pokud bylo k vypracování diplomové/bakalářské práce využito softwaru poskytnutého Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně nebo jinými subjekty pouze ke studijním a výzkumným účelům (tedy pouze k nekomerčnímu využití), nelze výsledky diplomové/bakalářské práce využít ke komerčním účelům;
- beru na vědomí, že pokud je výstupem diplomové/bakalářské práce jakýkoliv softwarový produkt, považují se za součást práce rovněž i zdrojové kódy, popř. soubory, ze kterých se projekt skládá. Neodevzdání této součásti může být důvodem k neobhájení práce.

Ve Zlíně

4.4.2014



1) zákon č. 111/1998 Sb. o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších právních předpisů, § 47 Zveřejňování závěrečných prací:

(1) Vysoká škola nevydělečně zveřejňuje disertační, diplomové, bakalářské a rigorózní práce, u kterých proběhla obhajoba, včetně posudků oponentů a výsledku obhajoby prostřednictvím databáze kvalifikačních prací, kterou spravuje. Způsob zveřejnění stanoví vnitřní předpis vysoké školy.

(2) Disertační, diplomové, bakalářské a rigorózní práce odevzdané uchazečem k obhajobě musí být též nejméně pět pracovních dnů před konáním obhajoby zveřejněny k nahlížení veřejnosti v místě určeném vnitřním předpisem vysoké školy nebo není-li tak určeno, v místě pracoviště vysoké školy, kde se má konat obhajoba práce. Každý si může ze zveřejněné práce pořizovat na své náklady výpisy, opisy nebo rozmnoženiny.

(3) Platí, že odevzdáním práce autor souhlasí se zveřejněním své práce podle tohoto zákona, bez ohledu na výsledek obhajoby.

2) zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve

znění pozdějších právních předpisů, § 35 odst. 3:

(3) Do práva autorského také nezasahuje škola nebo školské či vzdělávací zařízení, užije-li nikoli za účelem přímého nebo nepřímého hospodářského nebo obchodního prospěchu k výuce nebo k vlastní potřebě dílo vytvořené žákem nebo studentem ke splnění školních nebo

studijních povinností vyplývajících z jeho právního vztahu ke škole nebo školskému či vzdělávacího zařízení (školní dílo).

3) zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve

znění pozdějších právních předpisů, § 60 Školní dílo:

(1) Škola nebo školské či vzdělávací zařízení mají za obvyklých podmínek právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla (§ 35 odst.

3). Odpírá-li autor takového díla udělit svolení bez vážného důvodu, mohou se tyto osoby domáhat nahrazení chybějícího projevu jeho vůle u

soudu. Ustanovení § 35 odst. 3 zůstává nedotčeno.

(2) Není-li sjednáno jinak, může autor školního díla své dílo užit či poskytnout jinému licenci, není-li to v rozporu s oprávněnými zájmy školy

nebo školského či vzdělávacího zařízení.

(3) Škola nebo školské či vzdělávací zařízení jsou oprávněny požadovat, aby jim autor školního díla z výdělku jím dosaženého v sou-

vislosti s užitím díla či poskytnutím licence podle odstavce 2 přiměřeně přispěl na úhradu nákladů, které na vytvoření díla vynaložily, a to podle okolností až do jejich skutečné výše; přitom se přihlédne k výši výdělku dosaženého školou nebo školským či vzdělávacím zařízením z užití

školního díla podle odstavce 1.

ABSTRAKT

Obsahem práce je sestavení domácí meteorologické stanice s dotykovým displejem. Po analýze trhu byly vybrány jednotlivé snímače s ohledem na funkčnost, dostupnost a cenu. Následně byl navržen hardware pro dotykový displej a rozšiřující karta pro snímače. Vytvořením knihoven pro jednotlivé snímače byla otestována jejich funkčnost. Sestavením částí vznikl konečný software pro zobrazení údajů ze všech snímačů na displeji. V závěru práce je srovnání hodnot s referenční meteorologickou stanicí.

Klíčová slova: meteorologická stanice, počasí, displej, display, teplota, tlak, vlhkost, nadmořská výška, rychlost větru, směr větru, srážky

ABSTRACT

This thesis deals with building a home weather station with touch screen. After analysis of the market suitable sensors were selected with respect to functionality, availability and price. In the next step the hardware for touch screen and expansion card for sensors were designed. Software was created for each of the sensor and their functionality was thus verified. These components were then put together to form the final software for displaying data from all sensors on the display. In the last part of the thesis the data obtained from the created station are compared with reference values of another weather station.

Keywords: meteo station, weather, display, temperature, pressure, humidity, altitude, wind speed, wind direction, rainfall

Rád bych poděkoval vedoucímu diplomové práce, kterým byl pan Ing. Jan Dolinay, Ph. D., za důležité připomínky k samotné práci, a také, za výpomoc po organizační stránce. Naše spolupráce byla díky rychlé odezvě jasná a bezproblémová.

Věřím ve štěstí. Čím víc se snažím, tím víc ho mám.

Stephen Leacock

OBSAH

ÚVOD	10
I TEORETICKÁ ČÁST	11
1 VÝZNAM METEOROLOGIE.....	12
2 MĚŘENÉ VELIČINY.....	13
2.1 TEPLOTA VZDUCHU	13
2.2 RELATIVNÍ VLHKOST VZDUCHU	13
2.3 ROSNÝ BOD.....	14
2.4 ATMOSFÉRICKÝ TLAK.....	14
2.5 SMĚR A RYCHLOST VĚTRU	14
2.6 MNOŽSTVÍ SRÁŽEK.....	15
3 METODY A POSTUPY MĚŘENÍ.....	16
3.1 MĚŘENÍ TEPLoty VZDUCHU	16
3.2 MĚŘENÍ RELATIVNÍ VLHKOSTI VZDUCHU.....	16
3.3 VÝPOČET ROSNÉHO BODU.....	17
3.4 MĚŘENÍ ATMOSFÉRICKÉHO TLAKU	17
3.5 MĚŘENÍ SMĚRU A RYCHLOSTI VĚTRU	17
3.6 MĚŘENÍ MNOŽSTVÍ SRÁŽEK	18
4 SMĚRNICE A NORMY	19
4.1 ROHS	19
4.2 EMC	19
II PRAKTICKÁ ČÁST	21
5 VÝBĚR SNÍMAČŮ	22
5.1 SNÍMAČ TEPLoty A RELATIVNÍ VLHKOSTI VZDUCHU.....	23
5.2 SNÍMAČ ATMOSFÉRICKÉHO TLAKU	26
5.3 SNÍMAČ SMĚRU A RYCHLOSTI VĚTRU.....	26
5.4 SNÍMAČ MNOŽSTVÍ SRÁŽEK	29
6 VÝBĚR MIKROPROCESORU	30
6.1 KRITÉRIA VÝBĚRU MIKROPROCESORU.....	30
6.2 LM4F120H5QR	31
6.3 STELLARIS LM4F120 LAUNCHPAD EVALUATION BOARD.....	32
7 NÁVRH HARDWARE	35
7.1 ALTium DESIGNER	36
7.2 ROZŠÍŘUJÍCÍ DESKA VSTUPŮ A VÝSTUPŮ.....	36
7.3 DOTYKOVÝ LCD DISPLEJ	36
7.3.1 Rozšiřující deska pro LCD.....	36
7.3.2 Spínání podsvícení.....	37
7.4 WALDUINO	38
7.4.1 Ultrazvukový snímač	41

7.4.2	Sedmisegmentový display.....	41
7.4.3	Shift register 74HC595	42
7.4.4	Tranzistorové pole ULN2803.....	43
7.4.5	Spínání segmentů MOS FET tranzistory	44
7.4.6	Step-Up zvyšující měnič	44
7.4.7	Převodník 3V3-5V.....	45
8	MECHANICKÁ KONSTRUKCE.....	47
8.1	SOLIDWORKS	47
8.2	ŘEZÁNÍ LASEREM	48
9	NÁVRH SOFTWARE.....	49
9.1	CODE COMPOSER STUDIO.....	49
9.1.1	Stellaris Graphics Library	49
9.2	PIN MUX.....	51
9.3	UART	51
9.4	SBĚRNICE I2C.....	52
9.5	SOFTWARE - VÝPOČTY HODNOT JEDNOTLIVÝCH SNÍMAČŮ.....	53
9.5.1	Teplota, relativní vlhkost vzduchu a rosný bod	53
9.5.2	Atmosférický tlak	56
9.5.3	Směr a rychlost větru.....	58
9.5.4	Množství srážek.....	59
9.6	ARDUINO	59
10	SROVNÁNÍ HODNOT S METEOSTANICEMI	61
10.1	VÝBĚR REFERENČNÍCH STANIC	61
10.2	ÚPRAVY A DOPLNĚNÍ.....	62
10.2.1	GPS.....	62
10.2.2	Vnitřní teplota	63
10.2.3	Detekce blesků	63
10.2.4	Sleep režim.....	64
10.2.5	Bezdrátové připojení snímačů	64
10.2.5.1	nRF24L01.....	65
10.2.5.2	Bluetooth LE	65
10.2.6	Připojení stanice k síti Internet.....	66
10.2.6.1	ENC28J60	66
10.2.6.2	WiFi	67
	ZÁVĚR	68
	CONCLUSION.....	69
	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY	70
	SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK.....	72
	SEZNAM OBRÁZKŮ.....	74
	SEZNAM TABULEK	76
	SEZNAM PŘÍLOH.....	77

ÚVOD

Meteorologie a klimatologie jsou vědy rozvíjející se již od nepaměti. Nejprve tyto disciplíny sloužily k praktickým poznatkům o místech, které bylo možné využít pro založení města a osady, později k určení vhodnosti pěstování určitých plodin. Dnes hraje meteorologie významnou roli například v předpovědích přírodních katastrof, které jsou spojeny s významnými materiálními škodami a ztrátami lidských životů.

Současný dynamický rozvoj na poli mikroprocesorové a výpočetní techniky umožňuje vytvořit síť amatérských meteostanic a díky tomu sbírat údaje o počasí na více místech a snáze. [3]

Smyslem stavby vlastní meteorologické spočíval v možnosti jak se naučit pracovat s výkonným typem mikroprocesoru a získat znalosti z odvětví, které byly prozatím neznámé.

Hlavní část meteostanice obsahuje výkonný 32-bitový mikroprocesor, který za pomoci snímačů měří teplotu, vlhkost, atmosférický tlak, množství srážek, směr a rychlost větru. Sekundární část obsahuje 8-bitový mikroprocesor, který přijímá údaj o teplotě od hlavního mikroprocesoru, a tento zobrazuje na velkém LED displeji. Dále obsluhuje ultrazvukový snímač vzdálenosti, který snímá přiblížení uživatele před meteostanicí a v závislosti na přiblížení zobrazuje údaje na dotykovém displeji. Stanice slouží k aktuálnímu zobrazení informací a měřené údaje si ukládá pouze pro zobrazení tendence počasí.

První kapitola této práce popisuje význam meteorologie jako vědní disciplíny a původ měření meteorologických veličin. V druhé kapitole je popis veličin, které meteostanice měří.

Kapitola třetí se zabývá metodami a postupy měření, jež jsou použity u této diplomové práce. Dále pokračuje část praktická, která začíná detailním popisem jednotlivých snímačů a pokračuje výběrem mikroprocesoru pro řízení stanice v páté kapitole.

Následuje návrh hardware popisující rozšiřující desku vstupů a výstupů, výběr dotykového LCD displeje a detaily vlastního modulu „Waluino“. Návrh, složení a mechanická konstrukce zařízení jsou obsaženy v kapitole sedmé.

Oživení a naprogramování jednotlivých částí, spolu se sestavením do jednoho celku, je uvedeno v kapitole osmé. Součástí je i popis programovacího prostředí používaného v tomto projektu. Závěrečná část je věnována srovnání měřených hodnot s meteostanicemi v okolí.

I. TEORETICKÁ ČÁST

1 VÝZNAM METEOROLOGIE

Meteorologie je věda zkoumající atmosféru, neboli plynný obal Země v kosmickém prostoru, který je přitahován gravitační silou. Sleduje složení, vlastnosti, stavbu a děje probíhající v atmosféře. Výstupem jsou informace použitelné v mnoha odvětví lidské činnosti, například v zemědělství, dopravě nebo vojenství.

Lidé sledovali počasí odnepaměti a první zmínky jsou datovány řeckými filozofy v antickém období. Později, v období objevování nových částí světa, bylo počasí sledováno a zaznamenáváno při průzkumných výpravách do neznámých oblastí Země. S nástupem fyziky dostala meteorologie vědní směr díky fyzikům, například Galileo, Boyle a Pascal, kteří položili základy této disciplíny a stanovili nejdůležitější veličiny. V řadě měst začíná pravidelné sledování počasí, stejně jako na našem území. Nejstarší záznamy jsou z hvězdárny v Praze na Klementinu, kde se začala data ukládat od roku 1752 a ukládají dodnes. Dlouhou dobu lidem trvalo, než dokázali na základě měřených dat počasí předpovídat, jako to děláme dnes.

2 MĚŘENÉ VELIČINY

Měřené meteorologické veličiny charakterizují aktuální fyzikální stav prostředí, v němž měření provádíme. Mezi tyto veličiny patří teplota vzduchu, relativní vlhkost vzduchu, atmosférický tlak, směr i rychlost vzduchu a množství srážek. Dále můžeme měřit množství oblačnosti, intenzitu okolního osvětlení nebo měření vlhkosti půdy.

2.1 Teplota vzduchu

Měření teploty vzduchu je nejčastější činnost v meteorologii, kterou zná každý člověk. Teplota nám nejvíce vypovídá o tom, jaké máme počasí, a každý tomuto měření rozumí, neboť se s ním setkává již od mládí. Údaj o teplotě nám lehce napoví, jak se máme obléci při vycházce z domu a je pro nás naprosto srozumitelný.

Pokud máme k dispozici pouhý teploměr, nemáme informaci o tendenci teplotního stavu, neboli nevíme, jak se teplota měnila během posledních hodin. Máme-li však k dispozici meteostanici, můžeme si zaznamenávat teplotu a prohlížet tendenci teplot, která je pro nás více vypovídající.

V klimatologii a meteorologii se teplota vzduchu měří ve výšce 2 m od zemského povrchu. Je to z toho důvodu, že se teplota se stoupající výškou mění. Běžný pokles teploty je o 0,65 °C na 100 m výšky. Dalšími údaji, které snímáme, jsou maxima a minima teplot za určité období (den, měsíc nebo rok). [3]

K měření teploty vzduchu používáme rtuťové teploměry (tepelná roztažnost rtuti závislá na teplotě), odporové kovové snímače (závislost rezistivity kovů na teplotě, většinou platina či nikl), odporové polovodičové snímače (závislost polovodiče na teplotě, zejména PTC s kladným teplotním součinitelem odporu a NTC s negativním součinitelem odporu), termoelektrické snímače teploty (vznik termoelektrického napětí při styku dvou různých kovů, například termočlánky typu K, T) a dilatační snímače teploty (změna délky nebo objemu materiálu při změně teploty). Měříme teplotu vzduchu vnitřního i teplotu vzduchu vnějšího. [1]

2.2 Relativní vlhkost vzduchu

Voda se na Zemi vyskytuje ve třech skupenstvích. Jako pevná (led), kapalná nebo plynná (pára). A právě vodní pára má největší vliv na počasí. Množství této páry ve vzduchu můžeme měřit a zaznamenávat takzvanou relativní vlhkost vzduchu. Jedná se tedy o množství

vodních par obsažených ve vzduchu. Vlhkost vzduchu má vliv na vznik srážek a oblačnosti, množství vodních par ve vzduchu je však závislé na teplotě vzduchu a atmosférickém tlaku. S rostoucí teplotou je potřeba více vodní páry k nasycení vzduchu. [2]

2.3 Rosný bod

Rosným bodem je označována virtuální hodnota teploty, na níž by se musel ochladit okolní vzduch, aby dosáhl stoprocentní relativní vlhkosti pro stejné množství par vody ve vzduchu. Tato veličina nám umožňuje předpovídat výskyt mlhy.

2.4 Atmosférický tlak

Hodnotu tlaku například 1017 hPa zná z počasí každý, co ale tato veličina znamená? Jedná se o tlak, kterým působí hmotnost vzduchu na Zemi. Atmosférický se nazývá proto, že jde o vzduch atmosféry a čím blíže jsme k Zemi, tím je tlak větší. Měříme tedy velikost tlaku atmosférického vzduchu na libovolnou plochu na Zemi.

Jednotka hektopascal je stonásobkem základní SI jednotky Pascal, která definuje sílu jednoho newtonu působící na plochu jednoho metru čtverečního. Hodnota atmosférického tlaku závisí na všech výše uvedených veličinách a je proto proměnlivá během dne. Podstatná je hlavně tlaková tendence, neboli změna tlaku během dne, než jeho absolutní hodnota. Základní tlak se měří ve výšce 0 metrů nad mořem a dosahuje hodnoty 1013, 25 hPa při teplotě 15 °C.

2.5 Směr a rychlost větru

Výše zmíněný atmosférický tlak má velký vliv na proudění větru díky snaze atmosféry o vyrovnávání tlaků na Zemi. Vždy se vzduch přesouvá z oblasti vysokého tlaku do oblasti tlaku nízkého. Rychlost přesunu vzduchu měříme jako rychlost proudění vzduchu v metrech za sekundu a řadíme do kategorií dle Beaufortovy stupnice, kterou v roce 1805 vytvořil sir Francis Beaufort pro potřebu stanovení vhodnosti vyplout na moře. Stupnice byla později přesně kvalifikována a doplněna o další čtyři stupně.

Směr větru udáváme ve stupních v rozsahu 0 až 360 °. Vítr se často mění velmi rychle, což může mít za následek poškození přírody i obydlí. Z tohoto důvodu je nutné sledovat rychlost a sílu větru. Rovněž sledujeme takzvanou proměnlivost větru, což znamená, že se vítr mění o více než 45 °.

Tab. 1. Beaufortova stupnice [17]

stupeň	rychlost větru [m/s]	slovní označení
0	0–0,2	bezvětří
1	0,3–1,5	vánek
2	1,6–3,3	slabý vítr
3	3,4–5,4	mírný vítr
4	5,5–7,9	dostí čerstvý vítr
5	8,0–10,7	čerstvý vítr
6	10,8–13,8	silný vítr
7	13,9–17,1	prudký vítr
8	17,2–20,7	bouřlivý vítr
9	20,8–24,4	vichřice
10	24,5–28,4	silná vichřice
11	28,5–32,6	mohutná vichřice
12	32,7 a více	orkán

2.6 Množství srážek

Kondenzace vodní páry ve vzduchu způsobuje vznik vodních srážek, které poté dopadají na Zemi v podobě kapalné nebo pevné. Množství srážek měříme v milimetrech vodního sloupce. Milimetr vodního sloupce představuje jeden litr vody na plochu jeden metr čtvereční.

Množství srážek je důležitý parametr počasí a sleduje se dlouhodobě. Díky dlouhodobému měření můžeme stanovit množství srážek za hodinu, den nebo i měsíc. Zajímavý parametrem je také množství srážek za rok, které je téměř konstantní, pouze se mění rozložení srážek v jednotlivých měsících.

Stejně jako u měření rychlosti větru máme definovanu tabulku pro množství srážek za hodinu.

Tab. 2. Množství srážek [17]

stupeň	množství srážek [mm/h]
velmi slabé	< 0,1
slabé	0,1 - 2,5
mírné	2,6 - 8
silné	8,1 - 40
velmi silné	> 40

3 METODY A POSTUPY MĚŘENÍ

Pro měření jednotlivých veličin existuje vždy několik možností, jak měření provádět. Stručně jsou popsány jednotlivé metody. Konkrétní metoda bude popsána v následující kapitole u použití konkrétního snímače.

3.1 Měření teploty vzduchu

K měření teploty se užívá několik typů teploměrů, které měří teplotu okolního vzduchu ve výšce 2 metry nad Zemí. Měříme teplotu suchou, vlhkou, minimální, maximální, průměrnou, pocitovou atp.

Teplotu vzduchu můžeme měřit odporovými kovovými snímači, které využívají změny odporu kovu při změně teploty, nejčastěji jde o materiály niklové či platinové (Pt100, Pt1000, Ni100, Ni1000). Odporové polovodičové snímače využívají obdobný princip, čili závislost polovodičového materiálu na teplotě. Jedná se o termistory, které se dělí na PTC (pozitivní změna při zvýšení teploty) a NTC (negativní změna). Dále se používají termoelektrické snímače využívající vznik termoelektrického napětí na měřicích koncích, přičemž v místě styku dvou různých kovů (většinou plazmový svár) se teplota měří.

3.2 Měření relativní vlhkosti vzduchu

Při měření vlhkosti se i dnes v některých meteorologických budkách používá metoda psychrometrická, která využívá dvou teploměrů, přičemž je jeden obalen do punčošky, která je ponořená ve vodě. Rozdíl teplot na teploměrech stanovuje množství vlhkosti. Tato metoda se však používá jen jako kontrolní.

Při měření elektronickou cestou využíváme odporových senzorů, jež využívají změnu vodivosti u materiálů pohlcujících vlhkost. Většinou se jedná o keramickou destičku s elektrodami nanesené v tenké vrstvě ve formě soli. Snímače jsou citlivé na kondenzaci vody a nelze je použít při vyšších teplotách.

Další metodou je sledování změny kapacity u kondenzátoru, který má zhotoveno dielektrikum z polymeru. Snímače jsou odolné vůči změnám teploty, mají dobrou přesnost a stabilitu, jsou rychlé a s miniaturními rozměry. Z těchto důvodů byl pro měření zvolen snímač firmy Sensirion SHT75, který pracuje na kapacitním principu.

3.3 Výpočet rosného bodu

Výpočet hodnoty rosného bodu u snímače SHT75 je prováděn kontinuálně při měření venkovní teploty a vlhkosti. Jen díky tomu, lze vypočítávat rosný bod s dostatečnou přesností, jelikož je měřena teplota a vlhkost v rámci jednoho keramického substrátu. Výpočet je přesný pro rozsah teplot od $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ až $+50\text{ }^{\circ}\text{C}$.

$$T_d = T_n * \frac{\ln\left(\frac{RH}{100\%}\right) + \frac{m*T}{T_n+T}}{m - \ln\left(\frac{RH}{100\%}\right) - \frac{m*T}{T_n+T}} \quad [^{\circ}\text{C}] \quad (1)$$

kde:

$T_n = 243.12$, $m = 17.62$ pro teploty 0 až $50\text{ }^{\circ}\text{C}$

$T_n = 272.62$, $m = 22.46$ pro teploty -40 až $0\text{ }^{\circ}\text{C}$

3.4 Měření atmosférického tlaku

Atmosférický tlak můžeme měřit pomocí kapalinového tlakoměru, kdy tlak určujeme z výšky kapalin ve sloupcích u nádob tvarů v podobě písmene U.

Modernější metody měření využívají deformace prvku, na který tlak působí. Snímače jsou přesné a levné.

Nejnovější snímače tlaku využívají technologie piezo-rezistivní MEMS (Micro-Electro-Mechanical-System), kdy dochází k deformaci prvku ve velmi sofistikovaném mechanickém ústrojí na úrovni křemíku. Právě tento systém využívá snímač BMP085 firmy BOSCH, který je použit u této meteostanice.

3.5 Měření směru a rychlosti větru

Směr a rychlost větru můžeme měřit mechanickými snímači, tzv. anemometry, které jsou jednoduché a levné. Fungují na principu korouhvičky, která se otáčí po směru větru. Rychlost větru se měří pomocí několika lopatek otáčejících se podle síly větru. Tento otáčivý pohyb se pomocí spínače přenáší v podobě impulsů do systému. Čím více impulsů za vteřinu systém obdrží, tím je rychlost větru vyšší.

Nevýhodou mechanických snímače jsou pohyblivé části, které se mohou znečistit a ovlivnit měření stejně jako obtížnost měřit větší poryvy větru. Tyto nevýhody odstraňuje ultrazvukový snímač umožňující měřit směr i rychlost větru v jednom zařízení. Princip je zalo-

žen na Dopplerově jevu. Snímač sestává z několika ultrazvukových snímačů a vysílačů. Měřená je doba odezvy mezi vysláním a příjmem ultrazvukového signálu.

3.6 Měření množství srážek

Srážky můžeme zaznamenávat jednoduchým zachytáváním deště do nádob a tyto po určité době nebo objemu vyprazdňovat a zaznamenávat.

Pro přesnější a jednodušší měření se využívají srážkoměry s překlápěním. Srážkoměr sestává ze zachytné plochy, která je ideálně jeden metr čtvereční. Dopadající srážky stékají otvorem do překlápějící se váhy, a když dosáhnou potřebného množství, váhy se překlopí a voda vyteče. Při tomto úkonu je generován impuls, který se zaznamená. Počet překlopení stanovuje množství, například 0.3 mm srážek. Spočítáním překlopení za hodinu získáme množství srážek za hodinu v milimetrech. Tato metoda je využita v popisované meteostanici.

Existují i další metody měření srážek, například optické laserové měření srážek, kdy je vytvořena optozávora z laseru o definované ploše. Změna intenzity laseru definuje množství srážek, přičemž je možné rozpoznat i druh srážek jako je déšť, kroupy, sníh nebo pouhá mlha.

4 SMĚRNICE A NORMY

Při tvorbě diplomové práce nebylo opomenuto ani životní prostředí a byly dodrženy příslušné normy. Mezi základní požadavky na moderní elektronické zařízení patří nařízení RoHS.

Při návrhu hardware byly také dodrženy normy platné v České Republice vztahující se k tvorbě elektronických zařízení.

4.1 RoHS

RoHS (Restriction of the use of Hazardous Substances) je nařízení, které zakazuje používání nebezpečných látek v elektronických výrobcích. Direktiva je platná od roku 2006 a byla vydána Evropskou komisí. Mezi zakázané látky patří kadmium, rtuť, olovo a další. V některých odvětvích průmyslu, jako je zdravotnictví nebo armáda, jsou uděleny výjimky pro použití těchto zakázaných látek. Při nákupu součástek byly vždy voleny ty, které splňovaly směrnici RoHS.

4.2 EMC

Základem byl zákon č. 22/1997 Sb. o technických požadavcích na výrobky, který byl postupně doplněn zákony č. 71/2000 Sb., 205/2002 Sb. a 227/2003 Sb. Zákon č. 22/1997 Sb. definuje požadavky pro výrobky obsahující elektroniku a popisuje způsoby a možnosti udělení prohlášení o shodě výrobku s platnými normami. Dle typu výrobku se vyberou příslušné normy a výrobce zařízení vydá prohlášení o shodě s příslušnými normami. Po otestování zařízení na příslušné normy může výrobce označit zařízení značkou CE a toto prodávat v rámci Evropské Unie.

Všechna elektronická zařízení musí splňovat normy EMC (ElectroMagnetic Compatibility), které definují zařízení jako kompatibilní v případě, že zařízení neovlivňuje jiné zařízení včetně sebe samého a že odolává vlivům od jiných přístrojů. Elektromagnetickou kompatibilitu dělíme na dvě podkategorie, EMI a EMS.

EMI (ElectroMagnetic Interference) neboli rušení, označuje proces šíření rušivých signálů ze zařízení pomocí elektromagnetické vazby. Snažíme se o co nejmenší rušení našeho zařízení do připojených vodičů a pomocí elektromagnetického pole.

EMS (ElectroMagnetic Susceptibility) označuje odolnost našeho zařízení vůči rušení přicházejícím po vodičích nebo elektromagnetickým polem. Snažíme se o co největší odolnost našeho zařízení tím, že odstraňujeme důsledky rušení.

Z českých harmonizovaných norem jsou využity ČSN EN 61000-6-X, jež pojednávají o elektromagnetické kompatibilitě a popisují prostředí pro užívání elektronického výrobku, jeho odolnost a vyzařování. Dále ČSN EN 61000-4-X, které popisují jednotlivé zkoušky odolnosti (surge, burst) a požadované limity.

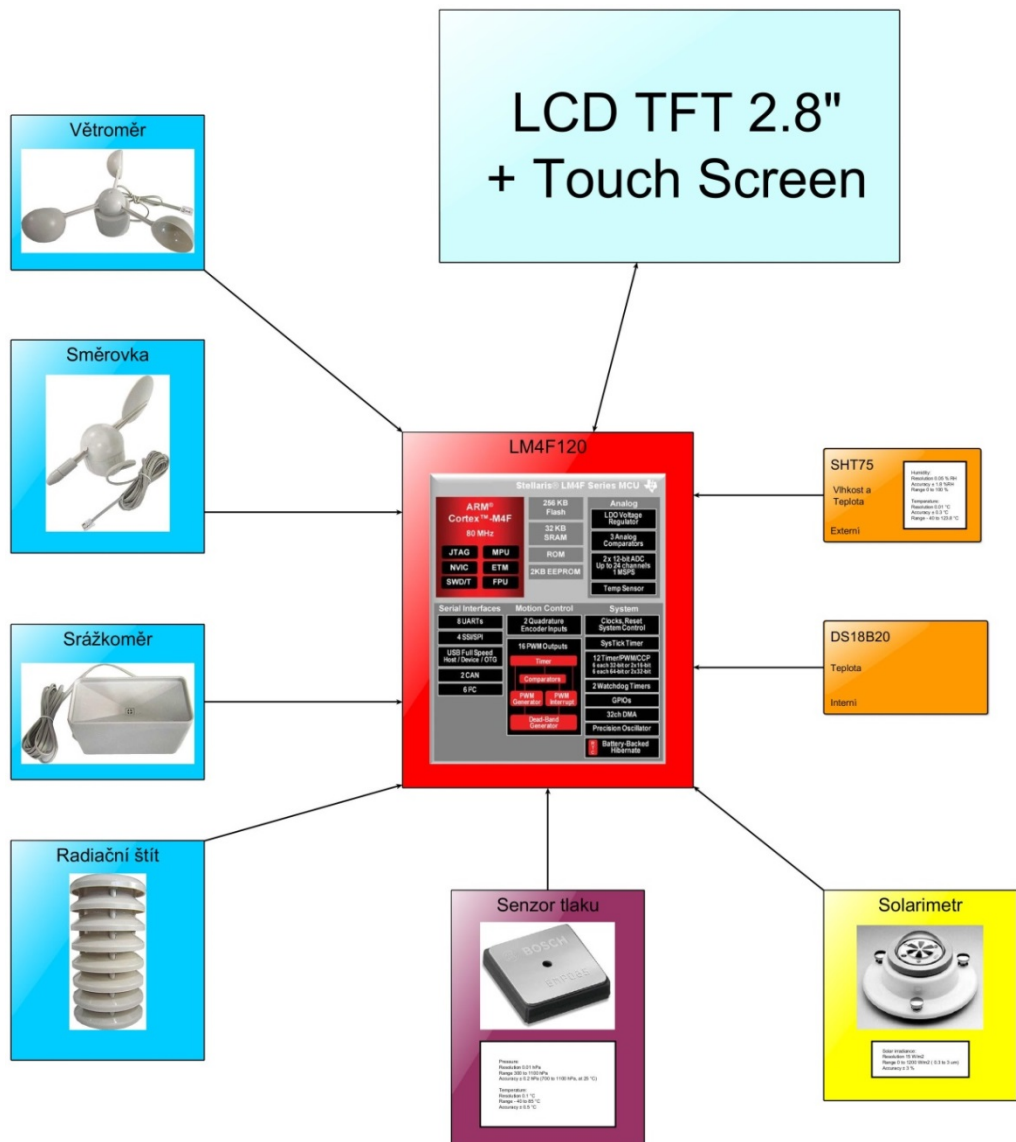
Ačkoli je v těsné blízkosti FAI UTB vědeckotechnický park ICT, v němž je možnost ověřit zařízení na požadavky elektromagnetické kompatibility a jehož vybavenost je více než dobré, nebylo možné přezkoušení meteostanice na zkoušky EMC. Možnost ověření elektromagnetické kompatibility je ve firmě MESIT holding a.s. v Uherském Hradišti nebo ve Vojenském technickém ústavu pozemního vojska ve Vyškově. Tyto zkoušky jsou finančně nákladné, a proto byla tato varianta zamítnuta.

I. PRAKTICKÁ ČÁST

5 VÝBĚR SNÍMAČŮ

Snímače teploty, vlhkosti, tlaku, větru i srážek byly vybírány s ohledem na několik parametrů. Vždy bylo přihlédnuto na nejlepší poměr mezi přesností a cenou. Jednoduchost implementace byla až druhotným parametrem, což znamenalo vyšší náročnost na nastudování jednotlivých snímačů a také prodloužení doby mezi nákupem snímače a jeho připojením k systému.

Smyslem meteostanice nebyla co nejrychlejší implementace, ale co nejširší použití snímačů a rozšíření si rozhledu v používaných prvcích. Na následujícím obrázku lze vidět blokové schéma zapojení meteostanice a následuje popis jednotlivých částí.

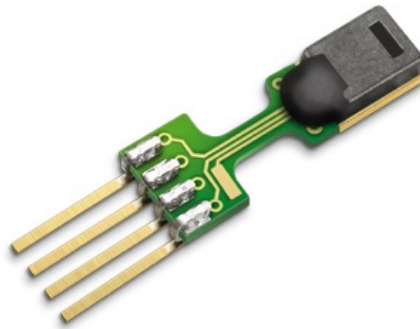


Obr. 1. Blokové schéma meteostanice [vlastní zpracování]

5.1 Snímač teploty a relativní vlhkosti vzduchu

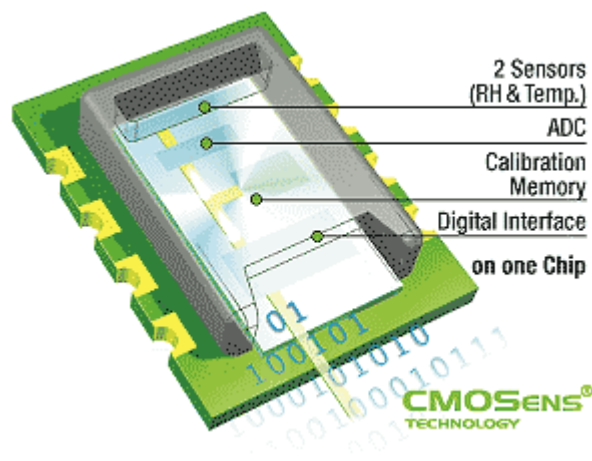
Pro snímání teploty a relativní vlhkosti byl vybrán kombinovaný snímač SHT75 od firmy Sensirion. Řešení v podobě měření obou veličin na jednom čipu poskytuje řadu výhod. Díky měření v jednom místě je k dispozici ve stejný okamžik informace o vlhkosti a zároveň o teplotě. To vylučuje chybu při výpočtu rosného bodu, která vzniká u systému odděleného měření teploty a vlhkosti.

Snímač je plně kalibrován díky interní kalibrační paměti obsahující kalibrační konstanty. Podstatným a žádaným parametrem je dlouhodobá teplotní stabilita, kterou snímač nabízí, a také, je preferována nízká spotřeba.



Obr. 2. Snímač SHT75 [18]

Složení snímače využívá technologii patentovanou firmou Sensirion, založenou na kapacitním principu snímání vlhkosti vzduchu. Sestava je patrná z následujícího obrázku (Obr. 3).



Obr. 3. Vnitřní uspořádání snímače SHT75 [18]

Na desce plošných spojů je plastové pouzdro obsahující snímače vlhkosti a teploty (RH – Relative Humidity & Temp – Temperature), dále analogově digitální převodník, kalibrační paměť a digitální rozhraní.

Parametry snímače SHT75 jsou následující:

Tab. 3. Relativní vlhkost SHT75 [18]

Parametr	Podmínka	Min	Typ	Max	Jednotka
Rozlišení		0.4	0.05	0.05	%RH
		8	12	12	Bit
Přesnost	typ		± 1.8		%RH
Opakovatelnost			± 0.1		%RH
Hystereze			± 1		%RH
Čas odezvy	tau 63%		8		S
Pracovní rozsah		0		100	%RH
Dlouhodobý posun			< 0.5		%RH/year

Tab. 4. Teplota SHT75 [18]

Parametr	Condition	Min	Typ	Max	Units
Rozlišení		0.4	0.01	0.01	° C
		12	14	14	Bit
Přesnost	typ		± 0.3		° C
Opakovatelnost			± 0.1		° C
Pracovní rozsah		-40		123.8	° C
Čas odezvy	tau 63%	5		30	S
Dlouhodobý posun			< 0.04		° C/year

Napájecí napětí pro snímač je v rozsahu od 2.4 V do 5.5 V. Digitální rozhraní je obdobné známému rozhraní I2C, avšak nelze snímač adresovat metodou používanou u sběrnice I2C. Snímač obsahuje čtyři piny: VCC, GND, DATA a SCK. Podrobnosti jsou uvedeny v kapitole o programování snímače.

Jedinou nevýhodou snímače je jeho cena, která byla v době tvorby této práce 1568 Kč za kus. Kvalitu snímače SHT75 dokládá četné užití prvku ve zdravotnictví a certifikace RoHS (*Restriction of the use of certain Hazardous Substances*) a REACH (Registrace, Evaluace a Autorizace Chemických látek).

Snímač je ukryt v radiačním krytu, který slouží pro ochranu snímače před deštěm a před dopadem sálavého tepelného záření. Povrch krytu odráží sálavé teplo a tím zabraňuje ovlivnění snímače. Rozložení lamel krytu umožňuje přirozené proudění vzduchu.



Obr. 4. Radiační kryt
[vlastní zpracování]

5.2 Snímač atmosférického tlaku

K měření atmosférického tlaku byl vybrán precizní snímač tlaku BMP085 od firmy BOSCH, s velmi nízkým příkonem a s rozsahem měření od 300 do 1100 hPa. S celkovou přesností 2.5 hPa a šumem pouhých 0.03 hPa (což představuje nepřesnost 0.25 m při určení nadmořské výšky) nabízí velmi dobré hodnoty pro domácí meteostanici. Spotřeba snímače klesá na pouhých 3 uA v režimu nízké spotřeby. Při běžném používání, kdy se vyčítá hodnota každou vteřinu, je spotřeba 12 uA.

Snímač BMP085 pracuje na piezo-rezistivním principu s technologií MEMS (Micro-Electro-Mechanical-System), což nabízí velkou odolnost proti elektromagnetickému rušení, velkou přesnost, linearitu a dlouhodobou stabilitu. Součástka je v robustním osmipinovém pouzdře LCC o rozměrech 5 x 5 x 1.2 mm v bezolovnatém provedení a komunikuje prostřednictvím sběrnice I2C při rychlosti až 3.4 MHz. Napájecí napětí je v rozsahu od 1.6 do 3.6 V.



Obr. 5. Snímač BMP085 [19]

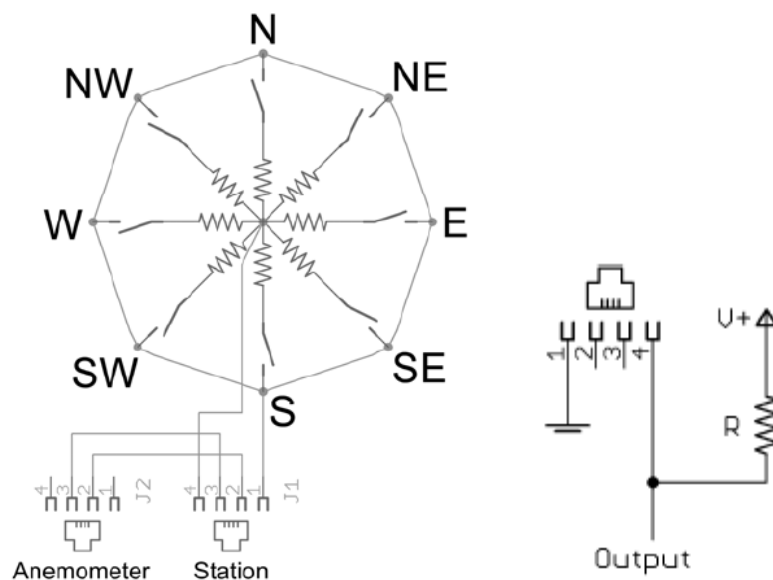
5.3 Snímač směru a rychlosti větru

Pro měření rychlosti a směru větru byla na zvaženu výroba vlastního anemometru i směrovky. Nakonec bylo vybráno řešení v podobě nákupu náhradních dílů k meteostanici WH1080, které lze zakoupit jednotlivě. Jedná se o mističkový anemometr s magnetickým kontaktem.



Obr. 6. Mističkový anemometr [vlastní zpracování]

Druhou částí je směrovka, neboli ukazatel směru větru, sestávající z osmi magnetických spínačů, přičemž každý spínač je připojen k rezistoru s odlišnou hodnotou. Vzniká tak 16 různých kombinací hodnot rezistorů, které jsou uvedeny v následující tabulce. Za pomoci napěťového děliče s rezistorem 10 k Ω a analogově digitálního převodníku je hodnota rezistoru převedena na směr větru.



Obr. 7. Zapojení anemometru [20]

Tab. 5. Hodnoty rezistorů anemometru [20]

Direction (Degrees)	Resistance (Ohms)	Voltage (V=5v, R=10k)
0	33k	3.84v
22.5	6.57k	1.98v
45	8.2k	2.25v
67.5	891	0.41v
90	1k	0.45v
112.5	688	0.32v
135	2.2k	0.90v
157.5	1.41k	0.62v
180	3.9k	1.40v
202.5	3.14k	1.19v
225	16k	3.08v
247.5	14.12k	2.93v
270	120k	4.62v
292.5	42.12k	4.04v
315	64.9k	4.78v
337.5	21.88k	3.43v



Obr. 8. Směrovka větru [vlastní zpracování]

5.4 Snímač množství srážek

Rovněž snímač pro měření množství srážek je součástí náhradních dílů k meteostanici WH1080. Množství srážek zaznamenává samo vyprazdňovací miskový váhový srážkoměr, který sbírá dopadající vodní srážky do jedné z misek.

K automatickému vyprázdnění dojde vždy po nashromáždění 0,2794 mm srážek. Při tomto vyprázdnění je zaznamenán impuls pro výpočet celkových srážek. Pokud je obdržen jeden impuls za hodinu, znamená to, že na Zemský povrch o ploše 1 metr čtvereční napršelo 279.4 ml srážek.



Obr. 9. Miskový srážkoměr [vlastní zpracování]

6 VÝBĚR MIKROPROCESORU

Jako hlavní řídicí jednotka byl zvolen 32 bitový mikroprocesor, ke kterému jsou připojeny všechny snímače fyzikálních veličin. Hlavním důvodem volby 32 bitového mikroprocesoru bylo naučit se pracovat s moderním prvkem s architekturou ARM (Advanced RISC Machine) a dále bylo zamýšleno použití dotykového displeje a pozdější rozšiřování.

Mikroprocesory s architekturou ARM byly vyvinuty firmou ARM Limited v Británii v roce 1984 a byly doslova revoluční změnou oproti zavedeným standardům. Procesory ARM lze dnes najít nejen v každém mobilním telefonu, ale i v perifériích pro osobní počítače jako jsou pevné disky, routery atp.

ARM procesory se vyznačují velkou efektivitou, která není zvýšena pouhým zvýšením frekvence. Při pouhém zvýšení frekvence totiž nastává problém se spotřebou energie a zvyšuje se náročnost návrhu hardware. Mikroprocesory ARM se vydaly cestou sofistikovaného zpracování strojových instrukcí na nižší taktovací frekvenci. Využívají technologie zřetězení (pipeline) a také novou sadu příkazů, tzv. Thumb-2, díky níž lze dosáhnout až o 70 % vyššího výkonu při zpracování instrukcí.

Rodina procesorů ARM je velmi velká a její popis přesahuje náplň této práce. Podrobnosti lze najít v knize ARM pro začátečníky. [7]

Nejvíce rozšířená je rodina embedded procesorů Cortex-Mx, která nabízí vysoký výkon a bohaté množství periférií. Rodina sestává z typů M0, M0+, M1, M3 a M4, lišící se výkonem. Z důvodu pozdějšího rozšiřování meteorostanice byla již při návrhu zvolena nejvyšší třída Cortex-M4, respektive Cortex-M4F i když by pro danou aplikaci jistě postačil procesor z nižší řady. Řada Cortex-M4F navíc obsahuje FPU (Floating Point Unit), což je jednotka pro rychlé výpočty s desetinnou čárkou.

6.1 Kritéria výběru mikroprocesoru

Prvotní požadavky na výběr procesoru byly nenáročné. Smyslem bylo naučit se pracovat s novým typem procesorů bez požadavků na konkrétního výrobce. Potřebný byl rychlý procesor s dostatečným množstvím vstupně výstupních portů pro připojení snímačů a pokud možno s podporou pro dotykové displeje. Z důvodu snadnosti vývoje bylo vhodné využít vývojový kit za příznivou cenu a vývojové prostředí od výrobce s licencí zdarma.

Procesory ARM Cortex-M4F vyrábí několik výrobců. Na výběr bylo z následujících firem: Atmel, Energy Micro, Freescale, Infineon, NXP, STMicroelectronics a Texas Instruments.

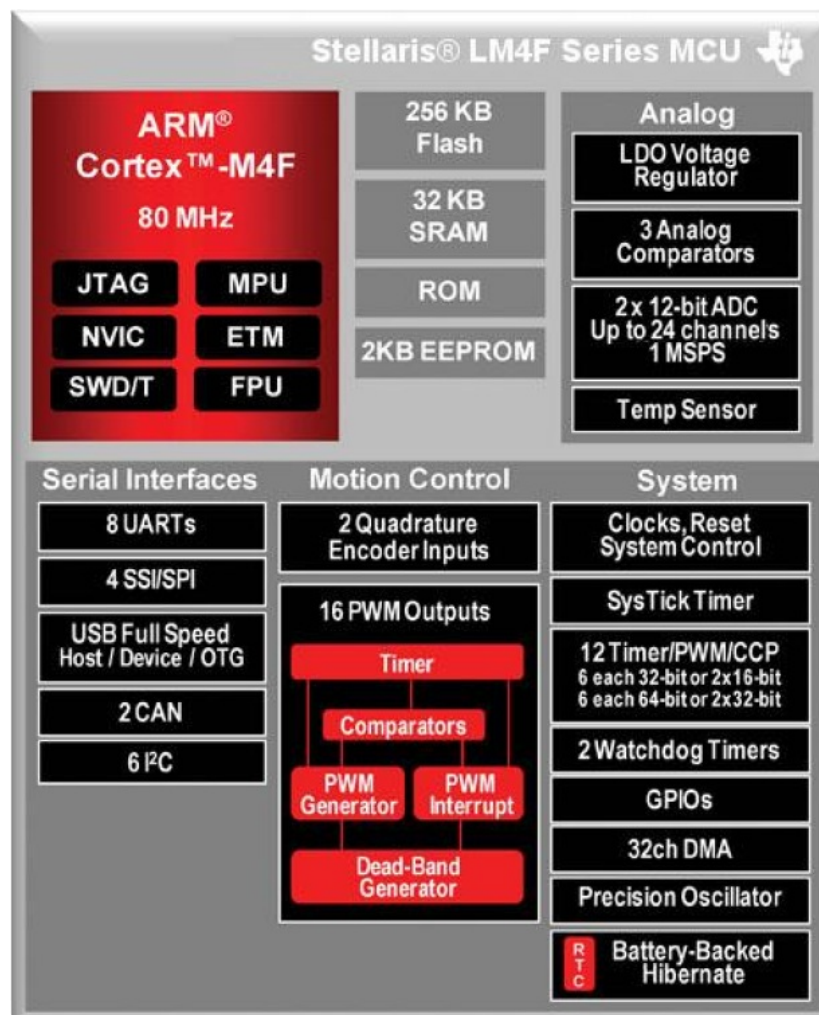
Dle kritérií popsaných výše byl zvolen procesor poslední jmenované firmy, Texas Instruments (dále jen TI), typ Stellaris LM4F120H5QR.



Obr. 10. Mikroprocesor
LM4F120H5QR [8]

6.2 LM4F120H5QR

Stellaris LM4F120H5QR je ARM Cortex-M4 procesor s FPU (Floating Point Unit) pro rychlejší výpočty s desetinnou čárkou. Rychlost taktovací frekvence je až 80 MHz. Místo pro uložení programového kódu je 256 kB Flash. Pro uložení dat disponuje pamětí 32 kB SRAM a pro uložení dat i v případě ztráty napájení nabízí procesor 2 kB EEPROM. Součástí je i paměť ROM, v níž je uložen bootloader pro komunikaci s programovým prostředím. Z periférií nabízí dva rychlé 12 bitové analogově digitální převodníky, 16 výstupů s pulsně šířkovou modulací PWM (Pulse Width Modulation), sběrnici USB (Universal Serial Bus), 8 sériových linek UART (Universal Asynchronous Receiver Transmitter), 6 sběrnic I²C (Inter Integrated Circuit), 4 sběrnice SPI (Seriál Peripheral Interface), obvod reálného času RTC (Real Time Clock), 12 čítačů/časovačů, SysTick timer a několik režimů pro úsporu energie. Procesor je vyroben 65 nm technologií pro vyvážený poměr mezi výkonem a spotřebou elektrické energie. Doporučený rozsah napájecího napětí je 3,15 až 3,63 V. [8, online]

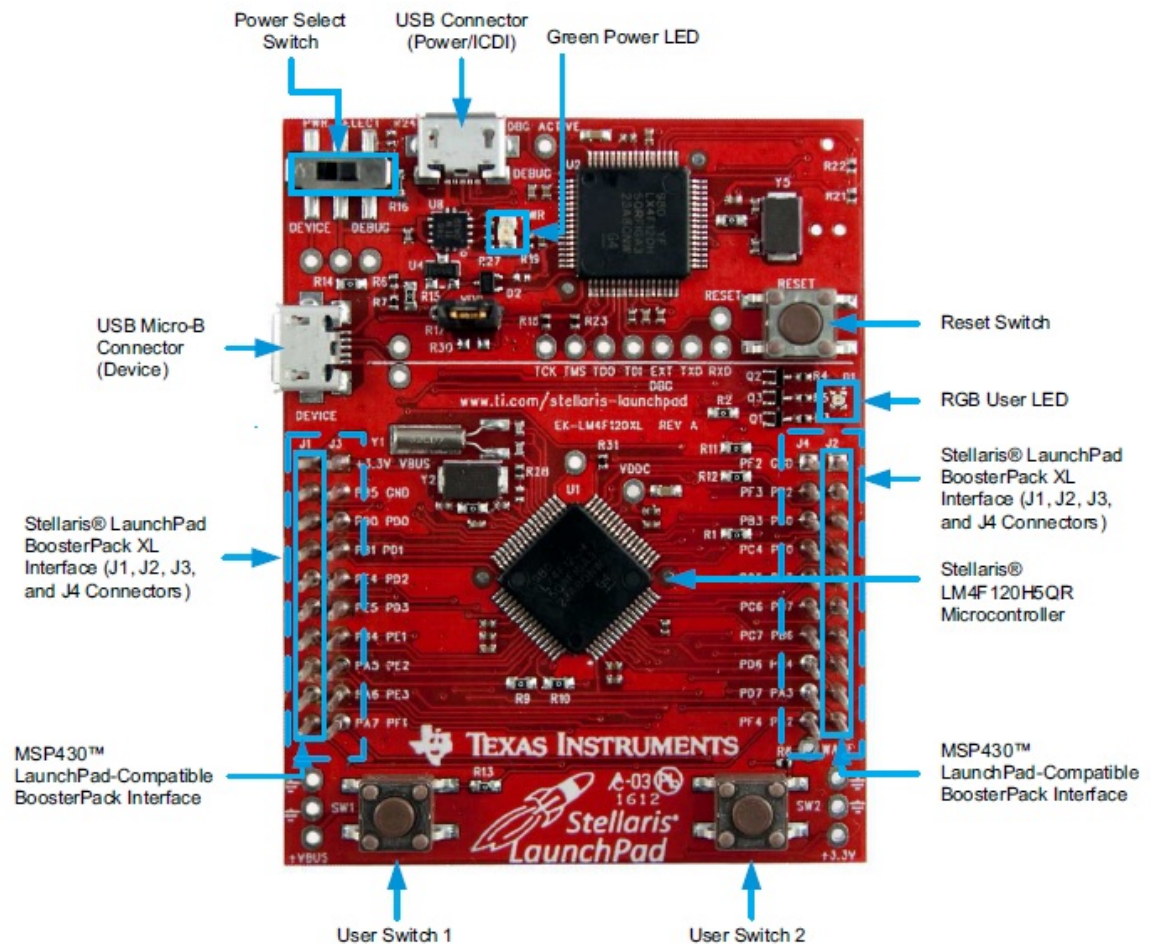


Obr. 11. Složení mikroprocesoru LM4F120H5QR [9]

6.3 Stellaris LM4F120 Launchpad Evaluation Board

Vývojový kit firmy TI s názvem Stellaris LM4F120 je velmi levný vývojový prostředek sestávající ze dvou částí. První část slouží k programování finální procesoru a obsahuje tzv. ICDI (In Circuit Debug Interface), USB micro B programovací konektor, RESET tlačítko, indikační zelenou LED (Light Emitting Diode) svítivou diodu a přepínač pro funkci programování nebo USB režim.

Druhá část obsahuje procesor ARM Cortex-M4F, dvě uživatelské tlačítka, třibarevnou RGB (Red Green Blue) LED svítivou diodu, a dva 20-pinové konektory s vyvedenými piny procesoru v rozteči 2,54 mm.



Obr. 12. Vývojový kit Stellaris Launchpad [9]

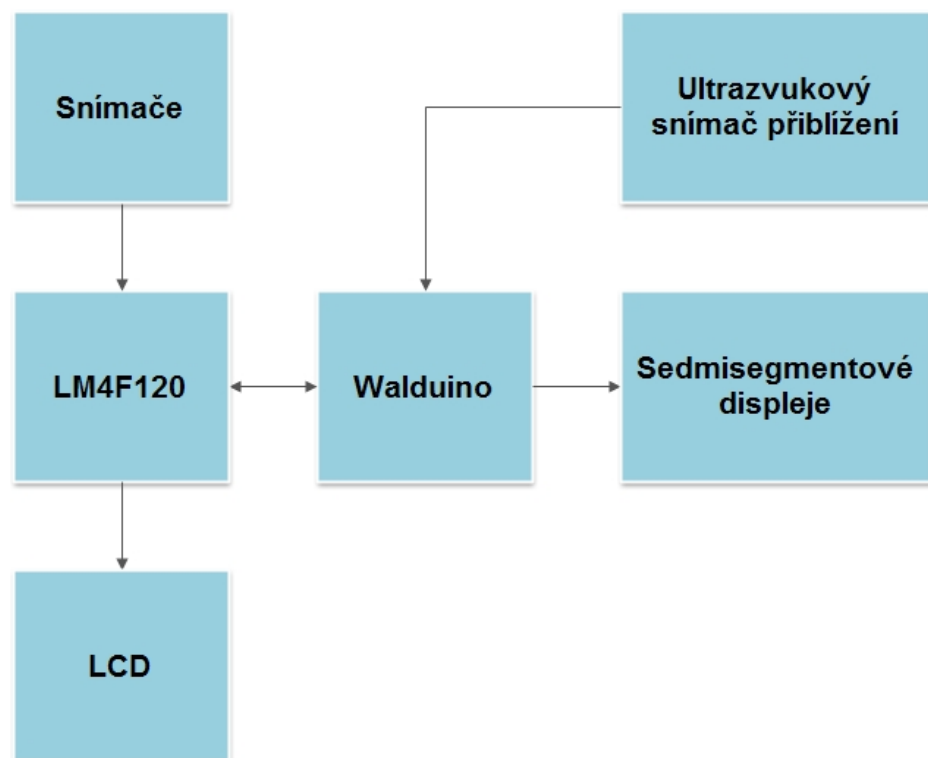
Rozměry vývojového kitu jsou 5 x 6 x 11 cm, napájení v rozmezí 4.75 až 5.25 V zajišťuje ICDI z USB portu osobního počítače. Zajímavostí je, že kit obsahuje vlastně dva stejné procesory LM4F120H5QR. Jeden slouží k programování druhého, cílového procesoru.

Zajímavá je také nákupní cena. K datu 30.1.2014 stojí jeden kus procesoru 11 USD, cena vývojového kitu obsahující dva kusy procesoru je pouhých 13 \$. Firma TI tedy cenu vývojového kitu dotuje, což je dobrou strategií pro rozšíření procesoru mezi vývojáře.

7 NÁVRH HARDWARE

Ačkoli je vývojový kit firmy TI vybaven dvěma konektory, na kterých je vyvedeno čtyřicet pinů procesoru, bylo rozhodnuto o návrhu a výrobě dvou desek plošných spojů. Celá koncepce představuje sendvič složený z více desek plošných spojů, jak bylo popsáno v předchozí kapitole. První deska, uložená pod deskou kitu, obsahuje pouze svorkovnice a slouží k připojení snímačů meteorostanice. Druhá deska, uložená nad desku vývojového kitu, slouží pro připojení dotykového displeje a obsahuje také spínací tranzistor pro možnost vypnutí a zapnutí podsvícení dotykového displeje.

Blokové schéma zapojení hardware části je na následujícím obrázku. K hlavnímu mikroprocesoru LM4F120 jsou připojeny všechny snímače fyzikálních veličin a dotykový displej. Nejdůležitější hodnota o venkovní teplotě je posílána sériovou linkou do Walduina, což je samostatná deska s mikroprocesorem a připojeným velkým sedmissegmentovým displejem. Podrobnosti budou popsány v následujících podkapitolách.



Obr. 15. Blokové schéma HW části [vlastní zpracování]

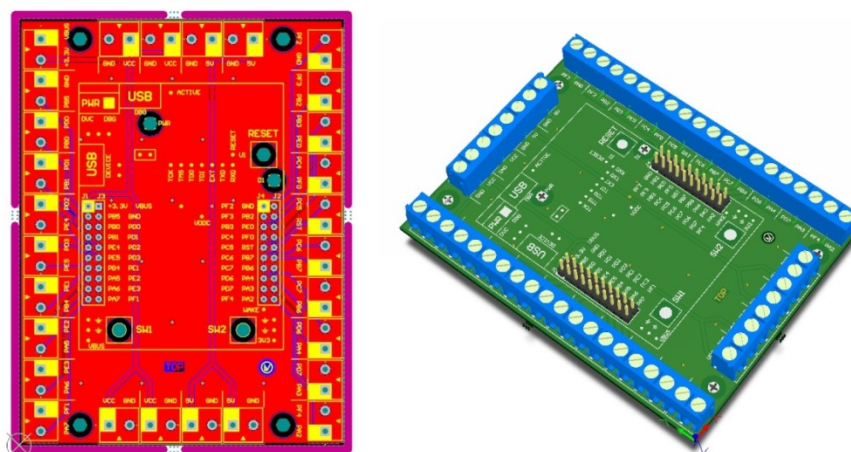
7.1 Altium Designer

K návrhu hardware byl použit návrhový systém Altium Designer ve verzi 14. Program slouží pro kreslení schémat i plošných spojů a vychází z programu Protel Pcb. Altium nabízí návrh plošného spoje v 3D, čímž se podstatně zvyšuje přesnost návrhu a umožňuje kooperaci s mechanickými návrhovými nástroji, jako jsou Solidworks, Autodesk Inventor nebo SpaceClaim. [26].

Pro studenty je licence programu k dispozici zdarma skrz českého distributora programu. Podrobnosti lze najít na www.edatools.cz a www.altium.com.

7.2 Rozšiřující deska vstupů a výstupů

K připojení jednotlivých snímačů slouží rozšiřující deska, která obsahuje pouze dva dvacetipinové konektory pro připojení k hlavnímu vývojovému kitu a dále několik šroubovacích svorkovnic, na nichž jsou vyvedeny vstupy i výstupy procesoru a napájecí napětí.



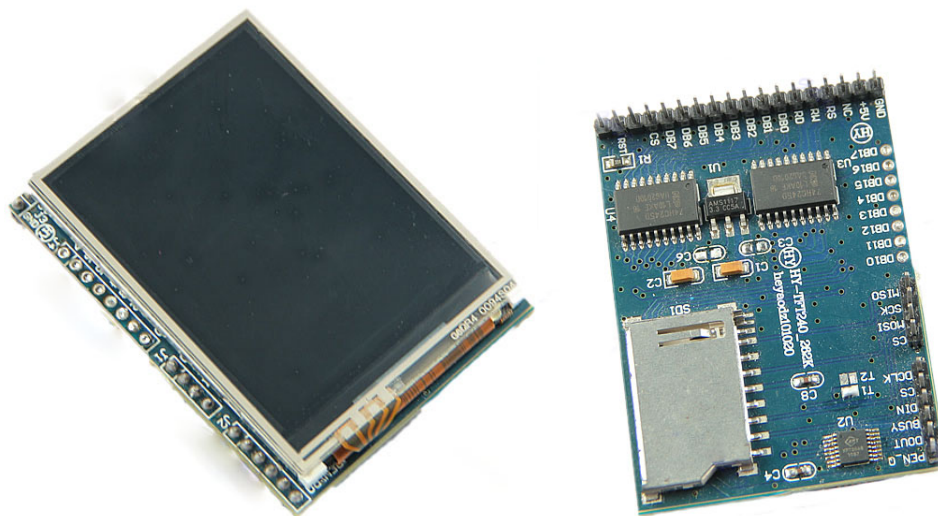
Obr. 16. Rozšiřující deska k vývojovému kitu [vlastní zpracování]

7.3 Dotykový LCD displej

Pro zobrazení údajů o počasí a pro ovládání celé meteostanice slouží dotykový 2.4“ TFT LCD (Thin Film Transistor Liquid Crystal Display) displej s rozlišením 240 x 320 bodů. Displej obsahuje velmi populární řadič ILI9325.

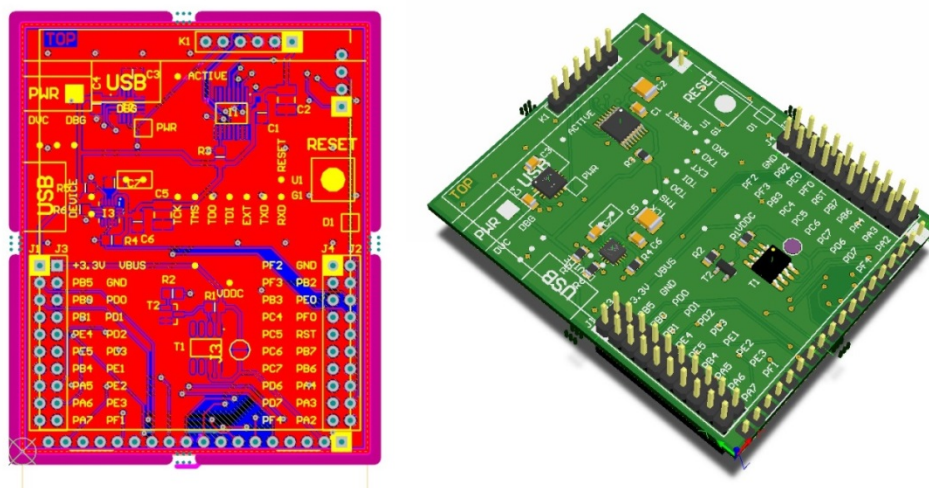
7.3.1 Rozšiřující deska pro LCD

Displej je osazen na desce plošných spojů se slotem pro SD kartu, dvěma převodníky napětí pro připojení k systému s napájením 5 V.



Obr. 17. LCD displej [vlastní zpracování]

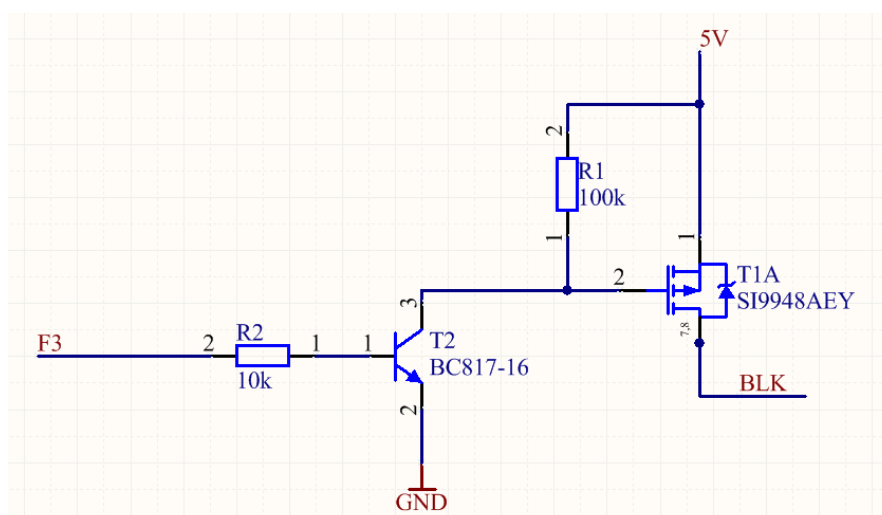
Displej bohužel nemá druhou paměť pro ukládání grafických prvků, jako mají dražší displeje. Díky tomuto nedostatku je možno při překreslování displeje vidět probliknutí.



Obr. 18. Rozšiřující deska pro LCD displej [vlastní zpracování]

7.3.2 Spínání podsvícení

Z důvodu úspory energie je součástí rozšiřující desky pro LCD displej také spínací unipolární tranzistor SI9948 typu P, doplněný o bipolární tranzistor BC817-16.



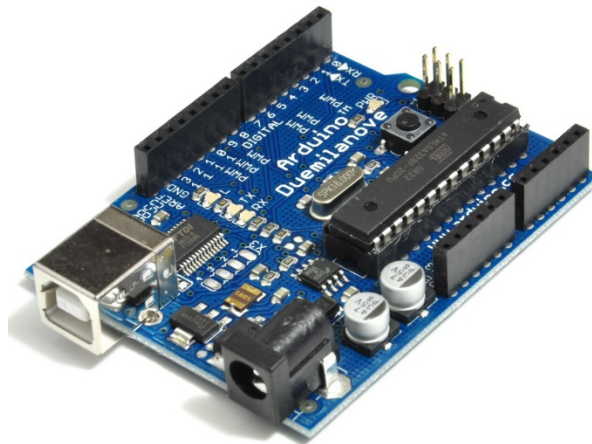
Obr. 19. Schéma zapojení spínače podsvícení LCD displeje
[vlastní zpracování]

7.4 Walduino

Walduino je vlastní modifikace platformy Arduino, která je využívána pro rychlé vytváření prototypových zařízení a pro ověření funkčnosti hardware.

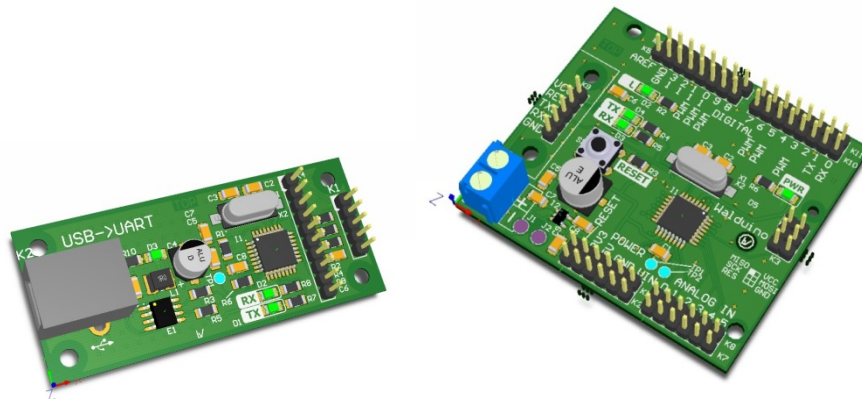
Projekt Arduino vznikl v Itálii v roce 2005 a od počátku měl být „open-source“ platformou vhodnou pro studenty k výuce tvorby jednoduchých prototypů. Platforma je založena na mikroprocesoru ATMega firmy Atmel a grafickém vývojovém multiplatformním prostředí vycházejícího z jazyka Wiring, který je obdobný jazyku C++. Arduino může sloužit k vytvoření interaktivních zapojení nebo může být spojeno k software na osobním počítači, jako například Macromedia Flash, Processing, atp.

Základních Arduino modulů existuje několik typů. Nejznámější jsou Uno, Mega, Due a Nano.



Obr. 20. Originální Arduino Duemilanove [25]

K projektu je volně k dispozici veškerá projektová dokumentace a tak lze vytvořit klon k původnímu Arduinu, jako je například Walduino, které vychází z Arduina Duemilanove a jenž je použito i v této diplomové práci.



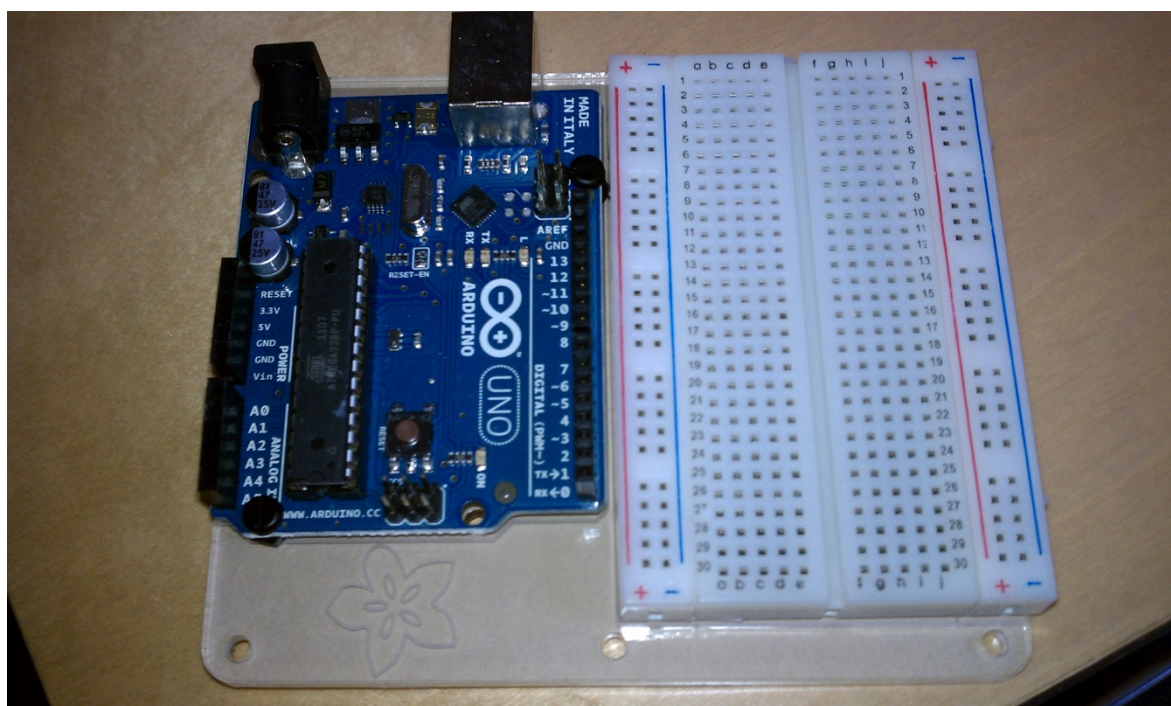
Obr. 21. Walduino [vlastní zpracování]

Důvody pro vytvoření vlastního Arduino klonu byly dva. Primárním důvodem byla cena. Originální Arduino Duemilanove se prodává za cenu kolem 700 Kč. Původní Arduino bylo rozděleno na dvě části, jelikož každé Arduino obsahuje část, ve které je převodník z USB sběrnice na sériovou linku, a v druhé části je samotný procesor s konektory.

Vlastní řešení tedy spočívá v desce s převodníkem USB na sériovou linku, vylepšené o ochranu USB sběrnice obvodem USB6B1 firmy ST Microelectronics, jenž obsahuje ochranné diody a transil pro ochranu datových vodičů proti přepětí. Dále je osazena tlumi-

vka o hodnotě 22 uH pro odrušení proudových špiček a dvě LED diody pro indikaci obousměrné komunikace.

Druhým důvodem bylo nevhodné rozmístění postranních konektorů, které slouží k rozšíření systému pomocí „sendvičové“ metody. Všechny Arduino moduly obsahují dvojici postranních konektorů pro propojení s dalšími moduly. Tyto konektory jsou úmyslně rozmístěny tak, aby nebylo možno vsunout modul do nepájivého pole. Modul Walduino má dvě řady postranních konektorů, díky čemuž lze desku zasadit do nepájivého pole a přitom využít všechny rozšiřující desky určené k originálnímu Arduino.



Obr. 22. Arduino a prototypové nepájivé pole [24]

Díky těmto úpravám klesne výrobní cena jednoho Walduina na 250 Kč (100 Kč DPS + 150 Kč součástky). Navíc je možné vložit Walduino do prototypové desky, čímž vzniká velká flexibilita při vytváření prototypů.

Walduino obsahuje mikroprocesor ATmega 328 firmy Atmel, napájí se z USB sběrnice nebo skrze svorkovnici napětím 5 V. Nabízí 14 digitálních pinů, přičemž 6 pinů lze využít jako PWM (Pulse Width Modulation) výstup. Výstupní proud z každého pinu je maximálně 40 mA a procesor běží na frekvenci 16 MHz. K dispozici je Flash paměť o velikosti 32 kB, SRAM paměť 2 kB a EEPROM paměť 1 kB.

7.4.1 Ultrazvukový snímač

Smyslem ultrazvukového snímače v meteostanici je bezdotykové zobrazení aktuálních hodnot o počasí pouhým mávnutím ruky u meteostanice. Po mávnutí se zobrazí hodnota venkovní teploty na pěti sedmissegmentových displejích a zapne se LCD displej s ostatními údaji. Po odečtení těchto hodnot se mávnutím ruky oba displeje opět vypnou.



Obr. 23. Ultrazvukový snímač HC-SR04
[vlastní zpracování]

Ultrazvukový snímač HC-SR04 je kompaktní modul o rozměru 20 x 44 x 15 mm a stojí 100 Kč. Rozsah měření je v rozmezí 2 až 400 cm s rozlišením 1 cm. Modul obsahuje ultrazvukový vysílač, přijímač a ovládací elektroniku. Napájení je 5 V, spotřeba proudu je menší než 2 mA, úhel snímání je $< 15^\circ$ a frekvence snímání je 40 kHz.

Princip snímače spočívá v nastavení inicializačního pulsu o délce 10 us na pinu Trig, následuje vyslání osmi pulsů s frekvencí 40 kHz na vysílacím ultrazvukovém měniči, přičemž se tyto pulsy šíří vzduchem k předmětu před snímačem. Vlny se od předmětu odrazí a vrací se zpět k snímači, kde se pomocí přijímacího měniče snímají. Doba mezi vysláním a přijmutím dává po přepočtu vzdálenost předmětu od snímače.

7.4.2 Sedmissegmentový display

Prioritní údaj o počasí je venkovní teplota. Tento údaj je sledován každé ráno a je proto nejdůležitější. Aby byla hodnota o teplotě zřetelná a výrazná, zobrazuje se na velkých

sedmissegmentových LED displejích. První slouží k zobrazení znaménka teploty, další čtyři slouží k zobrazení teploty s přesností na dvě desetinná místa.



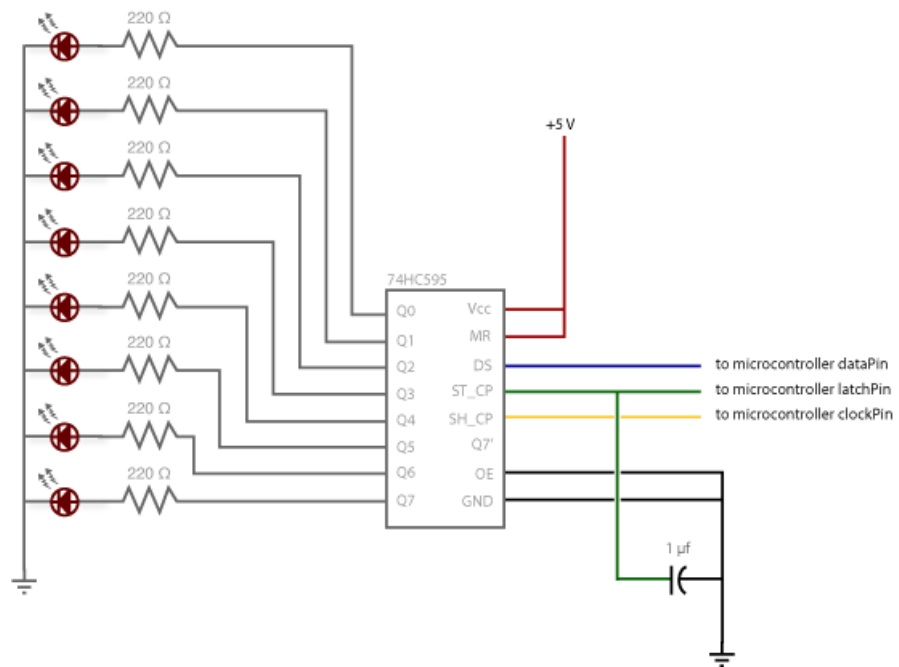
Obr. 24. Sedmissegmentové displeje [vlastní zpracování]

Pro dobré zobrazení byly zvoleny sedmissegmentové LED displeje SA10-21SRWA. Výška segmentu displeje je 25.4 mm (1 palec), napájecí napětí jednoho symbolu je 6 V (jeden symbol obsahuje vždy dvě LED diody v sérii), proud 20 mA a svítivost v rozmezí od 52 do 120 mcd při proudu 10 mA.

7.4.3 Shift register 74HC595

Pro úsporu pinů na Walduinu je použit posuvný registr, který obsahuje řadu klopných obvodů a díky hodinovým pulsům se hodnota na vstupu přesouvá na výstup. Registr má tři vstupy (DATA, LATCH a CLOCK) a osm výstupů (Q0 až Q8).

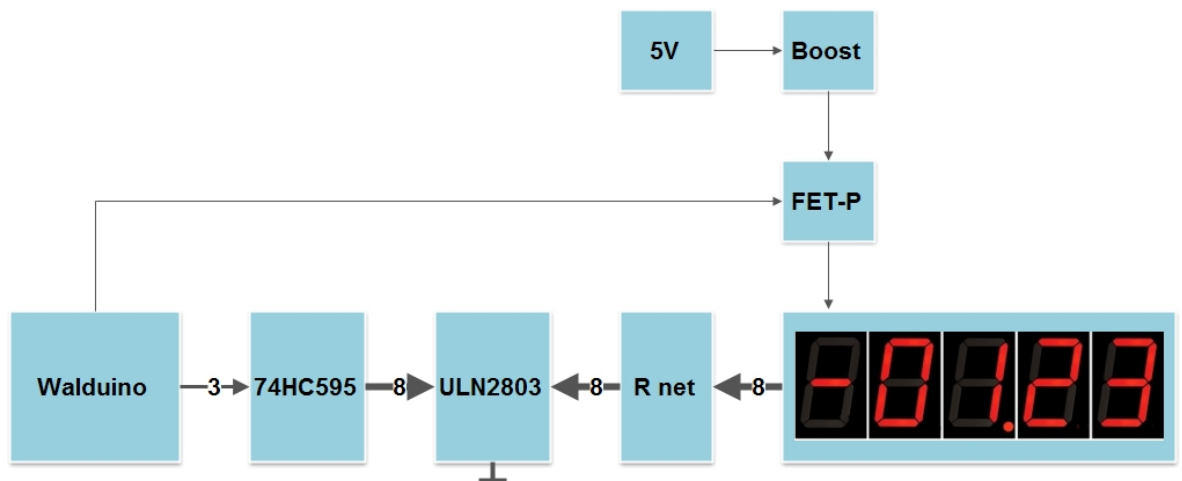
Po přijetí hodinového signálu na CLOCK se posune hodnota na DATA do posuvného registru. Po vložení osmi hodnot pošleme na pin LATCH logickou jedničku, čímž přesuneme všech osm hodnot na výstup.



Obr. 25. Ukázka principu obvodu 74HC595 [25]

7.4.4 Tranzistorové pole ULN2803

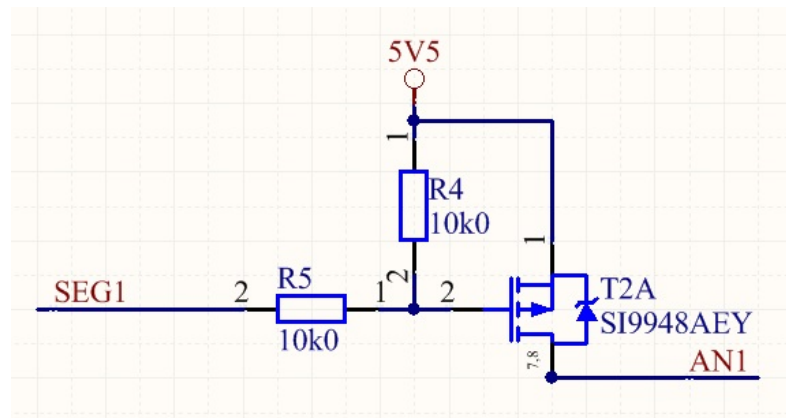
Pro posílení proudu tekoucího skrze LED displeje je použito tranzistorové pole ULN2803 obsahující osm tranzistorů NPN v Darlingtonově zapojení s výstupním proudem pro jeden kanál až 500 mA. Pro spínání segmentů sloužit P-FET SI9948 a pro vytvoření potřebného napětí je použit Boost DC/DC měnič LM2733.



Obr. 26. Blokové schéma zapojení sedmisedgmentových displejů
[vlastní zpracování]

7.4.5 Spínání segmentů MOS FET tranzistory

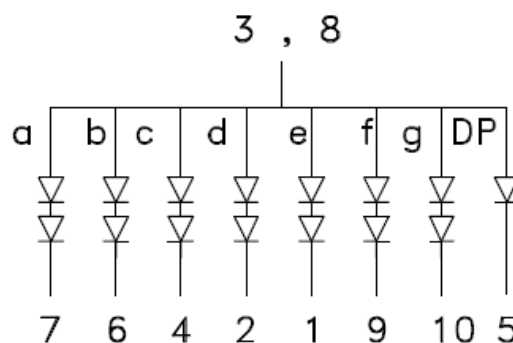
Úspora pinů Walduina vedla ke spínání katod LED displejů pomocí unipolárních tranzistorů FET s kanálem P. Využívá se metoda „multiplexing“, která spočívá ve spínání jednotlivých číslic rychle za sebou, přičemž lidské oko toto blikání nezaznamenává.



Obr. 27. Schéma zapojení spínání sedmissegmentových displejů [vlastní zpracování]

7.4.6 Step-Up zvyšující měnič

Jelikož byly zvoleny sedmissegmentové LED displeje velké velikosti, je uvnitř každého segmentu dvojice LED diod.

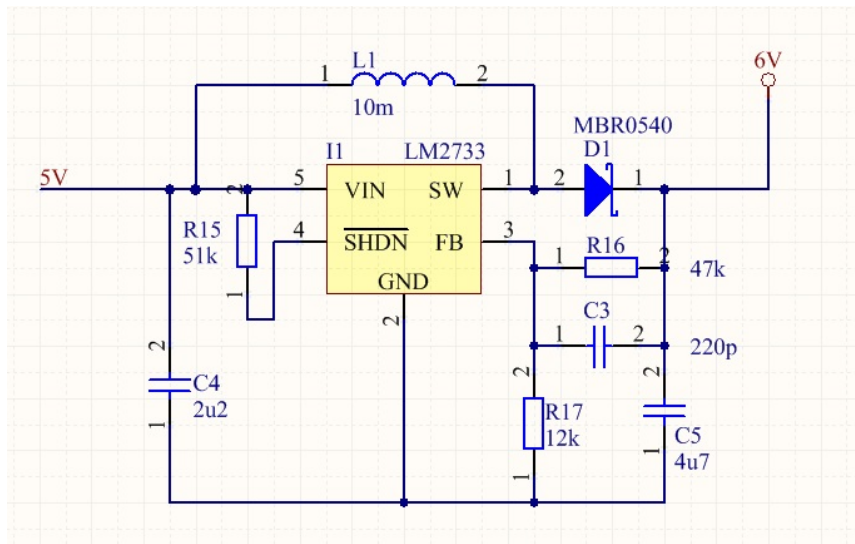


Obr. 28. Složení sedmissegmentového displeje [vlastní zpracování]

Napětí pro jednu diodu je 3 V a proto bylo potřeba z dostupného napětí 5 V, které může být z napájecího zdroje či USB portu, vytvořit 6 V pro dvojice LED diod. K tomuto účelu slouží zvyšující Boost DC/DC měnič LM2733 firmy Texas Instruments obsahující FET

spínací tranzistor pro 40 V pracujícím v rozmezí vstupních napětí od 2.7 do 14 V při proudu do 1 A.

Měnič je nabízen s frekvencí 600 kHz nebo 1.6 MHz v pouzdře SOT-25. Zvolen byl kmitočet nižší, aby se předešlo vyzařování rušivých frekvencí na vysokých kmitočtech, čímž lze dosáhnout lepších výsledků při testech na elektromagnetickou kompatibilitu.

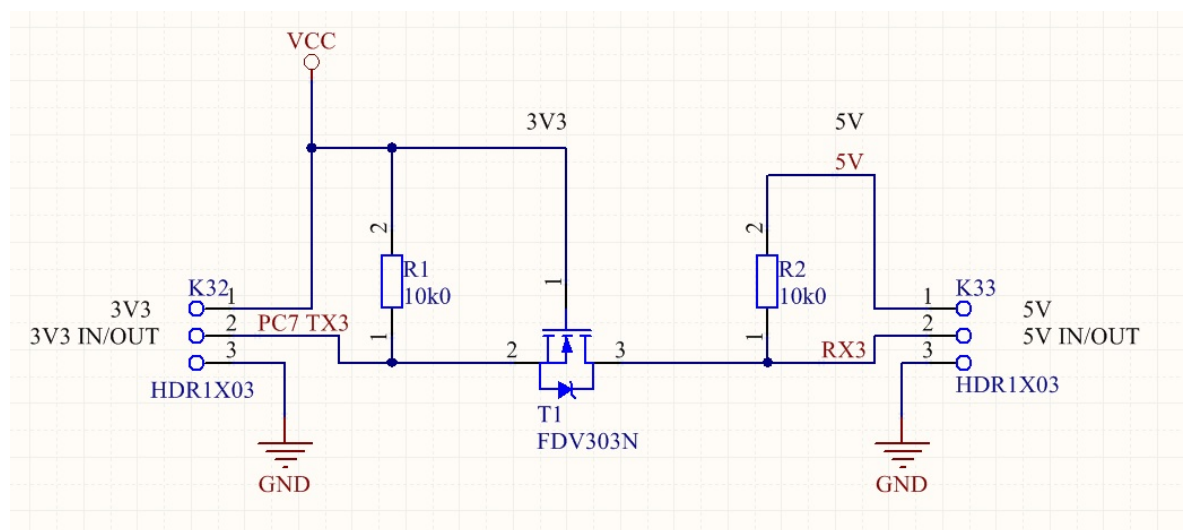


Obr. 29. Schéma zapojení Boost DC/DC měniče

[vlastní zpracování]

7.4.7 Převodník 3V3-5V

Jelikož hlavní procesor LM4F120H5QR vyžaduje napájecí napětí v rozmezí 3,15 až 3,63 V a modul Walduino pracuje s napětím 5 V, bylo potřeba při přenosu informace mezi systémy, který probíhá po sériové lince, zvolit převodník napěťových úrovní. K tomuto účelu slouží osvědčené zapojení s unipolárním FET tranzistorem FDV303N typu N.



Obr. 30. Schéma zapojení převodníku napětových úrovní [vlastní zpracování]

8 MECHANICKÁ KONSTRUKCE

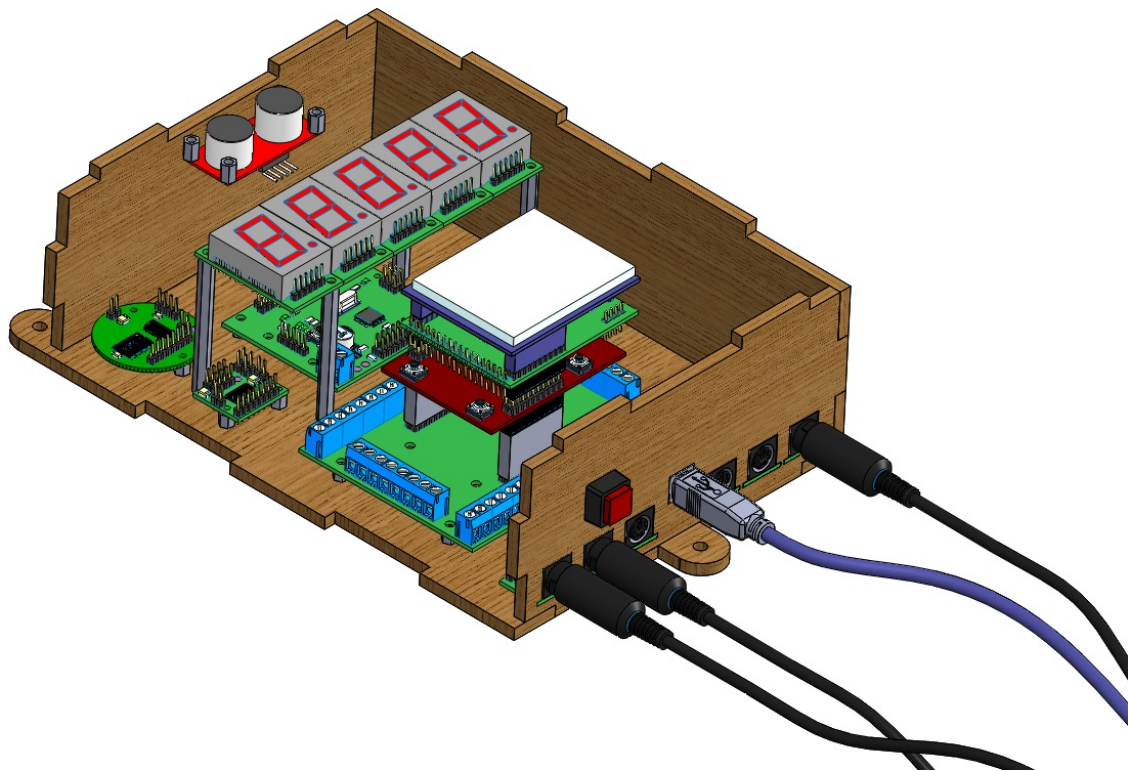
Při sestavování meteostanice byl využit 3D mechanický CAD (Computer Aided Design) software Solidworks od firmy Solidworks.

8.1 Solidworks

Solidworks je velmi známý CAD systém, který definoval standard ve strojírenství a jiných oblastech průmyslu. Vzhledem k velké rozšířenosti je možné pomocí zásuvných modulů, které jsou integrovány přímo do systému, propojit mnoho odborníků z různých profesí a využítí všech funkcí, které program nabízí. Solidworks nabízí jednoduché a rychlé CAD zpracování dat při dodržení všech platných norem a předpisů.

V programu Solidworks byly vytvořeny všechny modely součástek pro Altium Designer. Následně po návrhu hardware v Altium Designer byly exportovány 3D modely všech desek plošných spojů se součástkami a tyto sestaveny v programu Solidworks.

Díky tomuto programu bylo sestavení velmi zjednodušeno, ačkoli vytvoření jednotlivých součástek zabralo hodně času. I přesto je tento postup výhodný a ve finále precizní přístup uspořil mnoho času a sestavení celku bylo bez jakýchkoli potíží.

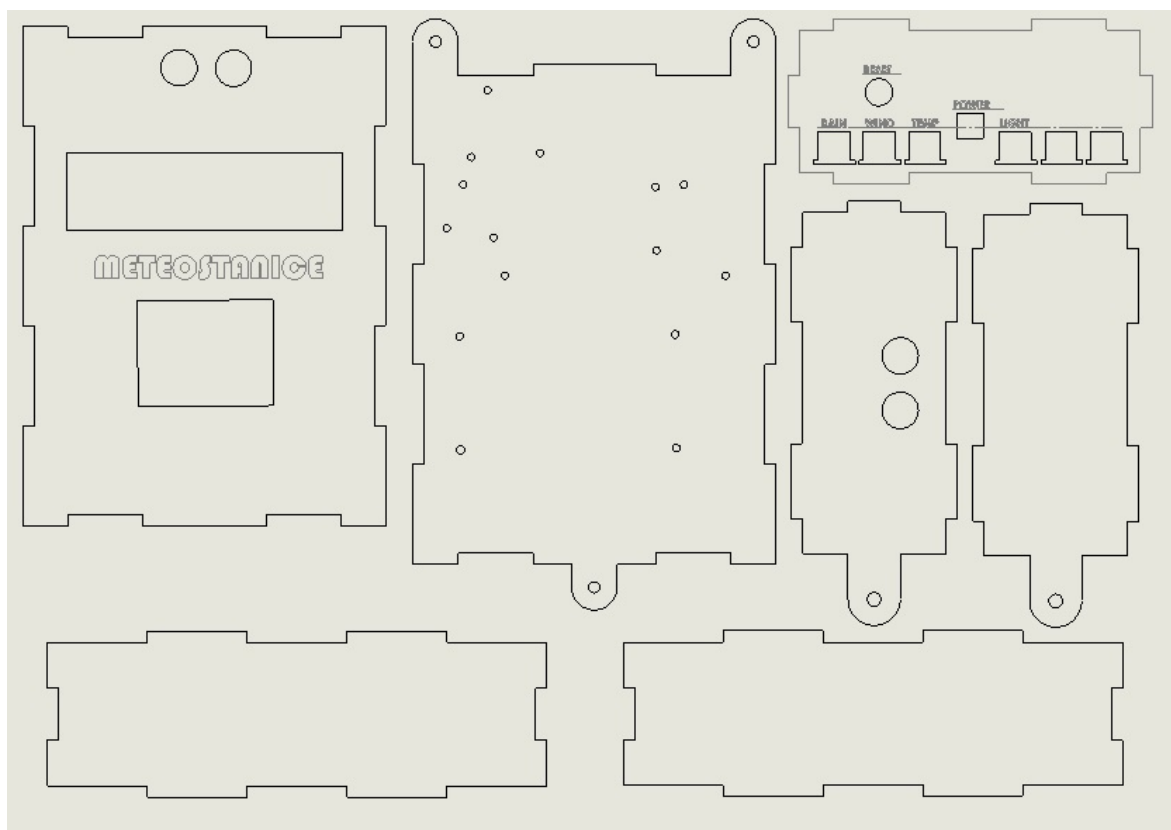


Obr. 31. Sestavení meteostanice v programu Solidworks [vlastní zpracování]

8.2 Řezání laserem

V programu Solidworks byla navrhnutá i krabička pro meteostanici, která byla následně vyřezána laserem z 5 mm široké překližky. Toto řešení bylo levné a v důsledku dostačující. Vyřezané díly byly velmi přesné a díky preciznímu návrhu vše do sebe zapadlo. Nevýhodou překližky je však to, že se ohýbá. Jednotlivé díly byly mírně prohnuty a při celkovém lepení bylo potřeba díly pevně fixovat. Na závěr byla celá krabička přetřena třemi vrstvami bezbarvého laku. Cena krabičky byla 200 Kč.

Z důvodu prohýbání překližky bylo zvažováno vyřezání stejné krabičky z 5 mm širokého polymethylmethakrylátu, běžně známého pod pojmem plexisklo. Cena by byla vyšší z důvodu vyšší ceny vstupního materiálu a také náročnosti při vypalování dílů laserem. Přesná cena byla stanovena na 700 Kč. Prozatím je tato varianta nerealizována a ponechána do budoucna.



Obr. 32. Šablona krabičky pro řezání laserem [vlastní zpracování]

9 NÁVRH SOFTWARE

Pro oživení jednotlivých snímačů bylo potřeba naprogramovat software, k čemuž sloužil standardní programovací jazyk C. Tento programovací jazyk vznikl v roce 1972 pro potřeby operačního systému Unix a jedná se o nejznámější a nejoblíbenější programovací jazyk. Jazyk je multiplatformní, což umožňuje psaní programů v různých operačních systémech.

K programování hlavního mikroprocesoru v dodávaném prostředí Code Composer Studio sloužil embedded jazyk C, který má mnoho společného s jazykem základním, nabízí však doplňky určené přímo k mikroprocesoru.

9.1 Code Composer Studio

CCS (Code Composer Studio) je integrované vývojové prostředí (IDE) od firmy Texas Instruments pro programování embedded mikroprocesorů. Sestává z několika nástrojů pro vývoj a ladění embedded aplikací pro celou rodinu procesorů. Nabízí prostředí pro tvorbu programového kódu, debugger, simulátor a mnoho prostředků pracujících v reálném čase. Díky tomu může uživatel kontrolovat každý krok vývoje, který je o poznání rychlejší a jednodušší.

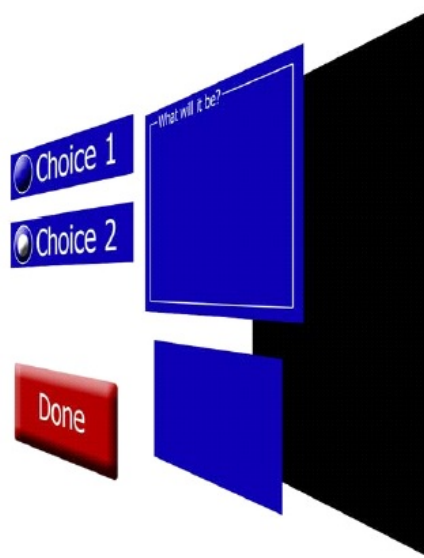
Code Composer Studio je založeno na bázi vývojového prostředí Eclipse, což je „open source“ platforma pro programování v jazyce JAVA. Díky tomu je možno pomocí zásuvných modulů rozšířit seznam podporovaných jazyků o další jako jsou C++, PHP nebo i UML, HTML nebo XML. Firma Texas Instruments využívá toto prostředí k tvorbě CCS za pomoci pluginů potřebných pro vývoj na embedded zařízeních. Díky programovacímu jazyku JAVA je možno provozovat CCS jak na Windows, tak i na Linuxu. Cena prostředí CCS je na počátku roku 2014 téměř 800 \$, pro nekomerční použití je k dispozici FREE verze zdarma [<http://www.ti.com/tool/ccstudio>, 2014].

9.1.1 Stellaris Graphics Library

Jelikož padla volba na použití barevného dotykového displeje, bylo nutné zjistit, jak takový displej obsluhovat. Firma Texas Instruments nabízí grafickou knihovnu Stellaris Graphics pro dotykové displeje a tak nebyl důvod tuto knihovnu nevyužít. Zvolený displej disponoval řadičem ILI9325, který patřil mezi podporované řadiče, a implementace knihovny do programu se zdála být snadnou záležitostí.

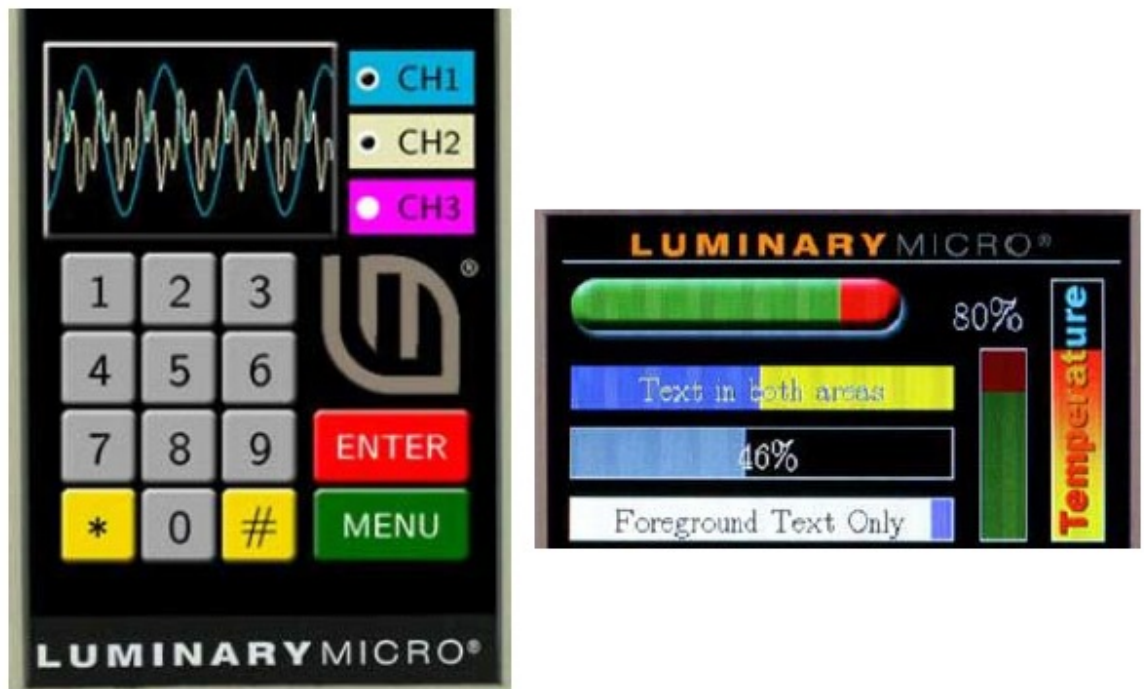
Knihovna nabízí jednoduché použití dotykových displejů pro programátory, aniž by museli detailně znát principy vykreslování grafických prvků na displeji a také principy práce s rezistivní dotykovou plochou.

Při práci s grafickou knihovnou se využívají objekty, takzvané „planes“, které se překreslují na sebe od spodní hladiny. Nejprve se tedy vykreslí hladina pozadí, na ni se vykreslí objekt okno a do tohoto okna se vykreslí například tlačítka.



Obr. 33. Objekty „planes“ v grafické knihovně [11]

Podporováno je vykreslení textů s několika fonty, různých grafických elementů jako jsou kružnice, čtverce a čáry, z nichž si může uživatel seskládat grafické prostředí. Mnohem snadnější je využít již hotových prvků, takzvaných widgetů, jako jsou tlačítka, zaškrťovací okénka, přepínací tlačítka, seznamy nebo posuvníky.



Obr. 34. Náhled na grafické objekty [11]

Původní domněnka o implementaci již hotové knihovny však byla mylná. Práce s widgety není úplně snadná a u některých byly zjištěny podstatné nedostatky. Například některé widgety nebyly domyšleny a jejich použití bylo spíše na obtíž, než k užítku.

9.2 Pin MUX

Pin MUX je jednoduchý nástroj firmy Texas Instruments, který dokáže velmi zjednodušit počáteční nastavení procesoru před programováním. Pomocí grafického rozhraní si uživatel vybere periférie procesoru, které bude chtít používat, jako například vstupní a výstupní porty, sběrnice I2C, SPI, USB a další, časovače a čítače, sériové linky nebo přerušení. Program Pin MUX poté vygeneruje kód v jazyce C a ten je možno přímo vložit do prostředí Code Composer Studia. Velkou výhodou je to, že program sám hlídá možné kolize při použití více funkcí u jednoho výstupu a tyto automaticky ošetří.

9.3 UART

Synchronní sériové rozhraní UART (Universal Asynchronous Receiver and Transmitter) slouží pro sériovou komunikaci mezi zařízeními. Lze je nastavit buď pro asynchronní přenos, který je využit ke komunikaci mezi hlavním procesorem LM4F120H5QR a vedlejším

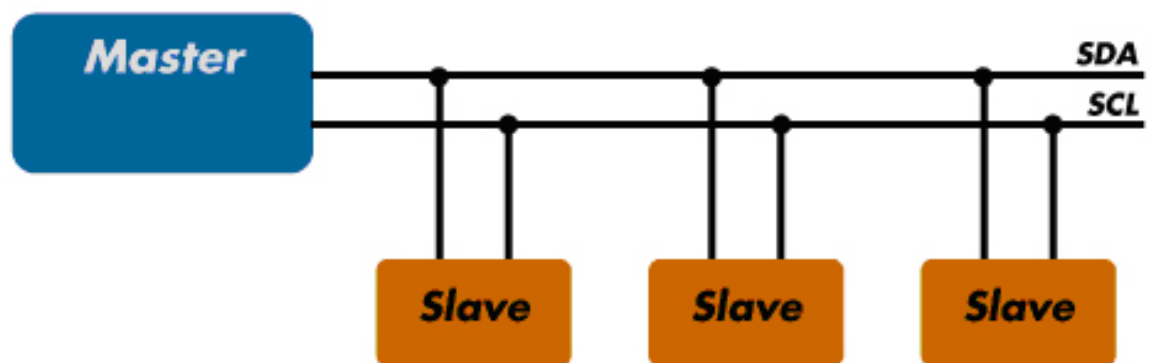
procesorem ATmega328 obsaženým na desce Walduina, nebo pro synchronní přenos využívající se u sběrnice SPI.

Asynchronní přenos vysílá data na pinu Tx (transmit) a přijímá data na pinu Rx (receive). V klidovém stavu je linka v logické jedničce a komunikaci zahajuje poklesem do logické nuly. Komunikace je zahájena START bitem, následuje vyslání nejnižšího bit vyslání dat a ukončuje STOP bit. Rychlost přenosu dat mezi mikroprocesory je 115 200 Bd.

9.4 Sběrnice I2C

Sběrnice I2C (Inter-Integrated Circuit) je sériový synchronní polo duplexní sběrnice. Využívá společný hodinový signál a umožňuje vyslání v jeden okamžik pouze jednomu zařízení. I2C je obecně složitější, ale hodně flexibilní externí sériová sběrnice, která se často používá v elektronice i na vzdálenosti několika metrů.

Jak bylo již řečeno, může v jeden okamžik vysílat pouze jedno zařízení, označeno jako Master, a přijímat může zařízení několik.



Obr. 35. Zapojení prvků na I2C sběrnici [23]

Jak je z obrázku patrné, sběrnice využívá ke komunikaci dva vodiče. První vodič, označen SDA, slouží pro přenos dat. Vodič druhý, označen SCL, slouží pro přenos hodinového signálu k synchronizaci. Každý z dvojice vodičů je nutno připojit přes pull-up rezistory k napájecímu napětí, aby se udržel stav logické jedničky v době, kdy žádné zařízení nevysílá. K meteostanici je přes sběrnici I2C připojen snímač atmosférického tlaku BMP085 firmy Bosch. Obdobnou sběrnici jako je I2C využívá i snímač teploty a vlhkosti SHT75 firmy Sensirion.

Jako Master je v meteostanici mikroprocesor LM4F120H5QR, který řídí celou sběrnici systémem „polling“, kdy se jednou za sekundu zeptá snímače BMP085 na hodnotu tlaku.

Pokud je na sběrnici zařízení více, jsou rozlišeny unikátní adresou, kterou mají dānu od výrobce. V klidovém stavu jsou oba signály v logické jedničce. Komunikaci zahajuje Master tím, že úroveň SDA sníží do logické nuly. Tím je vyslán START bit a zahájena komunikace. Následuje adresa zařízení, která je většinou sedmibitová a bit R/W, kterým se určuje, zda se bude zapisovat do registru v zařízení, nebo zda se z registru bude informace vyčítat. Hodnota každého bitu je čtena náběžnou hranou, čili v okamžiku, kdy signál SCL přechází z logické nuly do logické jedničky.

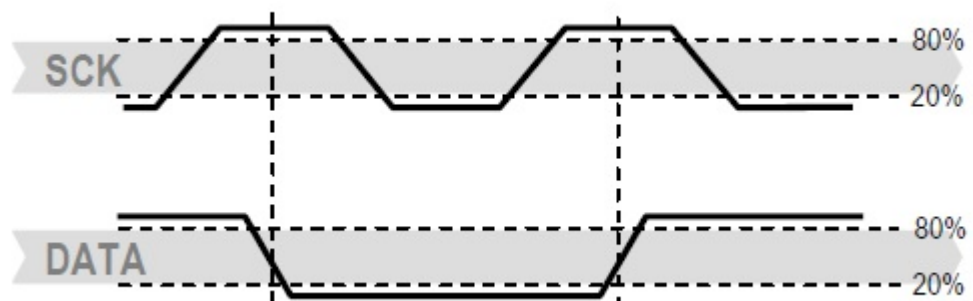
9.5 Software - výpočty hodnot jednotlivých snímačů

Následující podkapitoly popisují programování fyzikálních snímačů pro získání hodnot teploty, tlaku, vlhkosti, rosného bodu a směru i rychlosti větru.

9.5.1 Teplota, relativní vlhkost vzduchu a rosný bod

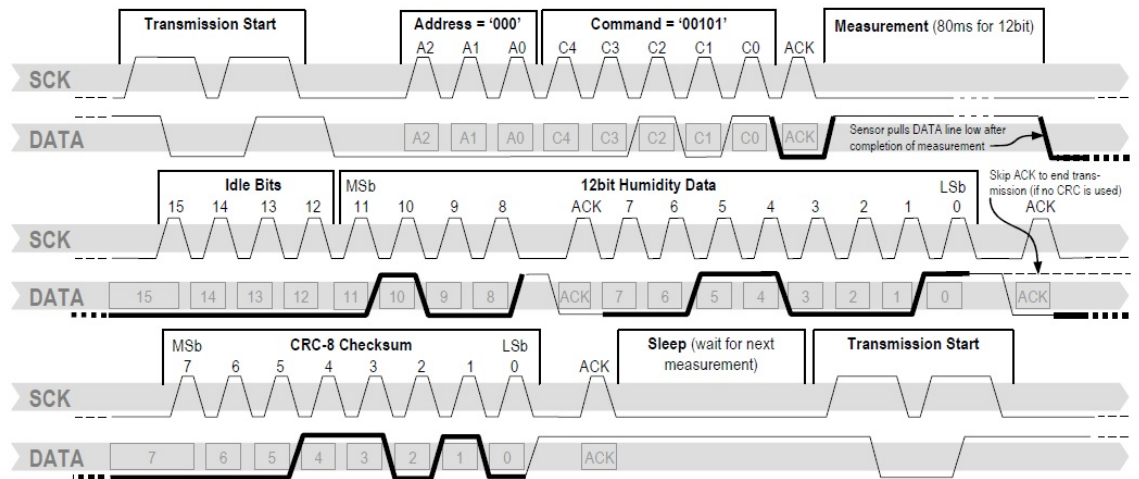
Komunikace se snímačem SHT75 firmy Sensirion, který slouží k měření teploty a vlhkosti, je prostřednictvím sběrnice podobné standardní komunikační sběrnici I2C. Obsahuje signál SCK sloužící k synchronizaci při komunikaci mezi snímačem a mikroprocesorem, dále pak signál DATA pro přenos informací. Rychlost přenosu informací je 1 MHz při napětí menším než 4.5 V.

Na začátku komunikace je signál SCK v logické nule a signál DATA v logické jedničce. Nejprve musí začít startovací sekvence, kdy se nastaví SCK do logické jedničky, následuje pokles dat do logické nuly. Poté se provede nulový puls na SCK a DATA nastavíme do jedničky. Nakonec se SCK vrátí do původního stavu.



Obr. 36. Start sekvence snímače SHT75 [18]

Při komunikaci je nutné dodržet časové a datové schéma. Například získání údaje o vlhkosti ze snímače zobrazuje následující časový diagram.

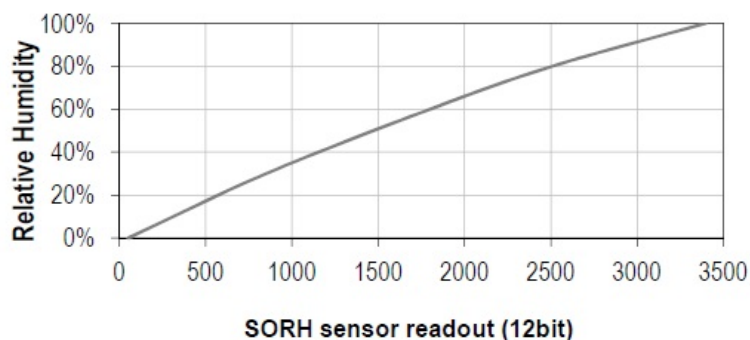


Obr. 37. Komunikace se snímačem SHT75 [18]

Začátek je startovací sekvencí (Transmission Start) popsanou výše. Následuje zaslání příkazu, který se skládá z adresy snímače (Address = ,000‘) a příkazu (Command = ,00101‘). Příkaz 00101 slouží k vyčtení údaje o vlhkosti.

Po odeslání příkazu je nutné nastavit signál DATA do logické jedničky a počkat 80 ms pro měření. Jakmile je snímač s měřením hotov, oznámí to nastavením signálu DATA do logické nuly a lze vyčíst hodnotu o vlhkosti, která má velikost 12 bitů. Pokud není potřeba provést kontrolu CRC (Cyclic Redundancy Check), lze spojení ukončit.

Jelikož je měření vlhkosti nelineární, je potřeba vyčtené hodnoty ze snímače linearizovat pomocí výpočtové funkce.



Obr. 38. Nelinearita snímače SHT75 [18]

$$RH_{\text{linear}} = c_1 + c_2 \cdot SO_{RH} + c_3 \cdot SO_{RH}^2 \quad (\%RH)$$

SO _{RH}	c ₁	c ₂	c ₃
12 bit	-2.0468	0.0367	-1.5955E-6
8 bit	-2.0468	0.5872	-4.0845E-4

Obr. 39. Výpočet relativní vlhkosti SHT75 [18]

Z důvodu závislosti měření vlhkosti na teplotě je nutné ještě udělat kompenzaci výsledné vlhkosti s teplotou. To je výhoda implementace snímače teploty a vlhkosti na jednom čipu, jako je tomu právě u použitého snímače SHT75.

Změna vlhkosti je 0.12 % RH / °C při 50 % RH. Pro výpočet je možné užít následující funkci

$$RH_{\text{true}} = (T_{\text{°C}} - 25) \cdot (t_1 + t_2 \cdot SO_{RH}) + RH_{\text{linear}}$$

SO _{RH}	t ₁	t ₂
12 bit	0.01	0.00008
8 bit	0.01	0.00128

Obr. 40. Kompenzace relativní vlhkosti SHT75 [18]

Pro vyčtení teploty je postup obdobný, jen příkaz musí být jiný (Command = ,00101').

Vyčtením nezískáme přímo teplotu, ale proměnnou SO_T, kterou dosadíme do funkce

$$T = d_1 + d_2 \cdot SO_T$$

VDD	d ₁ (°C)	d ₁ (°F)	SO _T	d ₂ (°C)	d ₂ (°F)
5V	-40.1	-40.2	14bit	0.01	0.018
4V	-39.8	-39.6	12bit	0.04	0.072
3.5V	-39.7	-39.5			
3V	-39.6	-39.3			
2.5V	-39.4	-38.9			

Obr. 41. Výpočet teploty SHT75 [18]

Rosný bod neměří snímač SHT75 přímo, přesto může být vypočten na základě změřené teploty a vlhkosti.

$$T_d(RH, T) = T_n \cdot \frac{\ln\left(\frac{RH}{100\%}\right) + \frac{m \cdot T}{T_n + T}}{m - \ln\left(\frac{RH}{100\%}\right) - \frac{m \cdot T}{T_n + T}}$$

Temperature Range	T _n (°C)	m
Above water, 0 – 50°C	243.12	17.62
Above ice, -40 – 0°C	272.62	22.46

Obr. 42. Výpočet rosného bodu SHT75 [18]

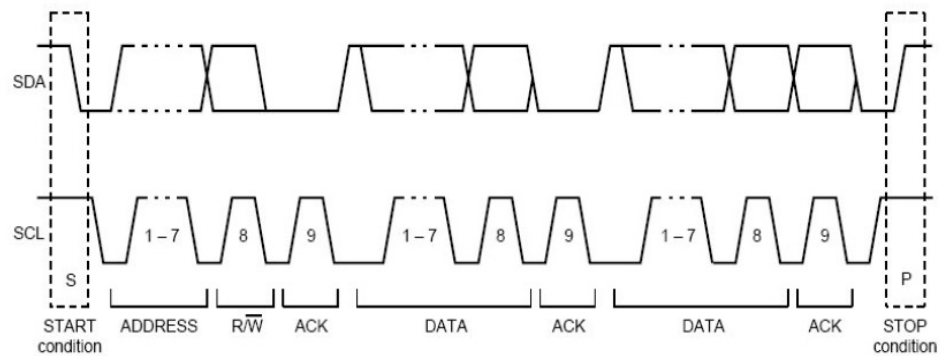
Další podrobnosti o komunikaci lze najít v dokumentu [18], kde lze najít postup pro vyčtení všech údajů ze snímače.

9.5.2 Atmosférický tlak

Snímač atmosférického tlaku BMP085 nabízí čtyři třídy přesnosti měření tlaku. Třída Ultra low power je nejrychlejší, má nejmenší spotřebu (přesně 3 uA při jednom čtení), ale je nejméně přesná. Naopak třída Ultra high resolution, jak již název napovídá, je nejpřesnější (měření proběhne osmkrát za sebou a vypočítává se průměr z těchto hodnot), ale je nejpomalejší a nejméně úsporná. Pro měření je využita čtvrtá třída, pro dosažení největší přesnosti měření i za cenu delší doby měření, která je pětikrát delší v porovnání s třídou první.

BMP085 využívá pro komunikaci sběrnici I2C, která obsahuje hodinový signál SCL pro synchronizaci a datový signál SDA pro přenos dat.

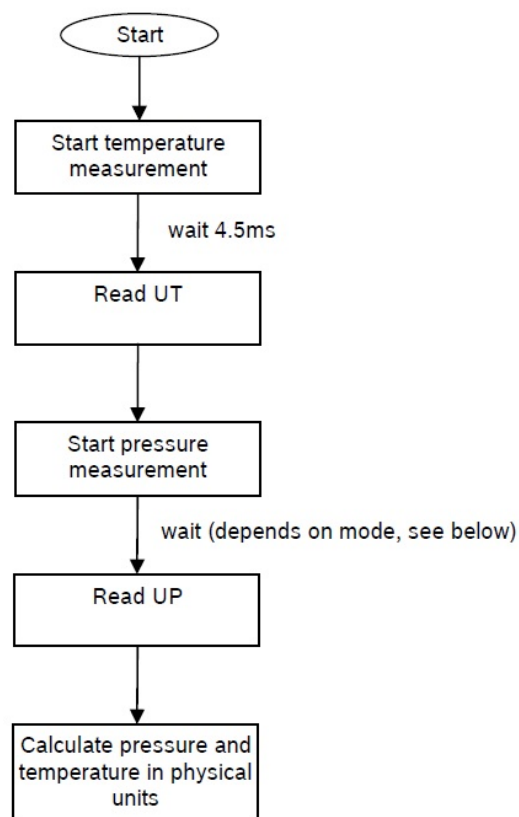
V klidovém režimu jsou signály SCL i SDA v logické jedničce. Komunikace začíná vysláním startovací sekvence, následuje adresa registru, z něhož jsou čtena data. Dále pak příkaz ke čtení nebo zápisu, potvrzovací bit ACK a vyslaná data, která jsou ukončena opět potvrzovacím bitem ACK. Na závěr je vyslána ukončovací STOP sekvence.



Obr. 43. Komunikace se snímačem BMP085 [19]

Samotný výpočet hodnoty tlaku je vcelku složitý. Naštěstí obsahuje BMP085 integrovanou paměť EEPROM o velikosti 176 bitů (11 registrů o velikosti 16 bitů), která v sobě ukládá potřebné koeficienty pro výpočty.

Při měření hodnot ze snímače je dodržen doporučený postup, kdy se po startu čte nejprve informativní hodnota o teplotě, poté informativní hodnota o tlaku a následuje výpočet přesných hodnot teploty a tlaku.

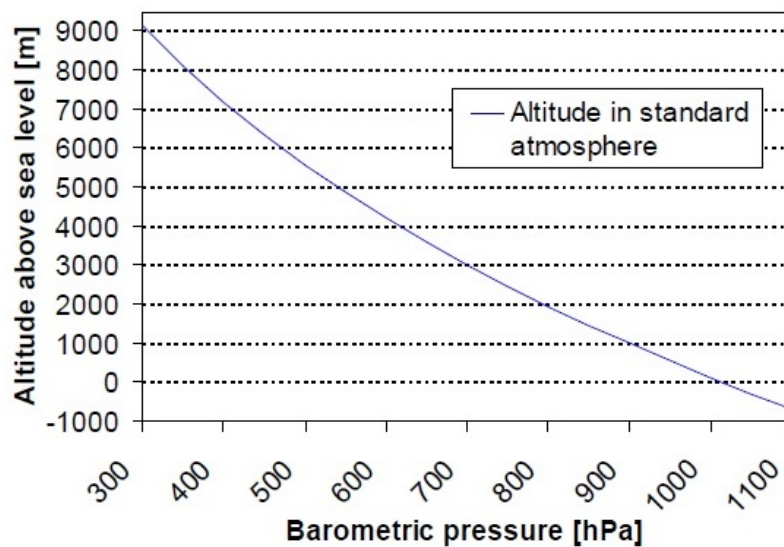


Obr. 44. Vývojový diagram měření tlaku snímače BMP085 [19]

Při znalosti údaje o atmosférickém tlaku, lze vypočítat nadmořskou výšku za pomoci následujícího vzorce a závislosti.

$$\text{altitude} = 44330 * \left(1 - \left(\frac{p}{p_0} \right)^{\frac{1}{5.255}} \right) \quad p_0 = \frac{p}{\left(1 - \frac{\text{altitude}}{44330} \right)^{5.255}}$$

Thus, a pressure change of $\Delta p = 1\text{hPa}$ corresponds to 8.43m at sea level



Obr. 45. Závislost tlaku na nadmořské výšce [19]

9.5.3 Směr a rychlost větru

K měření směru a rychlosti větru byl použit anemometr a směrovku větru firmy Argent Data System, které prodává pod označením 80422 a dodává jako náhradní díly k meteostanici WS1080.

Mističkový anemometr obsahuje magnetický kontakt, který se spíná při otáčení mističek vlivem větru. Pokud dojde k sepnutí jednou za sekundu, je rychlost větru 2.4 km/h, což se rovná 0.66 m/s a to je nejmenší možné rozlišení, které anemometr poskytuje. Měření probíhá tak, že měřím počet sepnutí kontaktu pomocí přerušeni za jednu sekundu. Rychlost větru je pak vypočtena pomocí následující rovnice.

$$v = pps * 0.66$$

kde v – rychlost větru v metrech za sekundu, pps – počet pulsů za sekundu, 0.66 - konstanta v metrech za sekundu

Směr větru je detekován analogově digitálním převodníkem, který měří směr větru z hodnoty napětí na svém vstupu. Hodnota napětí je dána odporovým děličem s rezistorem o hodnotě 10 k Ω a rezistorem obsaženým ve snímači směru větru.

9.5.4 Množství srážek

Množství srážek za hodinu je snímáno pomocí váhového snímače s funkcí samo vyprazdňování. Při množství srážek 0.2794 mm se miska převáží a voda se vyleje. Při tomto procesu se vygeneruje impuls, který je zaznamenáván. Pokud je obdržen jeden impuls za hodinu, znamená to, že na Zemský povrch o ploše 1 metr čtvereční napršelo 279.4 ml srážek.

9.6 Arduino

O programovacím jazyku Wiring pro Arduino, resp. pro Arduino, byla již zmínka. Jedná se o jazyk podobný C++, ale ve skutečnosti je to spíše vylepšená sada maker nad klasickým jazykem C++. Původně jazyk vycházel z projektu Processing, který je dodnes aktivní a s Arduinem spolupracuje. Jazyk je pro psaní velmi jednoduchý a podobná se klasickému jazyku C, vynechává však některé prvky, na které začátečníci často zapomínají. Pokud si chceme vytvořit nějakou knihovnu pro Arduino, je třeba se podívat na C++ více do hloubky.

Pro náhled na program v jazyce Wiring slouží následující ukázka programu, kterým Arduino ovládá sedmsegmentový displej pro zobrazení teploty. Program sestává z úvodních definic pinů, následuje nastavení pinů jako výstupů a v závěru je smyčka loop, která posílá data do posuvného registru 74HC595 a poté na sedmsegmentový displej. Časování obvodu 74HC595 je na následujícím obrázku.

```

//Pin connected to ST_CP of 74HC595
int latchPin = 8;
///Pin connected to DS of 74HC595
int dataPin = 9;
//Pin connected to SH_CP of 74HC595
int clockPin = 10;

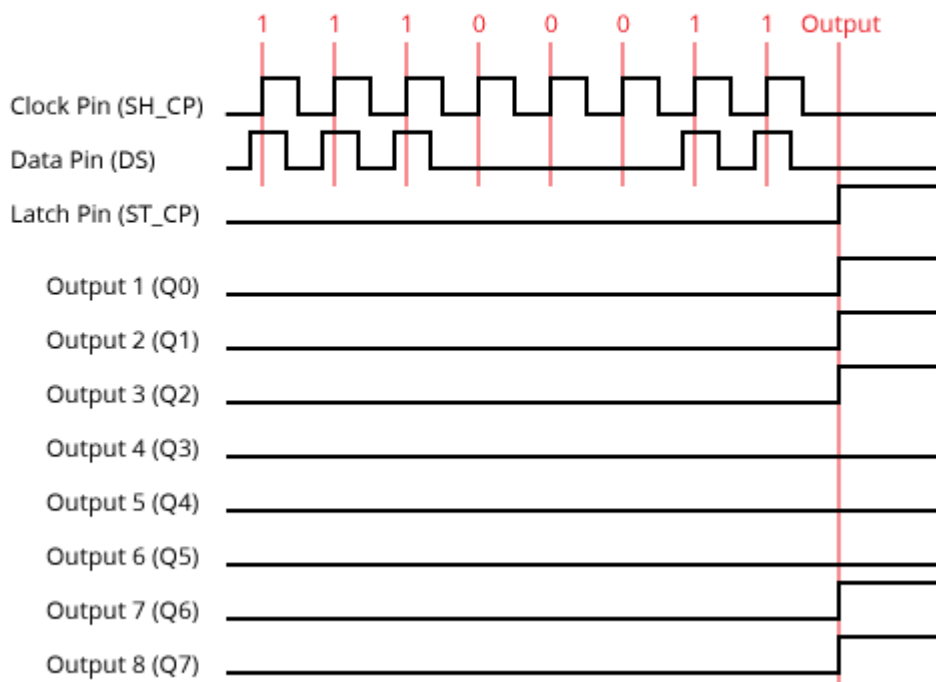
void setup() {
  //set pins to output, so you can control the shift register
  pinMode(latchPin, OUTPUT);
  pinMode(clockPin, OUTPUT);
}

void loop() {

  digitalWrite(latchPin, LOW);
  shiftOut(dataPin, clockPin, MSBFIRST, number_1); //cislo 1
  digitalWrite(latchPin, HIGH);
  digitalWrite(runPin1, LOW);
  delay(1);
  digitalWrite(runPin1, HIGH);
}

```

595 Shift Register Timing Diagram



codeuino.com

Obr. 46. Časování obvodu 74HC595

10 SROVNÁNÍ HODNOT S METEOSTANICEMI

Přesnost jednotlivých snímačů je pro domácí meteostanici dostačující a v případě snímače venkovní teploty SHT75 je nadprůměrná. Pro velmi orientační srovnání byly vybrány tři meteostanice, které leží v nejbližším okolí.

10.1 Výběr referenčních stanic

První srovnávací meteostanicí je UTB meteorologická stanice na budově U5 Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně na Fakultě aplikované informatiky. Stanice byla instalována firmou ENVItech Bohemia v roce 2007. Mezi měřené veličiny patří venkovní teplota, tlak, vlhkost, rychlost a směr větru, množství srážek a globální záření.

<http://meteo.utb.cz/>

Druhou stanicí je meteorologická stanice Holešov, která byla uvedena do provozu v roce 1953 převezením z původního místa v Otrokovicích. Stanice patří pod Odbor profesionální staniční sítě ČHMÚ. Mezi sledované veličiny patří teplota, vlhkost, tlak, srážky, směr a rychlost větru, výška oblačnosti a pokrytí, sluneční svit, globální a difusní záření. Obsluhou stanice jsou měřeny další veličiny, jako druh oblačnosti, pokrytí oblohy oblačností, sněhová příkrývka, bouřky, druh srážek a ostatní jevy.

<http://www.meteo-holesov.cz/>

Třetí stanicí je amatérská meteostanice nadšenců z města Napajedla, kteří provozují amatérskou stanici a data zobrazují online na Internetu. Stanice byla instalována v roce 2010 a poskytuje měření teploty, vlhkosti, rosného bodu, rychlosti a směru větru, výšky mraků a tlaku vzduchu.

<http://www.napajedlaci.cz/>

Tab. 6. Srovnávací měření 1, 2014-02-17 21:04 [vlastní zpracování]

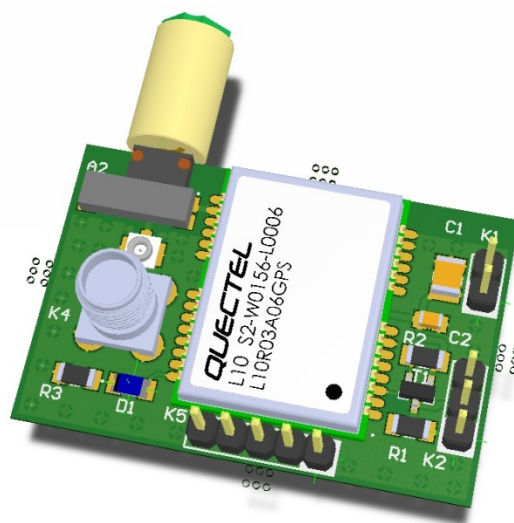
Stanice/Veličina	Teplota	Vlhkost	Tlak	Srážky
Vlastní	5.39	79	1015	0
UTB	4.10	81	1017	0
Holešov	3.8	82	1020	0
Napajedla	5.2	82	1021	0

10.2 Úpravy a doplnění

V budoucnu se meteostanice může rozšířit o další snímače, které přispějí k většímu přehledu o aktuálním počasí. První možností je implementace GPS (Global Positioning System) přijímače, který bude stanici dodávat přesný čas s přesností na 1 mikrosekundu. GPS je systém určený pro zjištění polohy kdekoli na povrchu Země a ke své funkci využívá několik družic vysílajících ze svých oběžných drah signály směrem k Zemi. Signály, neboli NMEA (National Marine Electronics Association) zprávy, jsou odesílány každou sekundu a kromě informací o poloze obsahují i údaj o čase. Časový údaj vyčítám a zobrazuji na displeji pro určení přesného času.

10.2.1 GPS

Pro příjem GPS signálu lze zvolit kompaktní modul L10 firmy QUECTEL nabízející velkou citlivost na příjem signálu, nízké energetické nároky, široký rozsah provozních teplot, velkou přesnost, malou velikost a také splnění RoHS směrnice. Modul umožňuje přijímat signály z 22 satelitů s přesností menší než 100 ns. Start proběhne za 35 sekund při úplně vypnutém zařízení (cold start) nebo do 1 sekundu při úsporném režimu spánku. Komunikace probíhá po směrnici I2C, USB nebo po sériové lince rychlostí 115.2 Kbps. Napájecí napětí je v rozsahu od 3 do 4.3 V

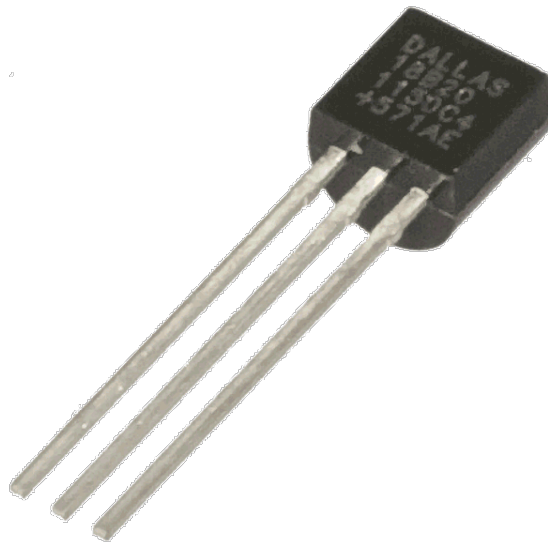


Obr. 47. GPS Modul QUECTEL L10

[vlastní zpracování]

10.2.2 Vnitřní teplota

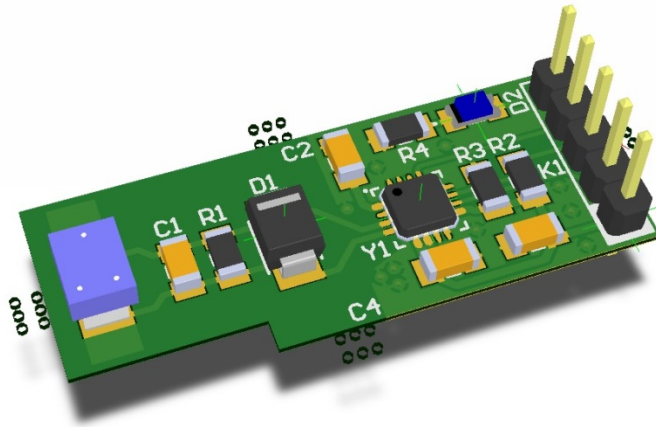
Vhodné bude taky doplnění o druhý snímač teploty, jenž bude umístěn uvnitř v místnosti a bude zobrazovat vnitřní teplotu. Jako venkovní snímač teploty byl vybrán velmi přesný SHT75 firmy Sensirion, ale vzhledem k ceně bude pro měření vnitřní teploty použit snímač DS18B20 firmy Maxim Integrated, jenž nabízí teplotní rozsah od -55 °C do $+125\text{ °C}$ s přesností $\pm 0.5\text{ °C}$. Komunikační rozhraní je sběrnice 1-Wire využívající pouze jeden datový vodič a rozsah napětí je od 3 do 5.5 V.



Obr. 48. Snímač teploty DS18B20
[vlastní zpracování]

10.2.3 Detekce blesků

Dalším snímačem, patrně nejzajímavějším, bude detektor blesků AS3935 firmy AMS (Austria Micro Systems). Snímač je schopný detekovat přítomnost a následné přiblížení nebezpečné bleskové činnosti. Lze zaznamenat jak výboje mezi mraky, tak i a výboje směrem k Zemi. Dosah snímače je až 40 km a díky tomu lze včasné udělat potřebná opatření. Přitom je však snímač imunní vůči běžně se vyskytujícím výbojům v domácnosti z mikrovlnné trouby, monitoru nebo spínačů. Komunikace snímače probíhá po sběrnici I2C nebo SPI, napájecí napětí je v rozsahu od 2.4 do 5.5 V a AS3935 obsahuje automatické ladění přijímací antény.



Obr. 49. Modul se snímačem AS3935

[vlastní zpracování]

10.2.4 Sleep režim

Z důvodu úspory elektrické energie bude úpravou software doplněn režim spánku, kdy bude meteostanice uspána kdykoli nebude zobrazovat data. Do režimu spánku přejde procesor vždy, když budou pomocí ultrazvukového snímače vypnuty oba zobrazovací displeje. Z režimu spánku může být procesor probuzen na základě různých událostí. Například změna měřené veličiny, kdy snímač vyšle impuls k probuzení procesoru a ten zaznamená nově změřenou veličinu. Nebo lze procesor probouzet každých deset vteřin, změřit všechny veličiny a poté procesor opět uspat. V obou případech lze uspořit podstatnou část energie, záleží na režimu spánku a na množství vypnutých periférií v době uspání. Procesor nabízí čtyři režimy provozu. Takzvaný „Run mode“ je standardní mód, kdy běží všechny periférie procesoru na plný výkon se spotřebou proudu 50 mA při napětí 3.3 V. Režim „Sleep mode“ umožňuje vypnutí některých periférií a snížení taktovací frekvence procesoru, přičemž klesá spotřeba od 4 do 12 mA. Dalším režimem je „Deep-Sleep mode“, kdy procesor vypíná více částí a snižuje frekvenci ještě více. Spotřeba je přitom slušných 1 mA. Posledním režimem je „Hibernate mode“, kdy procesor úplně vypíná napájení periférií a snižuje svou frekvenci na minimum. Při tomto režimu je spotřeba od 1.6 do 5 uA.

10.2.5 Bezdrátové připojení snímačů

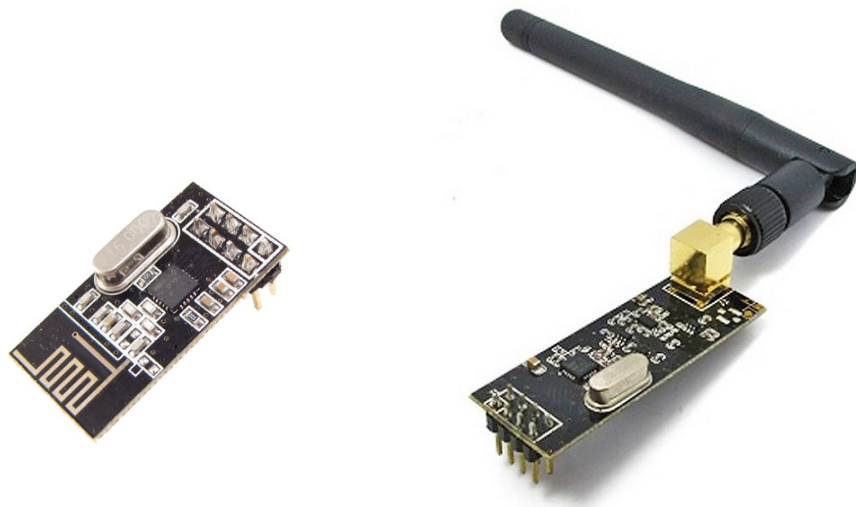
Původní záměr byl v použití drátových snímačů bez nutnosti přivedení napájení z baterií, přičemž bezdrátové snímače nebudou využity a vše bude připojeno kabelově. Postupem času byl tento požadavek přehodnocen v opačný, neboť v některých případech, jako je

snímač větru, by bylo bezdrátové připojení výhodné. Správná pozice snímače rychlosti a směru větru by měla být 10 metrů nad povrchem Země.

Aby mohl být snímač připojen bezdrátově, je nutno vyřešit dvě otázky. První je napájení, které může být z baterie, což však přináší nevýhodu v podobě nutnosti měnit baterie, nebo lze využít napájení ze solárního článku, který by nabíjel superkapacitor a uložená energie by sloužila k napájení měřící části snímače.

10.2.5.1 nRF24L01

Druhou otázkou k řešení je přenos informací ze snímače do hlavního procesoru. Vyhovující jsou bezdrátové moduly nRF24L01 firmy Nordic Semiconductor pracující na frekvenci 2.4 GHz. Moduly obsahují polovodičový čip s ultra nízkou spotřebou, která je 12 mA při vysílání a 900 nA v režimu spánku, při napájecím napětí od 1.9 do 3.6 V. Komunikace probíhá přes sběrnici SPI při rychlosti až 2 Mbps a celý modul lze zakoupit za cenu 3 \$. Dosah modulu je ve volném prostředí 50 m při standardní SMD anténě. Pokud potřebujeme dosah větší, lze využít přídavnou anténu a zvýšit dosah až na 600 m.



Obr. 50. Moduly NRF24L01 [vlastní zpracování]

10.2.5.2 Bluetooth LE

Alternativou k výše uvedenému modulu je Bluetooth modul BLE112A firmy Bluegiga, jenž je zaměřen na nízkenergetické aplikace, hlavně na snímače. Modul nabízí protokol Bluetooth ve verzi 4, což je protokol vyvinutý speciálně pro nízkenergetické aplikace s velkým dosahem. Pracovní frekvence je standardních 2.4 GHz, dosah je v rozsahu od 30

do 150 m, komunikace po sběrnici I2C a napájecí napětí od 2 do 3.6 V. Spotřeba je ve vysílacím režimu 36 mA, v režimu spánku od 0.4 do 270 uA.

Výhoda tohoto modulu je, že nabízí i 23 GPIO pinů, AD převodníky a čtyři PWM výstupy. Díky tomu není potřeba k modulu přidávat další procesor, jako je to nutné u modulu NRF24L01. Možností je také vyčtení hodnot ze snímače mobilním telefonem s Bluetooth. Modul momentálně testuji a ověřuji, zda splňuje avizované parametry o výrobce.



Obr. 51. Bluetooth modul BLE112A

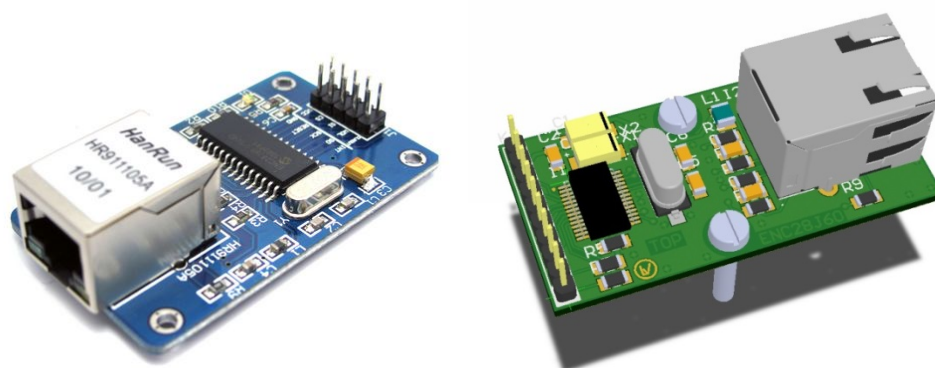
[vlastní zpracování]

10.2.6 Připojení stanice k síti Internet

Ačkoli byl od začátku záměr stavět meteostanici jako čistě offline řešení, je možné mít informace z meteostanice k dispozici skrze síť Internet. Výhodou by bylo zjištění aktuální situace z kteréhokoli místa s připojením k Internetu a také možnost ukládání historie zaznamenaných hodnot. K připojení meteostanice k Internetu lze využít dvě možnosti. První je za pomoci obvodu ENC28J60 firmy Microchip, jenž je kompletní ethernetový kontrolér. Druhou možností je bezdrátový modul CC3000 firmy Texas Instruments, který na základě procesoru pro bezdrátovou síť WiFi nabízí připojení k Internetu.

10.2.6.1 ENC28J60

Modul obsahující ethernetový kontrolér dále nabízí vlastní MAC adresu a fyzické rozhraní pro připojení k Internetu. Komunikace probíhá přes SPI sběrnici při rychlosti 8 Mbps. Dále je k dispozici pin detekující přerušení a dvojice indikačních LED diod. Napájecí napětí je od 3.1 do 3.6 V. Cena modulu je 4 \$.



Obr. 52. Moduly ENC28J60 [vlastní zpracování]

10.2.6.2 WiFi

Alternativou k pevnému připojení k WiFi 802.11 b/g modul CC3000 integrující IPv4 TCP/IP stack pro připojení k síti Internet. Rychlost přenosu je 11 Mbps při komunikaci přes SPI sběrnici. Modul nabízí i ultra nízký napájecí režim se spotřebou menší než 5 uA.

Cena modulu je 700 Kč.



Obr. 53. WiFi modul CC3000 [24]

ZÁVĚR

Cílem diplomové práce bylo sestavení domácí meteostanice s dotykovým displejem. Nejprve bylo potřeba vybrat a nastudovat vhodný mikroprocesor. Vybíráno bylo z osmi výrobců a zvolen byl mikroprocesor LM4F120H5QR od firmy Texas Instruments z důvodu rychlosti, počtu vstupně výstupních portů a dostupnosti vývojového prostředí.

Dále byly zvoleny potřebné snímače pro měření teploty, vlhkosti, tlaku, rychlosti a směru větru a množství srážek. Všechny snímače byly vybrány s ohledem na přesnost, možnost komunikace a také cenu.

Následoval výběr vhodného dotykového displeje, který obsahuje řadič kompatibilní s mikroprocesorem, resp. s dodávanou knihovnou pro zobrazení grafických prvků.

Po zvolení potřebných komponent byla navržena rozšiřující karta pro snímače a napsán ovládací software v jazyce C. Na závěr proběhlo otestování jednotlivých čidel a srovnání naměřených údajů s referenčními stanicemi, které se nachází v okolí instalované meteostanice.

V poslední fázi vývoje byla navržena šablona pro výrobu vhodné krabice, která byla vyřezána z překližky laserem.

Výstupem je hotová meteostanice umožňující měření všech fyzikálních veličin, jež byly stanoveny. Měřené údaje jsou zobrazovány na dotykovém displeji s možností zobrazení historie měření. Meteostanici lze zapnout pouhým přiblížením uživatele před displej, pro podrobné informace o počasí lze použít vestavěný dotykový stylus. Meteostanice může být dále rozšířena o další snímače a bezdrátovou komunikaci.

Diplomová práce může sloužit dalším zájemcům, kteří si chtějí postavit vlastní domácí meteostanici. Poskytuje mnoho užitečných informací ohledně jednotlivých snímačů fyzikálních veličin měřených při sledování počasí, včetně cenových představ a náročnosti na implementaci všech prvků.

Fotografie konečného provedení je zobrazena v příloze. Poslední přílohou je náhled na hlavní obrazovku meteostanice, dále na měření atmosférického tlaku, množství srážek a informací o čase a poloze meteostanice

CONCLUSION

The aim of this thesis was to build a home weather station with touchscreen. First, it was necessary to choose a suitable microcontroller. Products of eight manufacturers were considered and LM4F120H5QR microcontroller made by Texas Instruments was selected based on the speed, high number of input/output ports and free development environment.

In the next phase the necessary sensors were selected for measuring temperature, humidity, pressure, wind speed and direction and rainfall. All sensors have been chosen with regard to accuracy, communication interface and price.

Next, suitable touch screen, which includes controller compatible with the selected microcontroller and with the library for displaying graphic elements supplied with the microcontroller, was selected.

After choosing the necessary components an expansion card for sensors was designed and control software was written in C language. Finally, all sensors were tested and the measured data were compared with reference stations, which are located in the vicinity of the created weather station.

In the last phase of the development a template was designed for production of an enclosure box, which was then created from wood with laser cutter.

The output of the thesis is a complete weather station enabling the measurement of physical quantities as intended. Readings are displayed on the touch screen with options to display the measurements history.

The Weather station can be turned on automatically when the user moves in front of the display. For detailed information on the weather, the built-in touch screen stylus can be used. The weather station can be further extended with other sensors and with wireless communication.

The thesis may serve other candidates who want to build their own home weather station. It provides a lot of useful information about the individual sensors for physical variables measured at weather monitoring, including price expectations and demands on the implementation of all elements.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] KOPÁČEK, Jaroslav. *Jak vzniká počasí*. Vyd. 1. V Praze, 2005, 226 s., [16] s. obr. příl. ISBN 80-246-1002-7.
- [2] SOUKUPOVÁ, Jana. *Atmosférické procesy: (základy meteorologie a klimatologie)*. Vyd. 4., přeprac. V Praze: Česká zemědělská univerzita, 2009, 191, [11] s. ISBN 978-80-213-1895-3.
- [3] VYSOUDIL, Miroslav. *Meteorologie a klimatologie pro geografy: (základy meteorologie a klimatologie)*. 1. vyd. Olomouc: Vydavatelství Univerzity Palackého, 1997, 191, [11] s. ISBN 80-706-7773-2.
- [4] MANN, Burkhard. *C pro mikrokontroléry: ANSI-C, kompilátory C, spojovací programy - linkery, práce s ATMEL AVR a MSC-51, příklady programování v jazyce C, nástroje pro programování, tipy a triky*. 1. vyd. Praha: BEN, 2003, 279 s. ISBN 80-730-0077-6.
- [5] KAČMÁŘ, Dalibor. *Jazyk C: ANSI-C, kompilátory C, spojovací programy - linkery, práce s ATMEL AVR a MSC-51, příklady programování v jazyce C, nástroje pro programování, tipy a triky*. Vyd. 1. Praha: Computer Press, c2001, 279 s. ISBN 80-722-6295-5.
- [6] FROHN, M. *Elektronika: polovodičové součástky a základní zapojení*. 1. české vyd. Praha: Computer Press, 2006, 479 s. ISBN 80-730-0123-3.
- [7] VÁŇA, Vladimír. *ARM pro začátečníky*. Praha: BEN - technická literatura, 2009, 195 s. ISBN 978-80-7300-246-6.
- [8] TEXAS INSTRUMENTS. *Stellaris® LM4F120H5QR Microcontroller* [online]. 2013 [cit. 2013-02-04]. Dostupný z: <http://www.ti.com>.
- [9] TEXAS INSTRUMENTS. *Stellaris® LM4F120H5QR LaunchPad Evaluation Board* [online]. 2012 [cit. 2012-12]. Dostupný z: <http://www.ti.com>.
- [10] TEXAS INSTRUMENTS. *LM4F120H5QR ROM* [online]. 2013 [cit. 2013-01-04]. Dostupný z: <http://www.ti.com>.
- [11] TEXAS INSTRUMENTS. *Stellaris® Graphics Library User's Guide* [online]. 2012 [cit. 2012-09-05]. Dostupný z: <http://www.ti.com>.
- [12] TEXAS INSTRUMENTS. *Stellaris® Peripheral Driver Library User's Guide* [online]. 2013 [cit. 2013-04-28]. Dostupný z: <http://www.ti.com>.

- [13] TEXAS INSTRUMENTS. *Getting Started with the Stellaris® EK-LM4F120XL LaunchPad Workshop* [online]. 2013 [cit. 2013-01]. Dostupný z: <http://www.ti.com>.
- [14] SiRF Technology, Inc. NMEA Reference Manual [online]. 2005 [cit. 2005-01]. Dostupný z: <http://www.sirf.com>.
- [15] 61000-4-1. *Elektromagnetická kompatibilita (EMC): Zkušební a měřicí technika - Přehled o souboru IEC 61000-4*. 2007. vyd. Praha: Český normalizační institut, 2007.
- [16] 61000-6-1. *Elektromagnetická kompatibilita (EMC): Kmenové normy - Odolnost - Prostředí obytné, obchodní a lehkého průmyslu*. 2009. vyd. Praha: Český normalizační institut, 2009.
- [17] *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2014-03-12]. Dostupné z: http://cs.wikipedia.org/wiki/Beaufortova_stupnice
- [18] SENSIRION. *Datasheet SHT7x* [online]. 2011 [cit. 2014-02]. Dostupný z: <http://www.sensirion.com>.
- [19] BOSCH. *BMP085 Digital pressure sensor Data sheet* [online]. 2009 [cit. 2014-02]. Dostupný z: <http://www.bosch-sensortec.com>.
- [20] ARGENT DATA SYSTEMS. *Weather Sensor Assembly p/n 80422* [online]. 2010 [cit. 2014-02]. Dostupný z: <http://www.argentdata.com>.
- [21] AUSTIN BLACKSTONE [online]. [cit. 2014-03]. Dostupný z: <http://austinblackstoneengineering.com/handy-stellaris-launchpad-pinout-infographics/>
- [22] TEXAS INSTRUMENTS [online]. [cit. 2014-03]. Dostupný z: <http://www.ti.com/ww/en/launchpad/boosterpacks.html?DCMP=mcu-launchpad&HQS=boosterpacks>
- [23] *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2014-03-12]. Dostupné z: <http://cs.wikipedia.org/wiki/I%C2%B2C>
- [24] Adafruit [online]. [cit. 2014-03-17]. Dostupné z: <http://www.adafruit.com/products/1469>
- [25] Arduino [online]. [cit. 2014-03-17]. Dostupné z: <http://arduino.cc/en/Main/Products>
- [26] VALÍČEK, Libor. *Navrhujte elektroniku ve 3D. DPS: Plošné spoje od A do Z*. 2012, s. 33-35.

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

AD	Analog Digital
AMS	Austria Micro Systems
ARM	Advanced RISC Machine
BLE	Bluetooth Low Energy
CAD	Computer Aided Design
CCS	Code Composer Studio
CRC	Cyclic Redundance Check
ČHMÚ	Český HydroMeteorologický Ústav
EEPROM	Electrically Erasable Programmable Read-Only Memory
EMC	ElectroMagnetic Compatibility
EMI	ElectroMagnetic Interference
EMS	ElectroMagnetic Susceptibility
FAI	Fakulta Aplikované Informatiky
FPU	Floating-Point Unit
GPS	Global Positioning Systém
HTML	HyperText Markup Language
I2C	Inter-Integrated Circuit
ICDI	In-Circuit Debug Interface
LCC	Leaded Chip Carrier
LCD	Liquid Crystal Display
LED	Light-Emitting Diode
mA	Mili Ampér
MAC	Media Access Control
MEMS	Micro Electro Mechanical Systems

MHz	Mega Hertz
MOSFET	Metal Oxide Semiconductor Field Effect Transistor
nA	Nano Ampér
NMEA	National Marine Electronics Association
NTC	Negative Temperature Coefficient
PHP	Personal Home Page
PTC	Positive Temperature Coefficient
PWM	Pulse Width Modulation
RAM	Random Access Memory
RGB	Red Green Blue
RH	Relative Humidity
RISC	Reduced Instruction Set Computing
RoHS	Restriction of Hazardous Substances
ROM	Read Only Memory
RTC	Real Time Clock
SPI	Seriál Peripheral Interface
SRAM	Static Random Access Memory
TFT	Thin Film Transistor
TI	Texas Instruments
UART	Universal Synchronous Asynchronous Receiver and Transmitter
UML	Unified Modeling Language
USB	Universal Serial Bus
UTB	Univerzita Tomáše Bati
WiFi	Wireless Fidelity
XML	Extensible Markup Language

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1. Blokové schéma meteostanice [vlastní zpracování]	22
Obr. 2. Snímač SHT75 [18]	23
Obr. 3. Vnitřní uspořádání snímače SHT75 [18]	23
Obr. 4. Radiační kryt [vlastní zpracování]	25
Obr. 5. Snímač BMP085 [19]	26
Obr. 6. Mističkový anemometr [vlastní zpracování]	27
Obr. 7. Zapojení anemometru [20]	27
Obr. 8. Směrovka větru [vlastní zpracování]	28
Obr. 9. Miskový srážkoměr [vlastní zpracování]	29
Obr. 10. Mikroprocesor LM4F120H5QR [8]	31
Obr. 11. Složení mikroprocesoru LM4F120H5QR [9]	32
Obr. 12. Vývojový kit Stellaris Launchpad [9]	33
Obr. 13. Rozložení pinů vývojového kitu [21]	34
Obr. 14. Princip skládání desek na vývojový kit [22]	34
Obr. 15. Blokové schéma HW části [vlastní zpracování]	35
Obr. 16. Rozšiřující deska k vývojovému kitu [vlastní zpracování]	36
Obr. 17. LCD displej [vlastní zpracování]	37
Obr. 18. Rozšiřující deska pro LCD displej [vlastní zpracování]	37
Obr. 19. Schéma zapojení spínače podsvícení LCD displeje [vlastní zpracování]	38
Obr. 20. Originální Arduino Duemilanove [25]	39
Obr. 21. Walduino [vlastní zpracování]	39
Obr. 22. Arduino a prototypové nepájivé pole [24]	40
Obr. 23. Ultrazvukový snímač HC-SR04 [vlastní zpracování]	41
Obr. 24. Sedmissegmentové displeje [vlastní zpracování]	42
Obr. 25. Ukázka principu obvodu 74HC595 [25]	43
Obr. 26. Blokové schéma zapojení sedmissegmentových displejů [vlastní zpracování]	43
Obr. 27. Schéma zapojení spínání sedmissegmentových displejů [vlastní zpracování]	44
Obr. 28. Složení sedmissegmentového displeje [vlastní zpracování]	44
Obr. 29. Schéma zapojení Boost DC/DC měniče [vlastní zpracování]	45
Obr. 30. Schéma zapojení převodníku napětových úrovní [vlastní zpracování]	46
Obr. 31. Sestavení meteostanice v programu Solidworks [vlastní zpracování]	47
Obr. 32. Šablona krabičky pro řezání laserem [vlastní zpracování]	48

Obr. 33. Objekty „planes“ v grafické knihovně [11]	50
Obr. 34. Náhled na grafické objekty [11]	51
Obr. 35. Zapojení prvků na I2C sběrnici [23]	52
Obr. 36. Start sekvence snímače SHT75 [18]	53
Obr. 37. Komunikace se snímačem SHT75 [18]	54
Obr. 38. Nelinearita snímače SHT75 [18]	54
Obr. 39. Výpočet relativní vlhkosti SHT75 [18]	55
Obr. 40. Kompenzace relativní vlhkosti SHT75 [18]	55
Obr. 41. Výpočet teploty SHT75 [18]	55
Obr. 42. Výpočet rosného bodu SHT75 [18]	56
Obr. 43. Komunikace se snímačem BMP085 [19]	57
Obr. 44. Vývojový diagram měření tlaku snímače BMP085 [19]	57
Obr. 45. Závislost tlaku na nadmořské výšce [19]	58
Obr. 46. Časování obvodu 74HC595	60
Obr. 47. GPS Modul QUECTEL L10 [vlastní zpracování]	62
Obr. 48. Snímač teploty DS18B20 [vlastní zpracování]	63
Obr. 49. Modul se snímačem AS3935 [vlastní zpracování]	64
Obr. 50. Moduly NRF24L01 [vlastní zpracování]	65
Obr. 51. Bluetooth modul BLE112A [vlastní zpracování]	66
Obr. 52. Moduly ENC28J60 [vlastní zpracování]	67
Obr. 53. WiFi modul CC3000 [24]	67

SEZNAM TABULEK

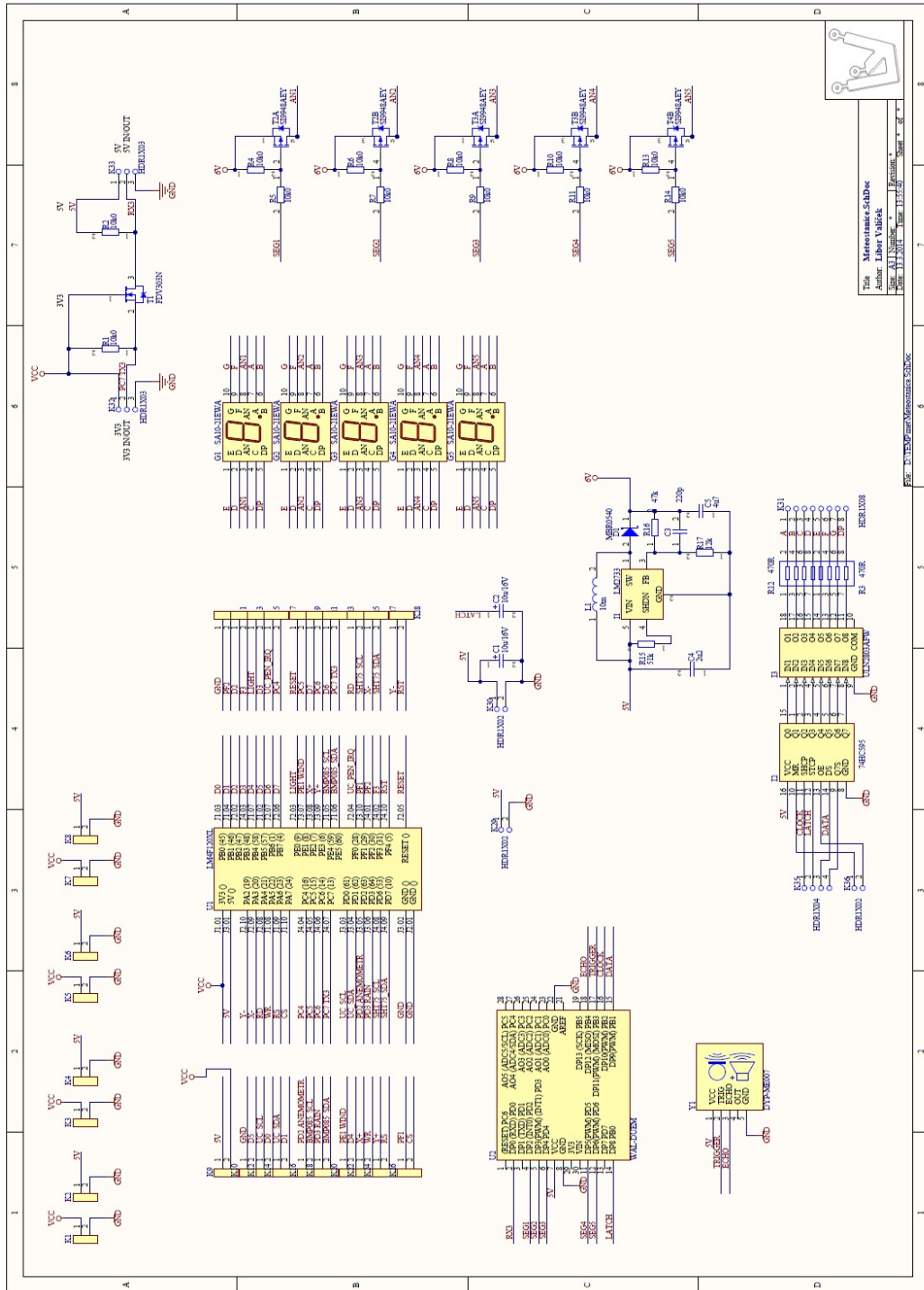
Tab. 1. Beaufortova stupnice [17].....	15
Tab. 2. Množství srážek [17]	15
Tab. 3. Relativní vlhkost SHT75 [18]	24
Tab. 4. Teplota SHT75 [18].....	24
Tab. 5. Hodnoty rezistorů anemometru [20].....	28
Tab. 6. Srovnávací měření 1, 2014-02-17 21:04 [vlastní zpracování]	61

SEZNAM PŘÍLOH

Příloha 1 Schéma zapojení [vlastní zpracování]	78
Příloha 2 Fotografie meteostanice [vlastní zpracování]	79
Příloha 3 Náhled pracovních obrazovek [vlastní zpracování]	80

Ostatní přílohy, jako jsou schémata zapojení, osazovací výkresy desek plošných spojů a programovací software, jsou k dispozici v elektronické podobě ve formě CD, které je součástí této práce.

PŘÍLOHA P1: SCHÉMA ZAPOJENÍ



Príloha 1 Schéma zapojení [vlastní zpracování]

PŘÍLOHA P2: FOTOGRAFIE HOTOVÉ METEOSTANICE



Příloha 2 Fotografie meteostanice [vlastní zpracování]

PŘÍLOHA P3: NÁHLED PRACOVNÍCH OBRAZOVEK



year 2013
 date 18.8
 time 19:02:54
 gps N 49.12'41.861
 gps E 17.38'45.607

1012.99 hPa	0.0000 mm/h 0.0000 mm/h	15.85 C 15.85 C 15.85 C	58% 58.61 % 58.55 %	0.00 m/s 0.00 m/s bezvetří	00:00:00
		7.74 C	199.20 m.a.m.		
		12.42 C			



Příloha 3 Náhled pracovních obrazovek [vlastní zpracování]