

Česká zemědělská univerzita v Praze

Provozně ekonomická fakulta

Katedra informačních technologií



Bakalářská práce

Bezdrátová senzorová stanice

Lukáš Kovář

© 2018 ČZU v Praze

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Lukáš Kovář

Informatika

Název práce

Bezdrátová senzorová stanice

Název anglicky

Wireless sensor station

Cíle práce

Bakalářská práce je tématicky zaměřena na měření fyzikálních veličin a jejich přenos bezdrátovou metodou. Hlavním cílem práce je navrhnout funkční prototyp zařízení pro měření environmentálních veličin.

Dílní cíle bakalářské práce jsou:

- analyzovat dostupné technologie
- porovnat senzory fyzikálních veličin
- porovnat bezdrátové moduly

Metodika

Metodika řešené problematiky bakalářské práce je založena na studiu a analýze odborných informačních zdrojů. teoretická část analyzuje současný stav technologií a poznání. Praktická část práce je zaměřena na realizaci konstrukce senzorové stanice a jejích sond. Na základě získaných teoretických poznatků a výsledků praktické části práce budou formulovány závěry bakalářské práce.

Doporučený rozsah práce

30-40 stran

Klíčová slova

bezdrátová senzorová stanice, atmosférický tlak, teplota, vlhkost, osvětlení, konstrukce

Doporučené zdroje informací

Ackerman, Steven A., and John Knox. Meteorology : understanding the atmosphere. Burlington, MA: Jones & Bartlett Learning, 2015. ISBN 978-1284030808

Coombs, Clyde, and Happy Holden. Printed Circuits Handbook, Seventh Edition. New York, N.Y: McGraw-Hill Education, 2016. ISBN 978-0071833950

Ellingson, Steven W. Radio systems engineering. Cambridge, United Kingdom: Cambridge University Press, 2016. ISBN 978-1107068285

Horowitz, Paul. The art of electronics. New York, NY: Cambridge University Press, 2015. ISBN 978-0521809269

Huang. The Atmel AVR microcontroller : Mega and XMEga in Assembly and C. Clifton Park, NY, USA: Delmar/Cengage Learning, 2014. ISBN 978-1133607298

Ott, Henry W. Electromagnetic compatibility engineering. Hoboken, N.J: John Wiley & Sons, 2009. ISBN 978-0470189306

Scherz, Paul, and Simon Monk. Practical electronics for inventors. New York: McGraw-Hill Education, 2016. ISBN 978-1259587542

Walker, Jearl, Robert Resnick, and David Halliday. Halliday & Resnick fundamentals of physics. Hoboken, NJ: Wiley, 2014. ISBN 978-1118230718

Williams, Elliot. AVR programming. Sebastopol, Calif: Maker Media, 2014. ISBN 978-1449355784

Předběžný termín obhajoby

2017/18 LS – PEF

Vedoucí práce

Ing. Alexandr Vasilenko, Ph.D.

Garantující pracoviště

Katedra informačních technologií

Elektronicky schváleno dne 30. 10. 2017

Ing. Jiří Vaněk, Ph.D.

Vedoucí katedry

Elektronicky schváleno dne 1. 11. 2017

Ing. Martin Pelikán, Ph.D.

Děkan

V Praze dne 29. 11. 2017

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že svou bakalářskou práci "Bezdrátová senzorová stanice" jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou citovány v práci a uvedeny v seznamu použitých zdrojů na konci práce. Jako autor(ka) uvedené bakalářské práce dále prohlašuji, že jsem v souvislosti s jejím vytvořením neporušil autorská práva třetích osob.

V Praze dne 15.3.2018

Poděkování

Rád bych touto cestou poděkoval svému vedoucímu práce Ing. Alexandru Vasilenkovi, Ph.D. za užitečné připomínky k práci, své rodině za podporu při realizaci mých nápadů a všem, kteří vydrží u čtení této práce až do konce.

Bezdrátová sensorová stanice

Abstrakt

Práce si klade za cíl popis konstrukce plně funkčního prototypu bezdrátové sondy snímající neelektrické veličiny (teplota, tlak, vlhkost, osvětlení, UV index) a základnové stanice, na kterou jsou tato data předávána. Jsou zde rozebírána témata týkající se šetření energií snímací stanice či přenos dat bezdrátovou metodou. V úvodní části práce jsou popsána teoretická východiska v oblasti meteorologie, teoretické informace o šíření rádiových vln a přenos dat pomocí této metody. Práce se rovněž zabývá základními informacemi o senzorech neelektrických veličin a o výrobě desek plošných spojů, které tvoří základ veškeré dnešní elektroniky. V praktické části jsou využity informace z části teoretické a pomocí nich jsou vybrány nezbytné součástky pro správnou funkci zařízení. Syntézou těchto informací je popsán samotný návrh a konstrukce prototypů jak základnové stanice, tak měřících sond. V závěrečném ustanovení (diskuzi) je srovnán prototyp s komerčně dostupnými zařízeními.

Klíčová slova

bezdrátová sensorová stanice, atmosférický tlak, teplota, vlhkost, osvětlení, konstrukce

Wireless sensor station

Abstract

The aim of the thesis is to describe the construction of a fully functional prototype of a wireless probe, which is able to measure non-electric quantities (temperature, pressure, humidity, illumination, UV index) and the base station to which these data are transmitted. The topics related to energy saving of the sensor station or wireless data transfer are discussed here too. The introductory part describes the theoretical background in meteorology, theoretical information on radio wave propagation and data transmission using this method. The thesis also deals with basic information about non-electric quantity sensors and the production of printed circuit boards, which form the basis of all today's electronics. In the practical part, the information from the theoretical part is used and the necessary components for the proper functioning of the device are selected. The synthesis of this information is described by the design and construction of the prototypes of both the base station and the measuring probes. The final clause (discussion) compares a prototype with commercially available devices.

Keywords

wireless sensor station, atmospheric pressure, temperature, humidity, illumination, construction

Obsah

1	Úvod	11
2	Cíl práce a metodika	12
3	Teoretická východiska	13
3.1	Meteorologie	13
3.1.1	Teplota	13
3.1.2	Atmosférický tlak	15
3.1.3	Vlhkost	15
3.1.4	Rosný bod	15
3.1.5	Intenzita osvětlení	17
3.1.6	UV Index	18
3.2	Přenos dat	20
3.3	Rádiové vlny	21
3.3.1	Šíření rádiových vln	21
3.3.2	Modulace	23
3.4	Paketové rádio	27
3.5	Senzory	28
3.6	Desky plošných spojů	28
3.7	Firmware	29
4	Vlastní práce	30
4.1	Paketové rádio	30
4.1.1	nRF24L01	30
4.1.2	Si4432	31
4.1.3	XY-MK-5V, XY-FS	32
4.1.4	Výběr vhodného modulu	33
4.1.5	Povolené frekvence v ČR	34
4.1.6	Struktura paketu	35
4.2	Senzory	36
4.2.1	Senzor tlaku, teploty, vlhkosti	36
4.2.2	Senzor osvětlení, UV indexu	37
4.3	Desky plošných spojů	37

4.4	Základnová stanice	38
4.4.1	Napájení	39
4.4.2	Ostatní části zařízení	39
4.4.3	Mechanická konstrukce základnové stanice	40
4.5	Sonda	42
4.5.1	Napájení	42
4.5.2	Šetření energií	43
4.5.3	Mechanická konstrukce sondy	43
4.6	Programování	46
4.6.1	Firmware	46
5	Výsledky a diskuze	47
6	Závěr	49
7	Seznam použitých zdrojů	51
8	Přílohy	54
8.1	Příloha A - Obrazová fotodokumentace	54
8.2	Příloha B - Snímky měření	68
8.3	Příloha C - Snímek pomocného programu	70
8.4	Příloha D - Výpočet rosného bodu	71

Seznam obrázků

1	Stevensonův přístřešek	14
2	Závislost rosného bodu na teplotě a tlaku	17
3	Mapa Evropy a přilehlých oblastí ukazující UV index	20
4	Odraz rádiových vln od ionosféry	23
5	Příklady analogové modulace	26
6	Příklady digitální modulace	27
7	Modul nRF24L01	31
8	Modul Si4432	32
9	Moduly XY-MK-5V a XY-FS	33
10	Blokové schéma základnové stanice	38

11	Render základnové stanice - strana součástí	41
12	Render základnové stanice - strana displeje	42
13	Render sondy - strana součástí	44
14	Render sondy - zadní strana	45

Seznam tabulek

1	Převody z/do Celsiovy stupnice	14
2	Vnímání výše rosného bodu pro člověka	17
3	Elektromagnetické spektrum	21
4	Vymezení využívaných rádiových kmitočtů	35
5	Struktura paketu	36
6	Specifikace desek plošných spojů	38
7	Indikační kontrolky základnové stanice	40

Seznam algoritmů

1	Výpočet rosného bodu (jednoduchý)	16
2	Výpočet rosného bodu (komplexní)	16

1 Úvod

V dnešní době jsou meteorologické stanice součástí takřka každé modernější domácnosti z důvodu jejich dostupnosti a nízké ceny, avšak všechny tyto stanice se od sebe značně liší jak nabízenými funkcemi, přesností, designem, tak cenou.

Běžné stanice dokáží měřit teplotu, vlhkost a tlak. S pomocí výpočetních algoritmů a zadání dodatečných údajů, jako je například místo, kde se stanice nachází, a aktuální čas, dokáží vypočítat další informace, jako je například východ a západ Slunce, aktuální fáze Měsíce či propočítávat aktuální pozice ostatních planet sluneční soustavy. Při využití těchto algoritmů meteostanice přebírá základní funkce astrolábu.

Značná popularita meteostanic je dána také tím, že tyto přístroje dokáží z naměřených dat předpovídat i počasí v krátkém intervalu, čímž mohou podat přesnější data pro určitou lokaci než globální předpověď.

V rámci této bakalářské práce není možné obsáhnout veškerou problematiku týkající se celé elektronické konstrukce a teoretických podkladů, neboť jednotlivé části jsou značně rozsáhlé - například teorie spínaných zdrojů a jejich filtrů použitých v obou zařízeních či jednotlivé modulace přenosového signálu. Dále také případná terminace signálových linek na deskách plošného spoje, popisy sběrnic či rozšířená definice samotných neelektrických veličin.

2 Cíl práce a metodika

Bakalářská práce je tématicky zaměřena na měření fyzikálních veličin a jejich přenos bezdrátovou metodou.

Hlavním cílem práce je návrh funkčního prototypu bezdrátové meteostanice pro měření environmentálních veličin.

Dílčím cílem práce je analýza dostupných technologií, porovnání jednotlivých bezdrátových modulů zvažovaných pro výsledný prototyp a porovnání senzorů fyzikálních veličin.

Práce se v teoretické části zaměřuje na popis a postup měření jednotlivých meteorologických veličin a poté také teoretickým elektrotechnickým aspektům samotné stavby zařízení, jako je přenos dat bezdrátovou metodu, metody modulace a šíření rádiových vln.

Praktická část popisuje výběr jednotlivých komponent a samotnou stavbu zařízení a jejích dílčích částí.

Informace obsažené v této bakalářské práci jsou čerpány primárně z odborné literatury a publikací; jako sekundární zdroje jsou v práci využity odborné webové stránky.

Na základě získaných poznatků bude formulován závěr práce.

3 Teoretická východiska

3.1 Meteorologie

Meteorologie je vědou na pomezí fyziky a chemie zabývající se zemskou atmosférou. Hlavními tématy meteorologie jsou složení, struktura a pohyb atmosféry. Hlavním cílem meteorologie je kompletní pochopení a předpověď atmosférických jevů (Amet-soc, 2012).

Důležité pojmy, které do meteorologie spadají, jsou počasí a podnebí.

- Počasí je okamžitý stav atmosféry (teplota, vlhkost) na určitém místě v určitém čase (Amet-soc, 2015).
- Podnebí je dlouhodobý stav atmosféry (teplota, rychlost větru apod.) na určitém místě v určitém čase (Merriam-Webster, 2017).

3.1.1 Teplota

Teplota vzduchu bývá měřena meteorologickými observatořemi a meteorologickými stanicemi in situ s využitím teploměrů, které bývají nejčastěji uzavřeny ve Stevensonově přístřešku (obrázek č. 1). Jedná se o přístřešek, který chrání meteorologické přístroje před přímými srážkami a přímým teplem z okolních zdrojů, přičemž umožňuje volnou cirkulaci vzduchu okolo těchto přístrojů (Weather-online, 2017).

Teploměry by měly být umístěny ve výšce 1,25 - 2 m nad zemí, bližší informace o standardizaci lze dohledat na stránkách světové meteorologické organizace (WMO) - public.wmo.int.

Pro měření teploty se využívá několik stupnic, pravděpodobně nejznámější je stupnice Celsiova, která je standardizována 0°C pro bod tání a 100°C pro bod varu. Celsiova stupnice se standardně využívá v oblastech, kde platí metrický systém (Britannica, 2014).

Celsiova stupnice je využívána ve většině zemí světa (Walker et al., 2013, s. 499).

V USA je využívána stupnice Fahrenheitova (Walker et al., 2013, s. 499).

Přepočty mezi nejvíce užívanými stupnicemi jsou uvedeny v tabulce č.1:

	Z Celsiovy stupnice	Do Celsiovy stupnice
Fahrenheit	$[F] = [^{\circ}C] \times \frac{9}{5} + 32$	$[^{\circ}C] = ([^{\circ}F] - 32) \times \frac{5}{9}$
Kelvin	$[^{\circ}K] = [^{\circ}C] + 273.15$	$[^{\circ}C] = [^{\circ}K] - 273.15$
Rankine	$[^{\circ}R] = ([^{\circ}C] + 273.15) \times \frac{9}{5}$	$[^{\circ}C] = ([^{\circ}R] - 491.67) \times \frac{5}{9}$
Delisle	$[^{\circ}De] = (100 - [^{\circ}C]) \times \frac{3}{2}$	$[^{\circ}C] = 100 - [^{\circ}De] \times \frac{2}{3}$
Newton	$[^{\circ}N] = [^{\circ}C] \times \frac{33}{100}$	$[^{\circ}C] = [^{\circ}N] \times \frac{100}{33}$
Réaumur	$[^{\circ}Re] = [^{\circ}C] \times \frac{4}{5}$	$[^{\circ}C] = [^{\circ}Re] \times \frac{5}{4}$
Rømer	$[^{\circ}R\phi] = [^{\circ}C] \times \frac{21}{40} + 7.5$	$[^{\circ}C] = ([^{\circ}R\phi] - 7.5) \times \frac{40}{21}$

Tabulka 1: Převody z/do Celsiovy stupnice



Obrázek 1: Stevensonův přístřešek
Zdroj: (CambridgeBayWeather, 2005)

3.1.2 Atmosférický tlak

Atmosférický tlak, také nazývaný jako barometrický tlak, je síla, kterou působí atmosféra Země na jednotkovou plochu v daném místě. Atmosférický tlak je proměnlivý, v daném místě kolísá okolo určité hodnoty, nejvyšších hodnot dosahuje při hladině moře a s rostoucí výškou klesá. Tlak vzduchu je závislý na řadě faktorů, z důvodu snazšího porovnávání výsledků různých měření tlaku byl zaveden pojem „normální tlak vzduchu“. Jedná se o průměrnou hodnotu tlaku vzduchu při mořské hladině na 45° severní šířky při teplotě 15°C a tíhovém zrychlení $9,80665 \frac{m}{s^2}$. Je definován hodnotou 101325 Pa, díky čemuž vznikla další jednotka nazývaná „fyzikální atmosféra“, jiným názvem „absolutní atmosféra“ - 1 atm = 101325 Pa. Tlak se ve většině případů uvádí v Pascalech, běžně používaných s předponami SI (hPa - hektopascal, MPa - megapascal). V některé literatuře je uváděna další jednotka - Torr (milimetr rtuťového sloupce - mm Hg):

$$1 \text{ Torr} = \frac{1}{760} \text{ atm} = \frac{101325}{760} \text{ Pa} \approx 133.3 \text{ Pa} \quad (1)$$

3.1.3 Vlhkost

Vlhkost udává, jaké množství vody v plynném stavu (vodní páry) obsahuje dané množství vzduchu. V oblasti meteorologie se nejčastěji vyskytují dva pojmy:

- Absolutní vlhkost vzduchu

Vyjadřuje hmotnost vodní páry obsažené v jednotce objemu vzduchu, nejčastěji se vyjadřuje v gramech vodní páry na metr krychlový vzduchu.

- Relativní vlhkost vzduchu

Udává poměr mezi okamžitým množstvím vodních par ve vzduchu a množstvím par, které by měl vzduch o stejném tlaku a teplotě při plném nasycení - pokud je vzduch nasycen vodní párou, je jeho relativní vlhkost 100%. Pro člověka je optimální vlhkost vzduchu okolo 60%. Průměrná relativní vlhkost vzduchu je nejvyšší v prosinci (93%), nejnižší je mezi dubnem až srpnem (75-77%) (Balnar, 2017).

3.1.4 Rosný bod

Rosný bod je teplota, při které je vzduch maximálně nasycen vodními parami (relativní vlhkost vzduchu dosáhne 100%).

Algoritmů pro výpočet rosného bodu je několik, od velmi jednoduchých, v praxi téměř nevyužitelných (příklad uveden v algoritmu č. 1) až po náročnější, které jsou již velmi přesné (algoritmus č. 2).

Grafické znázornění závislosti hodnoty rosného bodu na teplotě vzduchu a relativní vlhkosti je zobrazeno na obrázku č. 2.

Hodnota rosného bodu má závislost na tom, jakým způsobem člověk vnímá své okolí, tyto informace jsou uvedeny v tabulce č. 2.

Algoritmus 1 Výpočet rosného bodu (jednoduchý)

$$T_{dp} = T - \frac{100 - V}{5} \quad (2)$$

T - teplota (°C)

V - relativní vlhkost (%)

Algoritmus 2 Výpočet rosného bodu (komplexní)

$$\gamma_m(T, RH) = \ln \left(\frac{RH}{100} e^{(b - \frac{T}{d})(\frac{T}{c + T})} \right) \quad (3)$$

$$T_{dp} = \frac{c \gamma_m(T, RH)}{b - \gamma_m(T, RH)} \quad (4)$$

a = 6,1121 mb

b = 18,678

c = 257,14 °C

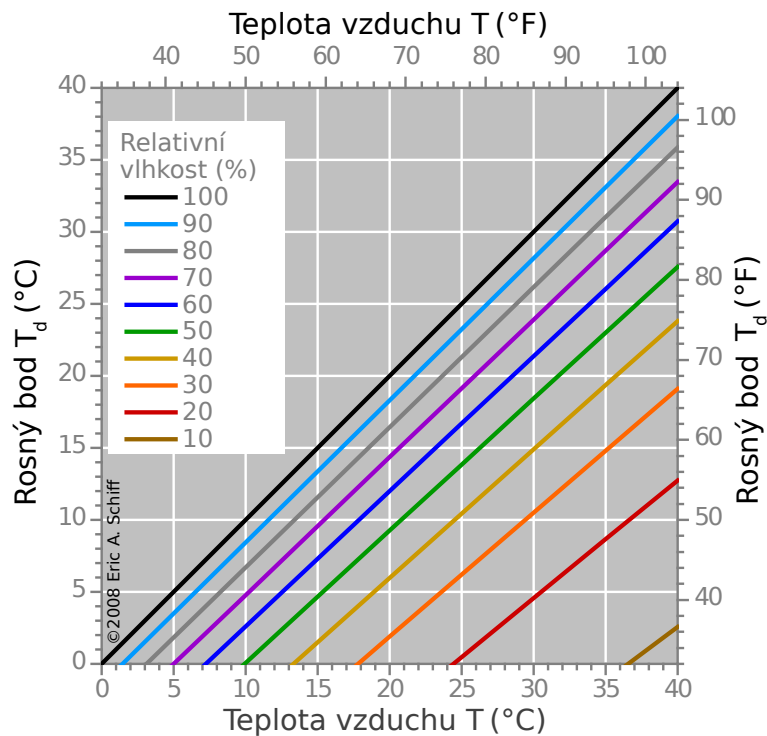
d = 234,5 °C

RH - relativní vlhkost (v %)

T - teplota (v °C)

T_{dp} - rosný bod (v °C)

Pro maximální chybu 0,1%, přičemž musí platit podmínka $-30^\circ\text{C} \leq T \leq 35^\circ\text{C}$ a $1\% \leq RH \leq 100\%$



Obrázek 2: Závislost rosného bodu na teplotě a tlaku
Zdroj: (Schiff, 2008), přeloženo

Rosný bod v °C	Vnímání u člověka	Rel. vlhkost (při 32,2 °C)
> 24 °C	Těžko snesitelné dusno, problémy s dýcháním u citlivějších	> 62 %
21 - 24 °C	Velmi nepohodlné vlhko a dusno	52 - 60 %
18 - 21 °C	Nepohodlné pro citlivější, ještě snesitelné pro ostatní	44 - 52 %
16 - 18 °C	Pro většinu přijatelné, citlivější cítí větší vlhkost	37 - 46 %
13 - 16 °C	Dobře snesitelné	31 - 41 %
10 - 12 °C	Příjemné až ideální	31 - 37 %
< 10 °C	Suché pro citlivější, přijatelné pro ostatní	30 %

Tabulka 2: Vnímání výše rosného bodu pro člověka
Zdroj: (Horstmeyer, 2008)

3.1.5 Intenzita osvětlení

Intenzita osvětlení je veličina definovaná jako světelný tok dopadající na jednotku plochy. Nejčastěji využívanou jednotkou je Lux (lx), který je definován světelným tokem 1 lumenu (lm) dopada-

jícího na plochu 1m². Přístroj pro měření intenzity osvětlení se nazývá luxmetr.

3.1.6 UV Index

UV index byl představen v roce 1992 v Kanadě v důsledku sílících obav ohledně zvyšování průniku UV radiace skrze ozónové díry a byl standardizován Světovou meteorologickou organizací a Světovou zdravotnickou organizací v roce 1994 (Fioletov et al., 2010).

UV index je navržen jako lineární škála, přímo úměrná intenzitě UV záření, které způsobuje popálení lidské kůže. Například kůže bělocha (bez aplikování opalovacího krému) se začne spalovat po 30 minutách při UV indexu 6, při UV indexu 12 může tento jednotlivec očekávat spálení během 15 minut - dvakrát tolik UV záření, dvakrát tak rychlé spálení.

Měření UV indexu má za úkol pomoci lidem při dodržování dostatečné ochrany před negativními důsledky UV záření jako je stárnutí kůže, poškození DNA, rakovina kůže a kataraktou¹.

UV index je rozdělen následovně (EPA, 2016):

- **0-2: Nízký** ■

Pro běžného člověka značí malé nebezpečí.

- Doporučuje se nosit sluneční brýle v jasných dnech.
- Pokud se kůže člověka snadno spálí, je vhodné použít opalovací krém s ochranným faktorem 30 a více.
- Lesklé povrchy, jako je například písek, voda či sníh odrážejí UV záření a tím zvyšují obdrženou dávku.

- **3-5: Střední** ■

Pro člověka značí středně velké riziko poškození organismu od nechráněného slunečního záření.

- Je vhodné zůstat ve stínu v době poledne, kdy je záření slunce nejsilnější.
- Pokud se člověk nachází mimo stín, je vhodné nosit ochranné oblečení, pokrývku hlavy s širokým okrajem a sluneční brýle blokující UV záření.
- Je vhodné aplikovat ochranný krém s faktorem 30+ každé 2 hodiny, dokonce i při zataženém obloze, či ihned po koupání či vypocení.

¹Šedý zákal - jedná se o onemocnění oka, kdy se čočka zakalí a pacient vidí, jako kdyby se díval přes špinavé sklo. Nemoc se léčí nahrazením zakalené lidské čočky tenkou umělou čočkou. Určitá naděje pro neinvazivní léčbu je vkládána do očních kapek obsahující Acetylcarnosin (Guo – Yan, 2006).

- Lesklé povrchy, jako je například písek, voda či sníh odrážejí UV záření a tím zvyšují obdrženou dávku.

- **6-7: Vysoký** ■

Značí vysoké riziko poškození od nechráněného slunečního svitu. Ochrana kůže a očí je nezbytná.

- Je vhodné omezit čas na slunci mezi 10. a 16. hodinou.
- Je vhodné aplikovat doporučené postupy uvedené výše.

- **8-10: Velmi vysoký** ■

Značí vysoké riziko poškození od nechráněného slunečního svitu. Ochrana kůže a očí je naprosto nezbytná.

- Je vhodné aplikovat doporučené postupy uvedené výše.

- **11 a více: Extrémní** ■

Značí extrémně vysoké riziko poškození od nechráněného slunečního svitu. Ochrana kůže a očí je naprosto nezbytná, nechráněná kůže a oči se spálí během několika minut.

- Je doporučeno se zcela vyhnout pohybu na slunci mezi 10. a 16. hodinou.
- Je vhodné aplikovat doporučované postupy uvedené výše.

Na obrázku č. 3 je zobrazena mapa Evropy a přilehlých oblastí ukazující průměrnou výši UV indexu a doporučené barvy pro jednotlivé hodnoty UV indexu.



Obrázek 3: Mapa Evropy a přilehlých oblastí ukazující UV index
Zdroj: (Rehfuess, 2002, s. 22)

3.2 Přenos dat

Přenos a zpracování dat je jedním z hlavních aspektů IT (Daintith, 2009, IT).

Pro přenos je možné využít nepřeborné množství kanálů - od drátových, přes optické systémy, zvukové systémy až po rádiové vlny.

Rozdělení elektromagnetického spektra je uvedeno v tabulce č. 3.

	Název	Frekvence	Vlnová délka
Rádiové vlny	velmi dlouhé vlny	3 - 30 kHz	10 ² - 10 km
	dlouhé vlny (DV)	30 - 300 kHz	10 - 1 km
	střední vlny (SV)	0,3 - 3 MHz	1 - 0,1 km
	krátké vlny (KV)	3 - 30 MHz	100 - 10 m
	velmi krátké vlny (VKV)	30 - 300 MHz	10 - 1 m
	ultra krátké vlny (UKV)	0,3 - 3 GHz	1 - 0,1 m
	mikrovlny	3 - 30 GHz	100 - 10 mm
	mikrovlny	30 - 300 GHz	10 - 1 mm
	infračervené záření	10 ¹⁰ - 10 ¹⁴ Hz	760 nm - 1 mm
	viditelné záření	10 ¹⁴ Hz	400 - 900 nm
	ultrafialové záření	10 ¹⁴ - 10 ¹⁶ Hz	400 - 10 nm
	rentgenovo záření	10 ¹⁶ - 10 ¹⁹ Hz	10 - 0,1 nm
	gama záření	10 ¹⁹ - 10 ²⁴ Hz	10 ⁻¹⁰ - 10 ⁻¹⁴ m

Tabulka 3: Elektromagnetické spektrum
Zdroj: (REMION, 2018), upraveno

3.3 Rádiové vlny

Jedná se o typ elektromagnetické radiace s vlnovou délkou v elektromagnetickém spektru delší než infračervené světlo.

Rádiové vlny mají frekvence od 3 kHz do 300 GHz (Jones et al., 2013).

Uměle vytvořené rádiové vlny jsou využívány pro rádiovou komunikaci, vysílání rozhlasu, detekci objektů pomocí radaru, navigaci, komunikaci se satelity, využití naleznou i v počítačových sítích.

Rádiové vlny jsou generovány rádiovými vysílači a přijímány rádiovými přijímači.

3.3.1 Šíření rádiových vln

Různé frekvence rádiových vln mají různé charakteristiky, přičemž praktické rádiové systémy využívají tři různé techniky šíření (Seybold, 2005):

- **Linie přímé viditelnosti**

- Takto jsou označeny rádiové vlny, které cestují v přímé linii viditelnosti od vysílací k přijímací anténě. Není nutně vyžadována přímá viditelnost; při nižších frekvencích

mohou rádiové vlny procházet skrz budovy, olistění stromů a jiné překážky. Toto je jediná možná metoda přenosu u frekvencí, které jsou vyšší než 30 MHz. Tato metoda je využívána mobilními telefony, FM a televizním vysíláním a radarem. Použitím parabolické antény je možné vytvořit mikrovlnné pojitko, které je schopné přenášet telefonní a televizní signály na dlouhé vzdálenosti v rámci přímé viditelnosti.

* Nepřímé šíření

- Rádiové vlny jsou schopny dorazit do místa příjmu, které se nenachází v přímé viditelnosti pomocí difrakce (ohybem) a odrazem. Difrakce umožňuje rádiovým vlnám „ohnutí“ za překážku, jako je například okraj budovy, vozidlo a jiné. Rádiové vlny se mohou odrážet od povrchů jako jsou zdi, podlahy, stropy, vozidla, případně země. Tyto metody šíření nastávají u rádiové komunikace na krátkou vzdálenost, jako jsou mobilní telefony, bezdrátové telefony, vysílačka a bezdrátové počítačové sítě. Značná nevýhoda tohoto módu je vícecestný příjem / šíření (multipath propagation), kde rádiové vlny cestují z vysílacího bodu do přijímacího pomocí více cest, tyto vlny se mezi sebou navzájem ruší, což způsobuje útlum signálu a jiné problémy při příjmu.

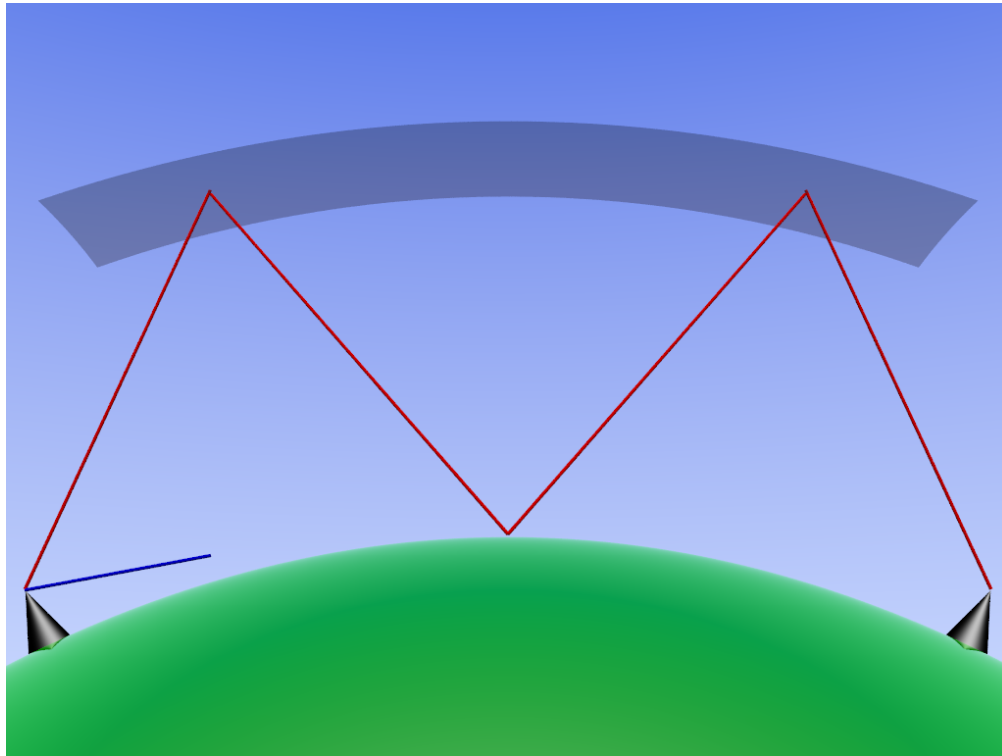
• **Groundwave**

- Na nízkých frekvencích (pod 2 MHz), z důvodu difrakce vertikálně polarizovaných rádiových vln, dochází k ohybu těchto vln okolo překážek, jako jsou kopce a hory, díky čemuž se vlny mohou šířit za horizont a putovat jako zemní vlny (surface waves), které následují obrysy Země. Při poklesu frekvence se ztráty snižují a dosažitelný rozsah se zvyšuje. Armádní systémy využívající tyto frekvence jsou schopny komunikovat přes velkou část Země a s ponorkami, které se nacházejí desítky metrů pod hladinou vody.

• **Skywave**

- Při využití středních a krátkých vln dochází k odrazu těchto vln od vodivých vrstev nabitých částic (iontů), které jsou součástí atmosféry, nazývané ionosféra. Tedy rádiové vlny vyslané pod určitým úhlem do atmosféry se od ní odrazí a vrací se zpět na povrch za horizont; toto je nazýváno jako „skok“ nebo jako „odraz od ionosféry“. Při využití většího množství skoků je možné dosáhnout interkontinentální komunikace. Jednotlivé skoky jsou velmi závislé na atmosférických vlivech; nejspolehlivější jsou v noci a v zimě. Ilustrace jednotlivých skoků je uvedena na obrázku č. 4. Tento způsob byl široce

používán v první polovině 20. století, avšak z důvodu nespolehlivosti přenosu byl po většinou opuštěn. V dnešní době se tato metoda využívá hlavně pro vojenské radary, které jsou schopny „vidět“ za horizont, některými automatizovanými systémy a radioamatéry, případně rádiovými stanicemi, které vysílají do zahraničí.



Obrázek 4: Odraz rádiových vln od ionosféry
Zdroj: (Janke, 2007)

3.3.2 Modulace

Modulace je proces změny jedné či více vlastností periodické vlny, nazývané také jako nosná vlna, modulačním signálem, jenž obvykle obsahuje informace, které je zapotřebí přenést. Většina rádiových systémů ve 20. a 21. století využívala frekvenční modulaci (FM) nebo amplitudovou modulaci (AM).

Modulátor je zařízení, které provádí modulaci, demodulátor je zařízení, které provádí demodulaci, čili inverzi modulace. Zařízení, které umožňuje provádět jak modulaci, tak demodulaci nazýváme modem.

Ukázka modulace analogovým signálem, který je využíván například některými vysílačkami a rádiovými stanicemi, je uvedena na obrázku č. 5.

Příklad modulace digitálním signálem, který je využíván pro přenos digitálních informací pro digitální počítače, je uveden na obrázku č. 6.

- **AM - Amplitude Modulation (amplitudová modulace)**

- V amplitudové modulaci se mění amplituda (síla signálu) nosné vlny v závislosti na změně amplitudy vstupního modulačního signálu. Amplitudová modulace byla první modulací, která byla využita pro přenos hlasu (Flosi, 2012)(Bray, 2002). Dnes se stále využívá v přenosných vysílačkách, rozhlase, letectví a některých počítačových modelech.

- **FM - Frequency Modulation (frekvenční modulace)**

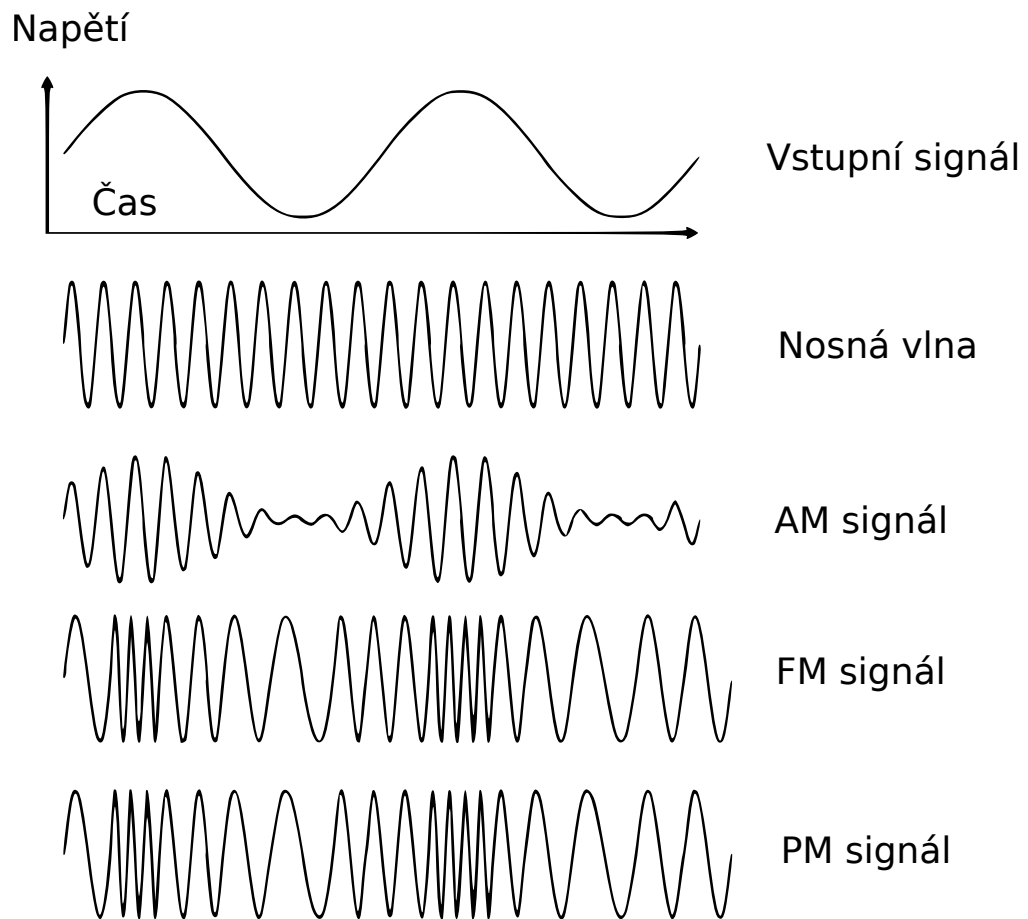
- Ve frekvenční modulaci se mění okamžitá frekvence nosné vlny v závislosti na změně amplitudy vstupního modulačního signálu.
- V analogové frekvenční modulaci, jako je například vysílání FM rádia, je okamžitá frekvenční odchylka, tedy rozdíl mezi aktuální frekvencí nosné vlny a její středové frekvence přímo úměrná modulovanému signálu.
- Frekvenční modulace může být také využita pro přenos digitálních dat (viz níže pojmy FSK, GFSK).
- FM modulace je velmi široce využívána, využívají ji rozhlasové stanice, radarové stanice, vysílačky, využívá se pro syntézu zvuků, nahrávání dat na magnetické pásky aj.
- Výhodou frekvenční modulace je, že má vyšší poměr signálu k šumu, čímž lépe odolává rušení nežli amplitudová modulace. Díky tomu je oproti ní preferována.

- **FSK - Frequency Shift Keying (klíčování frekvenčním posuvem)**

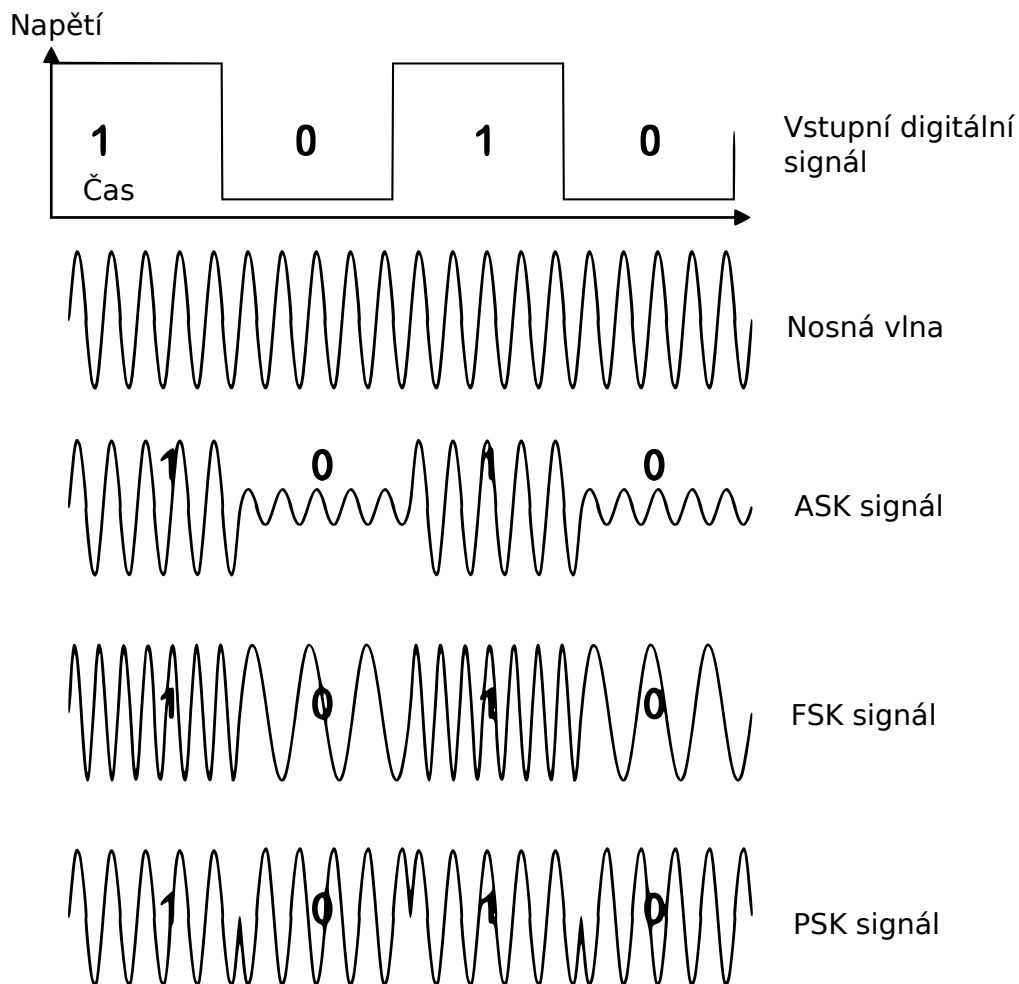
- Jedná se o schéma frekvenční modulace určené pro digitální vysílání.
- Digitální informace je možné přenášet pomocí změn frekvence nosné vlny.
- Nejjednodušším příkladem je binární FSK (BFSK), která využívá dvojici frekvencí pro přenos digitálních dat - logické jedničky je přiřazena jedna frekvence, logické nuly je přiřazena jiná frekvence.

- **GFSK - Gaussian Frequency Shift Keying (Gaussovo klíčování frekvenčním posuvem)**
 - Je určitou odnoží FSK.
 - Raději než přímo modulovat frekvenci nosné vlny pomocí digitálních symbolů okamžitým skokem ve změně frekvence, GFSK využívá filtraci jednotlivých pulzů pomocí Gaussova filtru tak, aby přechod mezi jednotlivými stavy byl hladší. Využití takového filtru má výhodu ve snížení rušení okolních kanálů.

- **OOK - On-Off keying (bipolární modulace „svítí-nesvítí“)**
 - Je nejjednodušším případem ASK (Amplitude Shift Keying) - klíčování amplitudovým posuvem, která je formou amplitudové modulace, jenž reprezentuje digitální data pomocí změn amplitudy nosné vlny.
 - OOK modulace reprezentuje digitální data v důsledku přítomnosti nebo nepřítomnosti nosné vlny.
 - Jednoduše řečeno, přítomnost nosné vlny na určitou dobu znamená logickou jedničku, přičemž její absence na stejnou dobu znamená logickou nulu.
 - OOK je běžně využívána pro přenos Morseovy abecedy přes rádiové frekvence.
 - OOK se využívalo a stále využívá v některých optických komunikačních rozhraních, jako je například infračervený port (IrDa).



Obrázek 5: Příklady analogové modulace
 Zdroj: (Faruque, 2017), vektorováno, přeloženo



Obrázek 6: Příklady digitální modulace
Zdroj: (Faruque, 2017), vektorováno, přeloženo

3.4 Paketové rádio

Pod pojmem paketové rádio rozumíme rozhraní, které obsahuje rádiový modul, jenž dokáže přijímat a odesílat digitální data. Jednotlivá data jsou zabalena do většího celku, který nazýváme paket.

Rozhraní většinou samo naslouchá na specifické rádiové frekvenci a pokud v příjmu nalezne data, uloží je do svých registrů a informuje nadřazený systém (mikrokontrolér) o příchodu nových dat obvykle za pomoci jednoho vodiče, jenž změní svou napěťovou úroveň (logickou hodnotu). Mikrokontrolér na tuto událost reaguje ve většině případů pomocí obsluhy přerušování - přerušuje svou aktuálně vykonávanou práci (nebo se probudí z režimu sníženého odběru), obslouží připojený modul (přijme data pomocí sběrnice, ke které je připojen daný modul) a pokračuje ve své práci (nebo

se opět uspí).

3.5 Senzory

Senzor je zařízení, které poskytuje užitečný výstup při reakci na specifickou měřenou veličinu (NYU, 2018).

Senzor snímá určité fyzické kvantum a následně jej převádí na signál vhodný pro další zpracování (optický, elektrický, mechanický signál...) (NYU, 2018).

Aktivní část senzoru se nazývá převodník (NYU, 2018).

Existují například senzory, které převádí naměřenou teplotu (většinou) na lineární škálu napětí. Toto napětí může být navzorkováno analogově-digitálním převodníkem (ADC) a poté digitalizováno na digitální data. Příkladem takového senzoru je TC1046.

Prodávají se rovněž senzory, které mají analogově-digitální převodník v sobě již integrován. V takovém případě je změřená neelektrická veličina převedena na elektrickou (napětí), která je následně přímo v senzoru vzorkována, digitalizována a data jsou předána do vnitřních registrů senzoru, odkud mohou být přečtena připojeným mikrokontrolérem. Příkladem takového senzoru je DS18B20.

3.6 Desky plošných spojů

Desky plošných spojů slouží pro mechanické upevnění součástek a jejich vzájemné propojení pomocí vodivých cest, které jsou vytvořeny leptáním z měděných fólií nalepených na izolační laminátové desce.

V případě nutnosti jsou na určitých místech desky provrtány či vyfrézovány.

Desky mohou být jednovrstvé (měděné trasy jsou pouze z jedné strany), dvouvrstvé (měděné trasy jsou z obou stran, přičemž obě trasy je možné navzájem propojit pomocí vyvrtaných průchodek, které musejí být prokovené a procházejí celou deskou) a vícevrstvé, které se využívají pro velmi složité obvody, případně pro omezení vyzařování EMI² (Ott, 2009, s. 677).

Na měděné trasy se nanáší nepájitivá maska, což je poloprůhledná vrstva nejčastěji zelené barvy (avšak barva může být jiná - žlutá, červená, modrá, fialová, bílá, černá...), která chrání měděné trasy a většinou odkrývá pouze části, na které se bude pájet.

Na odkrytá místa nepájitivé masky se provádí povrchová úprava - potažení cínem, niklem/zlatem nebo jiným materiálem, který zabraňuje korozi (Milad – Gudeczauskas, 2015).

²Electromagnetic interference (Elektromagnetické rušení)

Často se na nepájivou masku nanáší servisní potisk, který znázorňuje rozmístění součástek, jejich označení a jiné. Nejčastěji bývá tento potisk bílé barvy, avšak barvu servisního potisku i nepájivé masky může návrhář desky plošných spojů volit dle nabídky výrobce a vlastního uvážení.

Desky plošných spojů (DPS) jsou nejčastěji navrhovány pomocí specializovaného CAD softwaru - EDA (Electronic design automation).

3.7 Firmware

Jako firmware označujeme počítačový program, který poskytuje nízkouúrovňové ovládání specifického hardwaru zařízení. Firmware může poskytovat standardizované operační rozhraní pro komplexní software zařízení (čímž umožňuje jistou hardwarovou nezávislost a multiplatformnost), nebo, u méně složitých zařízení slouží jako kompletní operační systém zařízení, provádějící veškerou kontrolu, monitoring a manipulaci s daty.

Typické využití firmwaru je u vestavěných systémů (embedded systems), které na rozdíl od univerzálního programovatelného počítače plní jeden specifický účel (například semaforey, pračky, kalkulačky, meteostanice, sondy...).

4 Vlastní práce

4.1 Paketové rádio

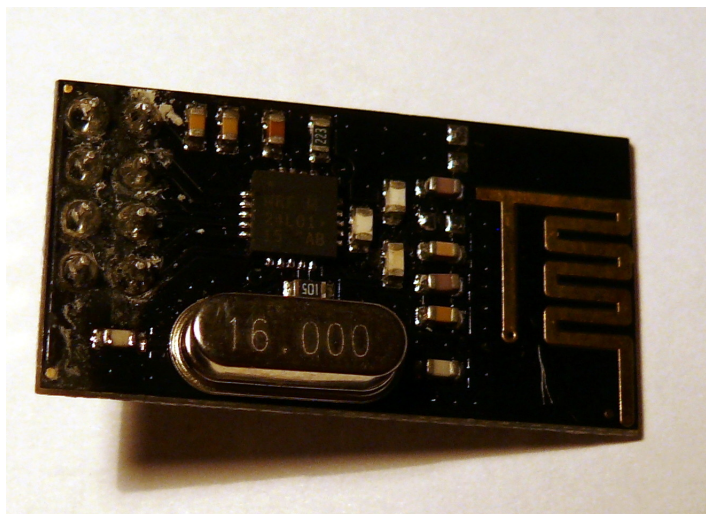
Pro odesílání a příjem dat bezdrátovou metodou je zapotřebí rozhraní, které tuto operaci umožní. V případě této práce se jedná o bezdrátový modul, který komunikuje s řídicím mikroprocesorem zařízení a bezdrátově přijímá a odesílá potřebná data. Modulů pro tuto operaci se na trhu vyskytuje značné množství lišící se velkým počtem parametrů - od frekvence, na které bezdrátový modul naslouchá a vysílá, přes vysílací výkon, citlivost, typ modulace a jiné. Byly zvažovány následující alternativy:

4.1.1 nRF24L01

- Výrobce: Nordic Semiconductors
- Frekvence: 2,400 - 2,4835 GHz
- Vysílací výkon (maximální): 0 dBm
- Citlivost: -94 dBm (250 kbps)
- Modulace: GFSK (Gaussian Frequency Shift Keying)
- Rychlost přenosu (max): 2 Mbps
- Obsahuje paketový engine
- Napájecí napětí: 1,9 - 3,6 V
- Cena: 0,99 \$³

Fotografie modulu nRF24L01 je znázorněna na obrázku č. 7.

³Stav ke dni 5.3.2018 na internetové galerii Aliexpress.



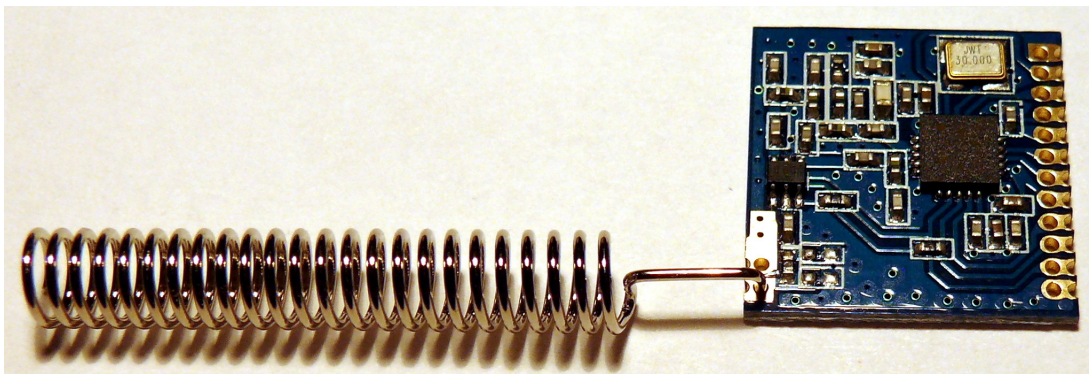
Obrázek 7: Modul nRF24L01
Zdroj: Archiv autora

4.1.2 Si4432

- Výrobce: Silicon Labs
- Frekvence: 240 - 930 MHz (volitelné digitálně, nicméně v okolí čipu jsou zapotřebí externí součástky, jejichž hodnoty jsou vypočteny pouze pro úzkou část tohoto rozsahu)
- Vysílací výkon (maximální): +20 dBm
- Citlivost: -121 dBm (2 kbps, GFSK)
- Modulace: GFSK (Gaussian Frequency Shift Keying), FSK (Frequency Shift Keying), OOK (On-off keying)
- Rychlost přenosu: 0,123 - 256 kbps
- Obsahuje paketový engine
- Napájecí napětí: 1,8 - 3,6 V
- Cena: 2,18 \$⁴

⁴Stav ke dni 5.3.2018 na internetové galerii Aliexpress.

Obrázek č. 8 zobrazuje fotografii modulu Si4432 s připojenou spirálovou anténou.



Obrázek 8: Modul Si4432
Zdroj: Archiv autora

4.1.3 XY-MK-5V, XY-FS

Na rozdíl od výše uvedených modulů, které kombinují jak vysílač, tak přijímač v jednom modulu, tyto moduly obsahují samostatné desky, přičemž přijímač nese označení **XY-MK-5V** a jeho specifikace jsou:

- Frekvence: 433,92 MHz
- Citlivost: -105 dBm
- Napájecí napětí: 5 V

Vysílač nese označení **XY-FS**, jeho parametry jsou:

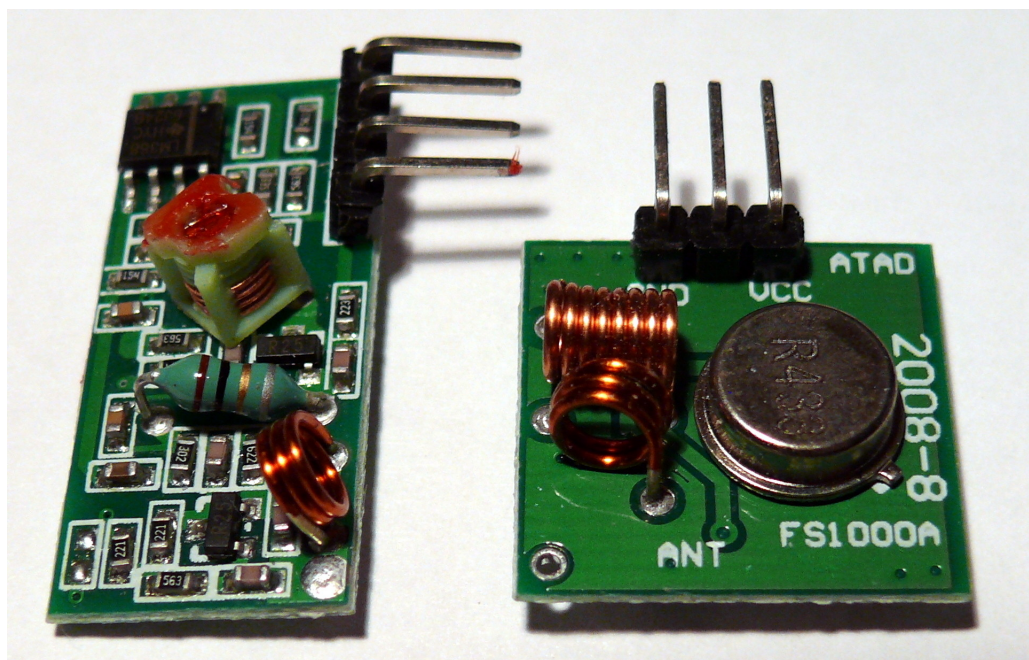
- Přenosová rychlost: 4 KB/s
- Frekvence: 433.92 MHz
- Modulace: AM (Amplitude modulation)
- Vysílací výkon: 10 dBm
- Napájecí napětí: 3,5 - 12 V

Cena komba modulů: 1,24 \$⁵

⁵Stav ke dni 5.3.2018 na internetové galerii Aliexpress.

Oba tyto moduly neobsahují paketový engine, jsou ryze analogové a konstrukčně podstatně jednodušší a postrádají drtivou většinu funkcí než výše uvedené moduly. Výhodou je však enormně nízká cena.

Na obrázku č. 9 jsou vyobrazeny moduly XY-MK-5V (přijímač, na obrázku vlevo) a modul XY-FS (vysílač, na obrázku vpravo).



Obrázek 9: Moduly XY-MK-5V a XY-FS
Zdroj: Archiv autora

4.1.4 Výběr vhodného modulu

Výše byly prezentovány tři moduly, které by se daly využít pro stavbu bezdrátové stanice a jejích sond.

Z důvodu enormního vytížení frekvence 2,4 GHz, která je využívána například také technologiemi Bluetooth či Wi-fi a z důvodu nízkého vysílacího výkonu byl vyřazen modul nRF24L01, který pracuje pouze na frekvencích okolo 2,4 GHz.

Pro výsledný prototyp se rovněž nehodí kombo modulů XY-FS a XY-MK5, jenž by sice pracovaly na požadované (méně využívané a volně dostupné) frekvenci, nicméně přijímač je možné napájet až od 5 V, přičemž zamýšlený prototyp má napětí 3,3 V.

Pokud by mělo být zařízení nějakým způsobem rozšiřováno, je vhodné mít modul, který umožní zároveň vysílat nebo přijímat - toto tento set modulů neumožňuje.

Je zapotřebí také zdůraznit fakt, že tyto moduly mají oscilátor sestaven pouze z diskretních součástek bez jakékoliv složitější kompenzace, je tedy pravděpodobné, že frekvence, na kterých bude modul vysílat, budou značně rozptýleny okolo určité hodnoty, z čehož plyne značně zhoršený příjem a značné množství rušení pro okolní zařízení, nehledě na fakt, že celé zařízení využívá amplitudovou modulaci. Je velmi pravděpodobné, že zařízení využívající tento set modulů by neprošlo EMI testy a nemohlo by tak být uvedeno na trh.

Z výše uvedených důvodů byl vybrán modul obsahující čip Si4432.

Si4432 má velké množství výhod oproti zmíněným modulům (modulační techniky, vysílací výkon, podporované frekvence, schopnost vysílat a přijímat, obsahuje paketový engine a jiné), má však také jednu značnou nevýhodu - čip neobsahuje jakékoliv šifrování, pokud je tedy šifrování žádoucí, je nutné jej implementovat softwarově v řídicím mikrokontroléru.

4.1.5 Povolené frekvence v ČR

Jelikož byl vybrán rádiový modul umožňující operace ve frekvenci 240 - 930 MHz, je vhodné uvést, na kterých frekvencích je v ČR legální operovat. O správu frekvencí se v ČR stará ČTÚ⁶.

Volné využívání kmitočtových frekvencí je uvedeno v tabulce č. 4.

⁶Český telekomunikační úřad

Frekvence	Využití
27 MHz	Provozování je možné podle VO-R/10/11.2016-13.
49 MHz	Provozování není přípustné (zařízení ruší rozhlasovou službu a necivilní aplikace).
230–400 MHz	Pásmo je vyhrazeno pro účely obrany státu – žádný civilní provoz není přípustný.
433 MHz	Provozování je možné podle VO-R/10/11.2016-13. (pouze přenos dat; bezdrátová sluchátka nejsou povolena).
470-789 MHz, 823-832 MHz	Provozování bezdrátových mikrofونů je možné podle VO-R/10/11.2016-13. (V úseku 694–789 MHz je provozování možné cca do r. 2021.)
789–823 MHz, 832–862 MHz	Provozování bezdrátových mikrofونů není od 1. 1. 2013 povoleno.
863–865 MHz	Provozování akustických aplikací je možné podle VO-R/10/11.2016-13.
868–870 MHz	Provozování je možné podle VO-R/10/11.2016-13.
870–960 MHz	Pásmo provozu mobilních telefonů (GSM) – provozování jiných aplikací není přípustné.
1,2 GHz	V Evropě není možné pro zařízení krátkého dosahu využívat.
1785-1805 MHz	Nové pásmo uvolněné podle VO-R/10/11.2016-13 pro bezdrátové mikrofony.
2,4 GHz	Provozování (RLAN, RFID, zařízení krátkého dosahu) je možné podle VO-R/12/09.2010-12 nebo VO-R/10/11.2016-13.

Tabulka 4: Vymezení využívaných rádiových kmitočtů
Zdroj:(ČTÚ, 2018)

Z tabulky Vymezení využívaných rádiových kmitočtů je patrné, že vhodné frekvence jsou 433 MHz a 868 - 870 MHz.

Vybrána byla frekvence 433 MHz, u které ČTÚ specifikuje další podmínky využívání: maximální vyzářený výkon 10mW, klíčovací poměr⁷ $\leq 10 \%$ (ČTÚ, 2016).

4.1.6 Struktura paketu

Sonda odesílá data do nadřazeného systému, přičemž struktura dat musí být jasně definovaná - všechna data jsou vložena do jednoho datového paketu. Tato data jsou v současné verzi kompenzovaná a počítaná v dané sondě.

Navržený formát datového paketu je uveden v tabulce č. 5.

⁷Klíčovací poměr (duty cycle) je podíl času, kdy zařízení aktivně vysílá, v rámci jakékoliv jedné hodiny.

Start pozice (B)	Velikost (B)	Datový typ	Funkce
0	4	float	Teplota
4	4	float	Vlhkost
8	4	float	Tlak
12	4	float	UV
16	4	float	IR
20	4	float	Osvětlení
24	4	float	Napětí baterie
28	1	uint8_t	ID vysílací stanice

Tabulka 5: Struktura paketu

4.2 Senzory

Jak základnová stanice, tak sonda obsahují celkem 2 kombinované senzory pro měření neelektrických veličin.

Na trhu existuje nepřeberné množství senzorů, které měří pouze jednu veličinu - například teplotu; jelikož by však v zařízení muselo být celkem pět těchto senzorů, byly vybrány senzory kombinované - jeden senzor měří několik fyzikálních veličin.

Pro potřeby této práce byly zvoleny senzory, které mají digitální výstup (data z nich se získávají čtením registrů pomocí sběrnice I²C).

4.2.1 Senzor tlaku, teploty, vlhkosti

Pro senzor tlaku, teploty a vlhkosti byl vybrán kombinovaný senzor **BME280** od firmy Bosch. Značnou výhodou senzoru je, že kombinuje snímání celkem tří veličin v miniaturním pouzdře, dále vyniká minimální spotřebou (3,6 μ A @ 1 Hz při měření teploty, vlhkosti a tlaku) a přijatelnou cenou 5,79 €⁸.

Zvažovanou alternativou pro měření teploty byl DS18B20, který má digitální výstup, nikoliv však rozhraní I²C, které bylo nezbytné pro připojení většího množství senzorů na tuto sběrnici, senzor DS18B20 rovněž není kombinovaným senzorem.

Pro měření vlhkosti byl taktéž zvažován senzor HDC1080 od Texas Instruments, který dokáže měřit jak teplotu, tak vlhkost, avšak ne atmosférický tlak.

Pro měření tlaku byl zvažován senzor MPL115A2, který však není kombinovaným senzorem.

⁸Stav ke dni 30.11.2017 u obchodu Mouser Electronics za kus

4.2.2 Senzor osvětlení, UV indexu

Pro senzor osvětlení a UV indexu byl vybrán senzor **SI1132**, což je kombinovaný senzor pro detekci síly okolního osvětlení a UV indexu.

Senzor vyniká přesností 100 mlx, miniaturním pouzdrem, malou spotřebou a příznivou cenou 1,75 €⁹.

Zvažovanou alternativou pro měření okolního osvětlení byl senzor MAX44004, který má rozhraní I²C, není však kombinovaný a posledním důvodem, proč byl vyřazen z alternativ byl fakt, že se již nevyrábí a nebylo jej tedy možné získat.

4.3 Desky plošných spojů

Desky plošných spojů jak základnové stanice, tak sondy jsou vyrobeny s ohledem na Směrnici Evropského parlamentu a Rady 2011/65/EU (RoHS), která omezuje používání některých nebezpečných látek v elektrických a elektronických zařízeních, proto je využita bezolovnatá pájka místo zakázané olovnaté (Office, 2015, s. 5).

Drtivá většina použitých součástek je určena pro povrchovou montáž (SMD), nejmenší pasivní prvky mají velikost 0805.

Tlačítka a displej u základnové stanice jsou určeny pro osazování pomocí drátových vývodů (THT), pomocí stejné technologie jsou taktéž osazeny držáky baterií sondy.

Desky taktéž obsahují referenční značky pro vizi optického systému osazovacího automatu, kdyby bylo zapotřebí součástky osazovat strojově.

Obě desky byly navrženy s ohledem na elektromagnetickou kompatibilitu (EMC), obsahují rozlitou zem pro snížení emise (Ott, 2009, s. 657) a velkou řadu filtrů a odrušovacích kondenzátorů pro „utišení“ obvodu.

Výrobní parametry obou desek plošných spojů jsou uvedeny v tabulce č. 6.

Velikost desky plošných spojů základnové stanice je 100 x 84 mm.

Velikost desky plošných spojů sondy je 77 x 65 mm.

⁹Stav ke dni 24.2.2018 u obchodu Mouser Electronics za kus

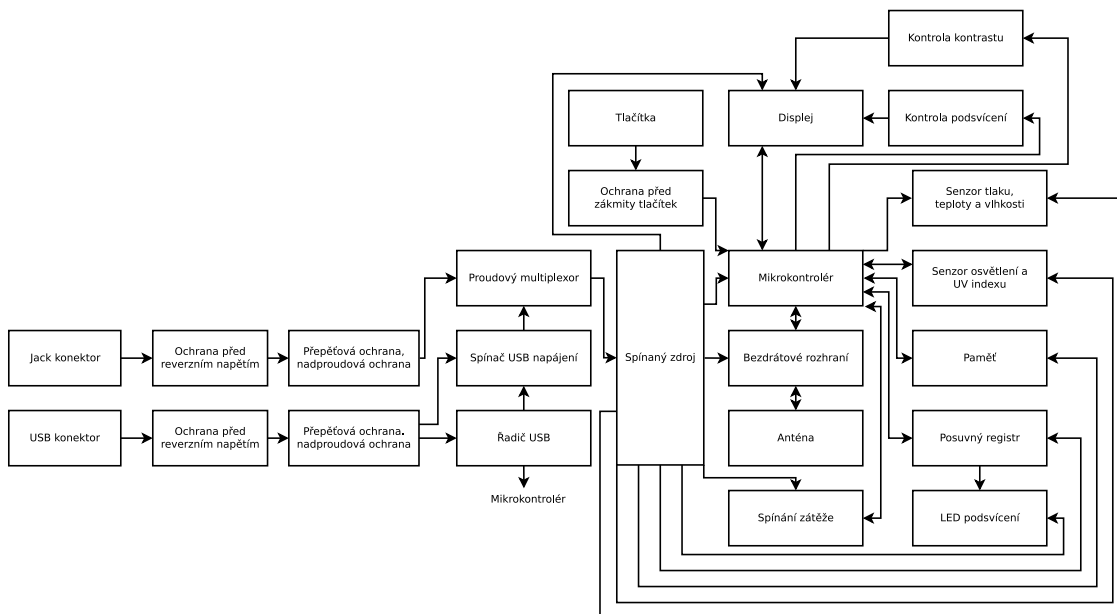
Specifikum	Hodnota
Počet vrstev	2
Materiál	FR4
FR4-TG	TG 130-140
Tloušť ka desky	1.6 mm
Minimální šířka trasy	> 6 mil (0.1524 mm)
Minimální šířka mezery	> 6 mil (0.1524 mm)
Minimální vývrt	> 0.3 mm
Nepájivá maska	Ano, obě strany, zelená
Potisk masky	Ano, obě strany, bílá
Povrch spojů	HAL bez olova
Zpracování průchodek	Průchodky zakryté maskou
Tloušť ka plátování mědi	1 oz (35 μ m)

Tabulka 6: Specifikace desek plošných spojů

4.4 Základnová stanice

Základnová stanice je hlavní přístroj, který zprostředkovává informace uživateli. Stanice je zamýšlena pro umístění v interiéru, sama měří tlak, vlhkost, teplotu, UV index a míru osvětlení, přijímá, vyhodnocuje a zobrazuje data přijatá ze sondy, která je nejčastěji umístěna v exteriéru.

Navržené blokové schéma základnové stanice je zobrazeno na obrázku č. 10.



Obrázek 10: Blokové schéma základnové stanice

4.4.1 Napájení

Zařízení je možné napájet ze dvou větví - z externího DC adaptéru nebo z USB adaptéru, přepínání mezi těmito větvemi probíhá automaticky, pokud jsou tedy připojeny obě větve, při selhání jedné větve automaticky přebírá její funkce větev druhá (v zařízení se nachází proudový multiplexor obstarávající automatické přepnutí).

Napájení je ošetřeno proti nesprávné polaritě (přehození polarity + a -), přepětí, podpětí a je opatřeno digitální pojistkou proti nadměrné spotřebě proudu (například při zkratu). V neposlední řadě všechny vstupy/výstupy obsahují transily pro posílenou ochranu před nárazem statické elektřiny.

Obě větve jsou zamýšleny pro napětí 5 V, 500 mA, při překročení hodnoty 5,675 V či 500 mA se aktivuje vnitřní ochrana a zařízení automaticky odstřihne takto postiženou větev. Absolutně maximální napětí na svorkách zařízení je 20 V ve správné či obrácené polaritě, při překročení tohoto napětí dojde k destrukci přepět'ové ochrany a nejspíše ke zničení celého zařízení.

V případě napájení pomocí USB zařízení provede handshake, při kterém je s hostitelem vyjednáno množství proudu potřebné pro provoz zařízení. Pokud je toto množství proudu povoleno, zařízení povolí průchod proudu z USB větve a zařízení se zapne - tato metoda zamezuje nadměrný odběr proudu u (starších) hostitelských počítačů, které nedokáží dodat proud potřebný pro provoz zařízení. Stanice také rozpoznává, zda-li k USB portu není připojen počítač, ale například USB nabíječka, v tomto případě se zařízení zapne okamžitě.

Za proudovým multiplexorem se nachází spínaný zdroj, který snižuje napětí z 5 V na 3,3 V požadované zařízením. Spínaný zdroj je preferován oproti lineárnímu regulátoru z důvodu vyšší účinnosti, avšak za cenu podstatně složitější konstrukce.

4.4.2 Ostatní části zařízení

Zařízení obsahuje značné množství dodatečných periférií:

- Je vybaveno přesným, teplotně kompenzovaným obvodem reálného času a zálohovací baterií pro případ, kdy je přerušeno napájení z obou větví, v tomto případě jsou informace o aktuálním datu a čase uchovány.
- S okolním světem komunikuje bezdrátovým modulem (primárně se sondami) a USB portem.
- Je vybaveno miniaturním elektromechanickým relém a svorkami pro ovládání připojené zátěže (při změně teploty, vlhkosti, tlaku...).

- Je ovládáno čtyřmi podsvícenými tlačítky, sílu podsvícení je možné volit jak manuálně, tak nechat systém jas regulovat automaticky podle okolního osvětlení.
- Obsahuje zvukovou signalizaci.
- Pro uchovávání dat je vybaveno 32 MBit pamětí.
- Informace jsou zobrazovány na monochromatickém displeji s rozlišením 128x64 pixelů, podsvícení je možné volit manuální či automatické jako v případě tlačítek.
- U displeje je také možné měnit kontrastní poměr jak manuálně, tak automaticky (kontrast se mění s teplotou, zařízení je schopné tento fenomén kompenzovat).

Kromě displeje jsou uživateli sdělovány nejdůležitější informace pomocí indikačních LED kontrollek, jako například aktuální bezdrátový příjem dat, aktuální zápis do paměti, sepnuté relé (zapnuta externí zátěž) apod. Stanice obsahuje celkem pětici indikačních kontrollek (některých vícebarevných), jejichž funkce jsou uvedeny v tabulce č. 7 (popisováno shora dolů):

Pozice	Barva	Účel
1	Zelená svítí	Zapnuto
	Zelená bliká	Chyba zařízení
2	Modrá	Sepnutí zátěže
3	Zelená	USB příjem dat
	Červená	USB vysílání dat
4	Zelená	Bezdrátové rozhraní - příjem dat
	Červená	Bezdrátové rozhraní - vysílání dat
5	Zelená	Paměť - čtení dat
	Červená	Paměť - zápis dat

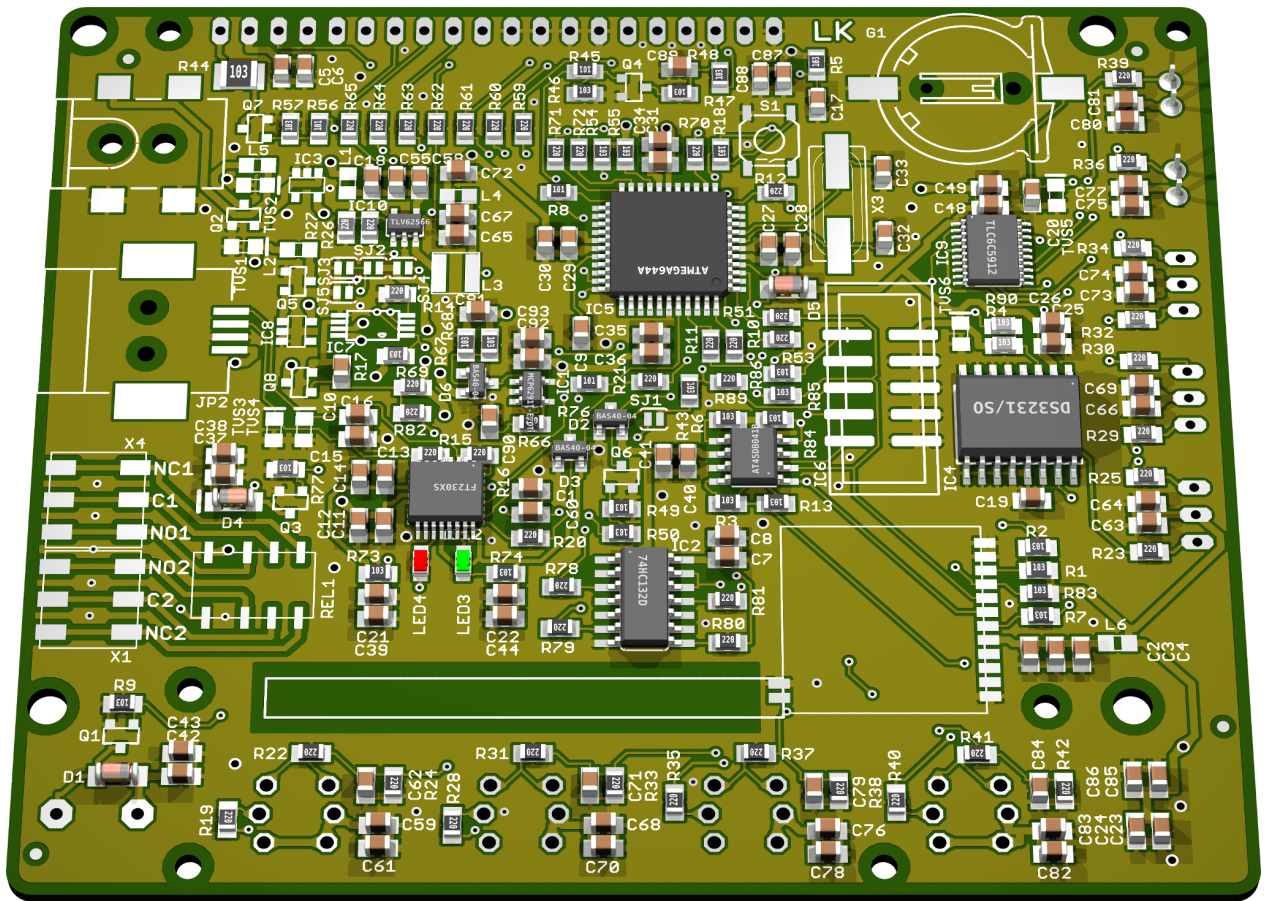
Tabulka 7: Indikační kontrolky základnové stanice

Veškeré kontrolky jsou z důvodu vyššího požadovaného proudu a nedostatečného počtu pinů na mikrokontroléru ovládány pomocí předřadného posuvného registru.

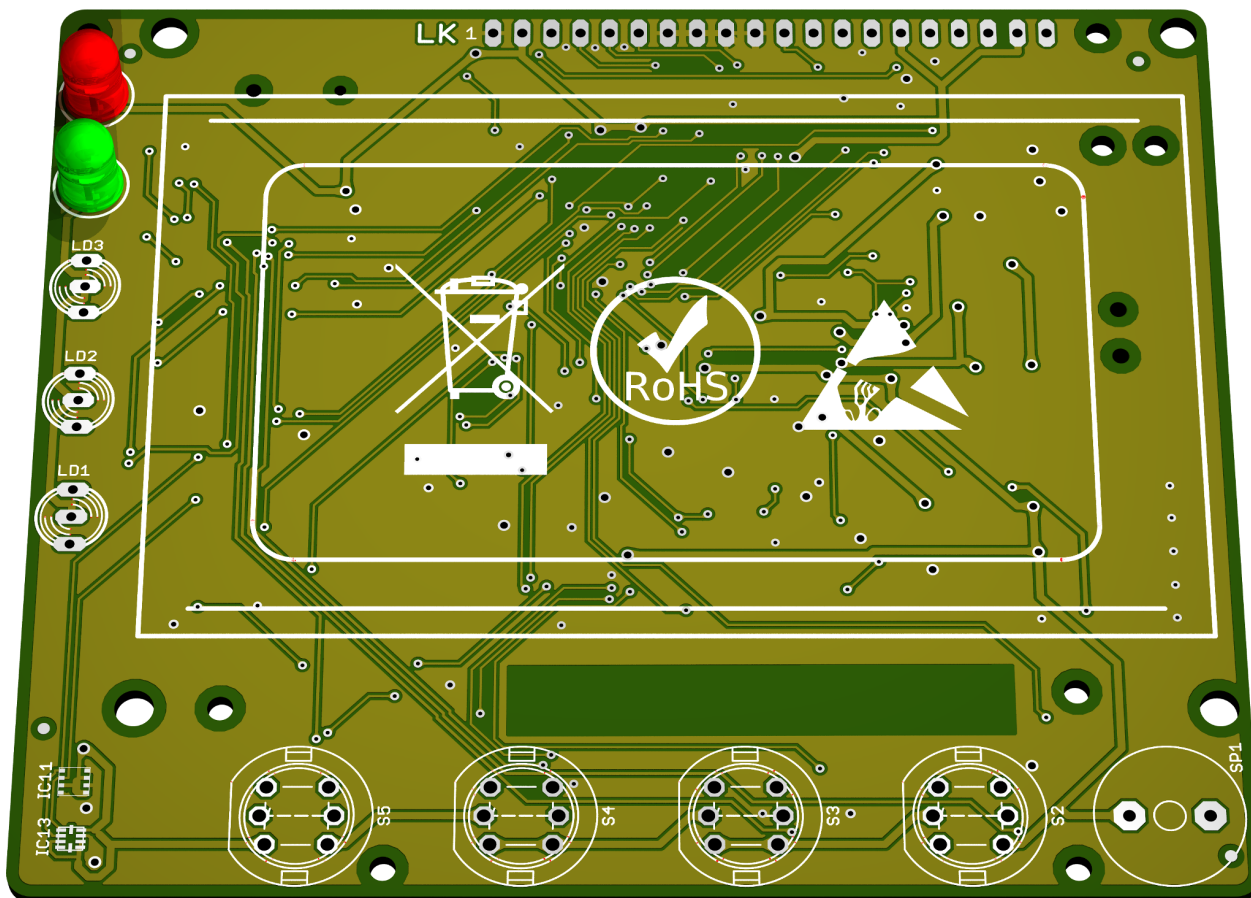
4.4.3 Mechanická konstrukce základnové stanice

Render základnové stanice ze spodní strany (ze strany, na které bude osazena většina součástí) je zobrazen na obrázku č. 11.

Render základnové stanice z vrchní strany (kde budou osazena tlačítka, kontrolky v levé části a hlavní displej) je zobrazen na obrázku č. 12.



Obrázek 11: Render základnové stanice - strana součástek



Obrázek 12: Render základnové stanice - strana displeje

4.5 Sonda

Sonda je zařízení, které měří požadované veličiny a odesílá je na základnovou stanici.

4.5.1 Napájení

Celá sonda je napájena ze dvou sériově zapojených AA monočlánků.

Samotná elektronika sondy vyžaduje 3,3 V, proto je za monočlánky vložen spínaný zdroj topologie boost, který zvyšuje napětí na napětí vyžadované sondou.

Jelikož byl při konstrukci sondy brán ohled na maximální výdrž, je spínaný zdroj navržen tak, aby byl schopný nastartovat do plné zátěže již od 0,5 V dodaných z monočlánků (napětí na člancích se snižuje v důsledku jejich vybití), přičemž po nastartování dokáže pracovat až do napětí 0,3 V na vstupu.

Vstup zařízení je ochráněn před reverzní polaritou (pro případ, kdyby uživatel vložil články obráceně).

4.5.2 Šetření energií

Jelikož se předpokládá, že zařízení bude pracovat periodicky, tzn. jednou za určitou dobu změří požadované hodnoty a ty následně odešle, je zbytečné, aby v mezidobí zařízení provádělo jakoukoliv jinou operaci.

Z tohoto důvodu je mikroprocesor zařízení v mezidobí uspán, rádiový modul a senzory jsou převedeny do režimu snížené spotřeby.

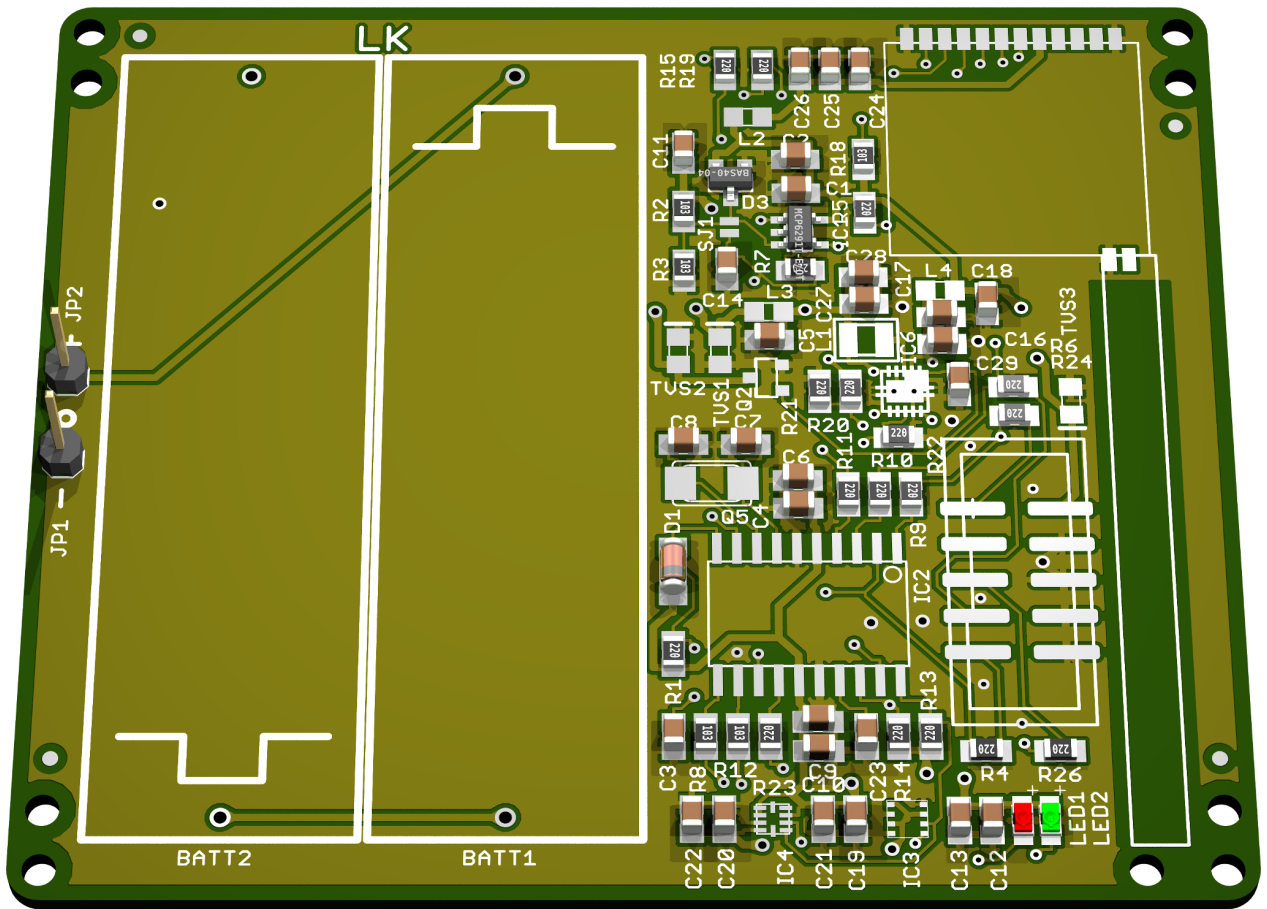
V mikrokontroléru pracuje pouze oscilátor (WDT), který periodicky probouzí zařízení a taktéž pracuje spínaný zdroj, který sondě dodává proud potřebný pro práci. Spínaný zdroj je v případě módu uspání mikrokontrolérem automaticky přepnut do módu sníženého odběru zátěže, ve kterém má zdroj pro nižší proudy vyšší účinnost.

V případě probuzení zařízení mikrokontrolér aktivuje všechny ostatní periferie, provede měření, data odešle, deaktivuje všechny periferie a opět se uspí, tento cyklus se pak neustále opakuje.

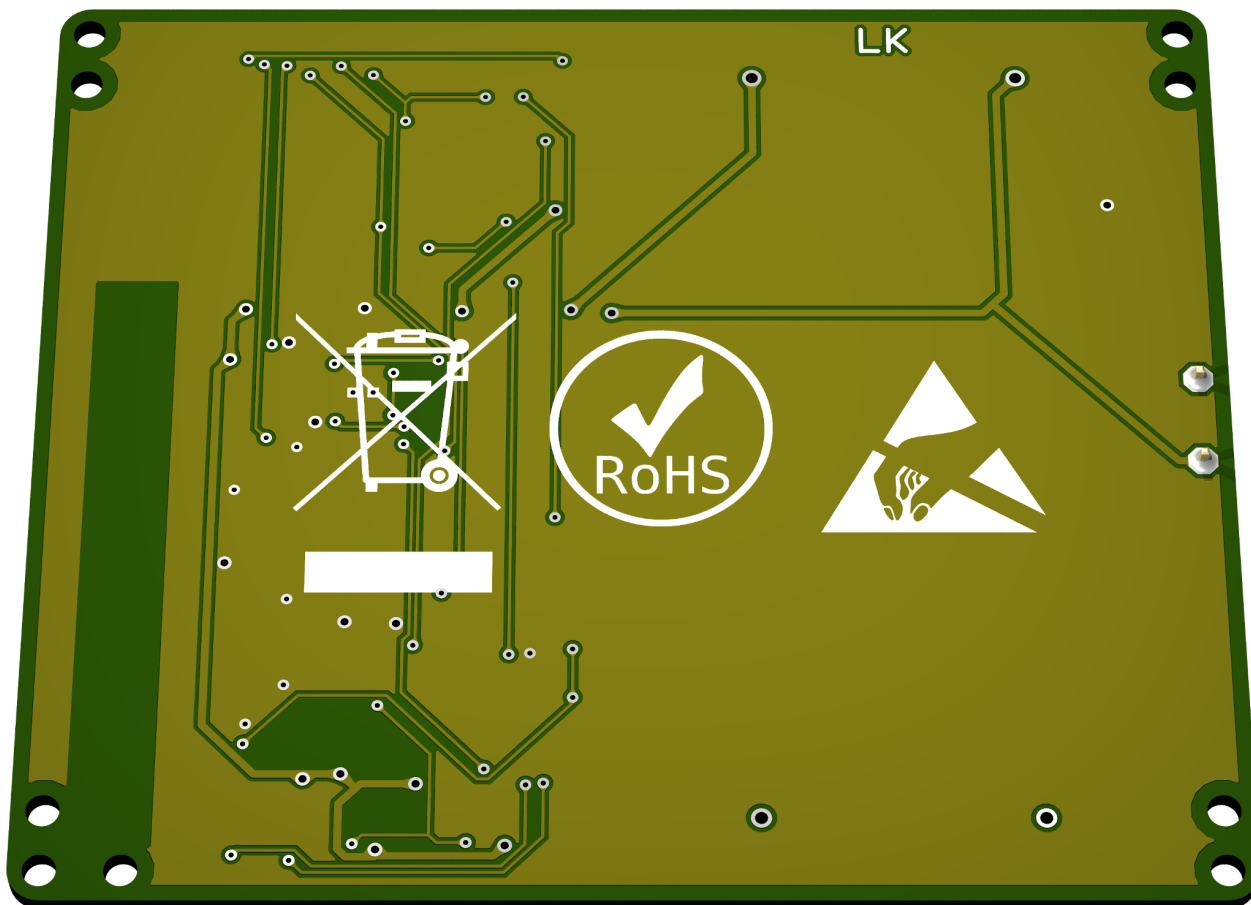
4.5.3 Mechanická konstrukce sondy

Render sondy z vrchní strany (kde budou osazeny všechny součástky a držáky monočlánků) je uveden na obrázku č. 14.

Render sondy ze spodní strany je uveden na obrázku č. 14.



Obrázek 13: Render sondy - strana součástek



Obrázek 14: Render sondy - zadní strana

4.6 Programování

Jak základnová stanice, tak sonda mají z mikroprocesoru vyvedenou sběrnici do konektoru umožňující ISP¹⁰. Díky tomu je možné programovat mikroprocesor uvnitř zařízení pomocí připojeného programátoru (mikroprocesor se nemusí složitě odpájet a poté zapájet).

4.6.1 Firmware

Ovládací firmware zařízení byl napsán v programovacím jazyce C, překládán byl pomocí překladače `avr-gcc` s aktivovanou vlajkou `-Os` pro minimalizaci výsledného binárního souboru. Ukázka programu využitého pro tvorbu firmwaru je uvedena v příloze C, ukázka kompilace zdrojového kódu v jazyce C do jazyka symbolických adres AVR je uvedena v příloze D.

¹⁰In-system programming

5 Výsledky a diskuze

V úvodní teoretické části byly nastíněny základní aspekty meteorologie, přenosu digitálních dat pomocí rádiových vln a měření neelektrických veličin nezbytných pro správné pochopení funkce meteorologické stanice.

V rámci druhé, praktické části práce byl realizován návrh a výroba prototypu zařízení schopného bezdrátově přijímat a vyhodnocovat údaje dodané ze sondy nacházející se v exteriéru.

Zařízení umožňuje velice rychlý náhled jak na hodnoty změřené přímo základnovou stanicí, tak na hodnoty změřené sondou.

Velkou výhodou celé základnové stanice je enormní modulárnost konstrukce a velké množství funkcí, které se u běžných meteostanic na trhu běžně nevyskytují. Patří k nim například interní paměť pro ukládání naměřených hodnot, odolnost všech vstupů a výstupů, které jsou chráněny tak, aby odolaly i tvrdšímu zacházení, USB rozhraní pro případnou komunikaci s nadřazeným systémem (osobním počítačem), měření UV indexu, možnost napájet základnovou stanici dvěma na sobě nezávislými napájecími větvemi a obvodem reálného času schopného uchovat čas i v případě ztráty napájení.

Značnou výhodou jak sondy, tak základnové stanice je fakt, že při malé změně dokáží operovat na takřka libovolné frekvenci v rozsahu 240 - 930 MHz.

Nejspíše největší výhodou a zároveň předností sondy je její napájecí zdroj, který teoreticky dokáže připojené bateriové články vybit až na hodnotu 0,3 V, respektive 0,15 V na článek. Články vybité na takovou hodnotu můžeme bezpečně označit jako vybité, na rozdíl od komerčních stanic, kde některé sondy přestávají pracovat již na 0,9 V či dokonce 1,1 - 1,2 V (dle empirických zkušeností autora), což je v případě nabíjecích baterií, které mají nominální napětí 1,2 V nepřijatelné. Díky tomuto faktu, vysoké účinnosti spínaného zdroje a šetření energií dokáže navržená sonda pracovat řadu měsíců bez výměny baterií. Navíc se značně šetří životní prostředí, jelikož nejsou vyhazovány baterie, které ještě dokáží dodat značné množství energie.

Co se týká finanční náročnosti tohoto prototypu, dalo by se říci, že prototyp vyjde finančně podobně jako komerčně dostupná řešení, avšak je zapotřebí zdůraznit, že tato cena se odvíjí od jediného kusu prototypu, v případě využití úspor z rozsahu by cena byla samozřejmě podstatně nižší.

Nejdražší komponenty obou zařízení jsou aktivní prvky - senzory, mikroprocesory a výroba desek plošných spojů na zakázku.

V případě kusové výroby je však u prezentovaných zařízení značná nevýhoda v délce výroby jednoho kusu - samotná základnová stanice obsahuje celkem 243 součástek, které je zapotřebí ručně

zapájet, sonda obsahuje 80 součástek, z toho důvodu se výroba jednoho kusu může protáhnout i na několik dní. V případě osazování osazovacím automatem doba nezbytná pro úspěšné osazení klesá na cca 1-2 minuty. Snímky z osazování a oživování obou prototypů se nacházejí v příloze A, snímky měření poté v příloze B.

Z důvodu velkého množství součástek v obou zařízeních je výroba značně náročná také na logistiku - v zařízeních se nacházejí součástky, které není možné koupit na českém trhu a musely být importovány z jiných států EU, USA nebo Číny.

6 Závěr

Cílem této práce bylo vytvoření konceptu, návržení, vyrobení a odzkoušení plně funkčního prototypu bezdrátové sensorové stanice skládající se ze základnové stanice a přidružené sondy.

Úvodní část práce je zaměřena na teoretický popis základů meteorologie - jsou zde popsány některé měřené veličiny (teplota, vlhkost, tlak) a veličiny běžně dopočítávané (rosný bod). Následují teoretické kapitoly obsahující informace týkající se bezdrátového přenosu, modulačních technik nezbytných pro přenos a jsou zde nastíněny metody šíření rádiových vln.

V praktické části je probírána samotná stavba bezdrátové základnové stanice a její přidružené sondy.

Pro úspěšné splnění cílů bylo nezbytné vybrat vhodné senzory a rádiový modul, vyrobit desky plošných spojů, ty posléze osadit, napsat firmware pro zařízení, naprogramovat jej a celou konstrukci oživit.

Jednotlivé části zařízení byly průběžně testovány pro odhalení případných chyb, byla ověřena správnost funkce všech hardwarových prvků a jednotlivých softwarových částí, které byly psány v rámci firmwaru.

Hlavními výhodami navržených prototypů je značná modulárnost obou konstrukcí, šetření energií sondy, čímž je omezen dopad na životní prostředí.

Předpokládá se další rozšiřování obou prototypů. Základnová stanice obsahuje port USB a paměť pro ukládání data, což přímo vybízí k napsání vlastního softwaru pro osobní počítače a návrhu protokolu pro přenos dat. Dále se předpokládá výrazné rozšíření firmwaru v obou zařízeních - přidání výpočtů týkajících se astronomie do základnové stanice, jako jsou fáze Měsíce, východ a západ Slunce, výběr a implementace šifrovacího algoritmu pro zabezpečení přenosu dat. Předpokládá se také rozšíření firmwaru o výpočet minim a maxim denních teplot. Jelikož základnová stanice obsahuje grafický displej, nabízí se možnost vykreslování grafů naměřených veličin, naprogramování předpovědi počasí v závislosti na měnícím se atmosférickém tlaku a implementace podpory více než jedné sondy.

Dalším vhodným rozšířením obou prototypů by bylo vytvoření plastové krabičky na 3D tiskárně.

V neposlední řadě by bylo vhodné napsat bootloader pro zařízení, které by umožnilo „přeflashovat“ zařízení přímo v terénu, což by umožnilo velice jednoduché přidávání funkcionalit jenom s pomocí připojení zařízení k osobnímu počítači (PC). To by bylo ideální obzvláště v dnešní době, kdy se požadavky případných zákazníků značně rychle mění.

Jelikož byla zařízení navrhována v souladu s právními předpisy EU, přichází v úvahu také

komerční nasazení těchto zařízení, případně zveřejnění veškerých schémat, konstrukčních plánů a zdrojových kódů obou zařízení po implementaci všech nezbytných funkcionalit a vylepšení (pod permissivní open source licencí).

7 Seznam použitých zdrojů

Reference

- AMETSOC. *Meteorology* [online]. 2012. [cit. 20.12.2017]. Dostupné online: <http://glossary.ametsoc.org/wiki/Meteorology>.
- AMETSOC. *Weather* [online]. 2015. [cit. 20.12.2017]. Dostupné online: <http://glossary.ametsoc.org/wiki/Weather>.
- BALNAR, Antonín. *Vlhkost vzduchu* [online]. 2017. [cit. 20.12.2017]. Dostupné online: <http://artemis.osu.cz/Gemet/meteo2/vlhkost.htm>.
- BRAY, John. *Innovation and the communications revolution: from the Victorian pioneers to broadband Internet*. London : Institution of Electrical Engineers, 2002. ISBN 978-0-471-65596-1.
- BRITANNICA. *Celsius temperature scale* [online]. 2014. [cit. 20.12.2017]. Dostupné online: <https://www.britannica.com/technology/Celsius-temperature-scale>.
- CAMBRIDGEBAYWEATHER. *Stevenson screen exterior* [online]. Wikimedia, 2005. [cit. 23.12.2017]. Dostupné online: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Stevenson_screen_exterior.JPG.
- DAINTITH, John. *A Dictionary of Physics (6 ed.)*. Oxford : Oxford University Press, 2009. ISBN 9780199233991.
- EPA. *UV index scale* [online]. 2016. [cit. 20.12.2017]. Dostupné online: <https://www.epa.gov/sunsafety/uv-index-scale-1>.
- FARUQUE, Saleh. *Radio Frequency Modulation made easy* [online]. 2017. [cit. 4.3.2018]. Dostupné online: <https://popularelectronics.technicacuriosa.com/2017/03/08/radio-frequency-modulation-made-easy/>.
- FIOLETOV, Vitaly. – KERR, James B.. – FERGUSSON, Angus. The UV Index: Definition, Distribution and Factors Affecting It. *Canadian journal of public health*. 2010, 101, 4, s. 5–9. Dostupné online: <http://journal.cpha.ca/index.php/cjph/article/viewFile/1905/2203>.

- FLOSI, Fabio S.. *Father Landell de Moura, Radio Broadcasting Pioneer* [online]. 2012. [cit. 4.3.2018]. Dostupné online: <http://www.aminharadio.com/radio/files/Artigo-Revista-PCP-USA.pdf>.
- GUO, Y. – YAN, H. *Preventive effect of carnosine on cataract development* [online]. 2006. [cit. 4.3.2018]. Dostupné online: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/17162883>.
- HORSTMAYER, Steven L.. *Relative Humidity....Relative to What? The Dew Point Temperature...a better approach* [online]. 2008. [cit. 23.2.2018]. Dostupné online: <http://www.shorstmeyer.com/wxfaqs/humidity/humidity.html>.
- JANKE, Sebastian. *Ionospheric reflection* [online]. 2007. [cit. 4.3.2018]. Dostupné online: https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/a/a5/Ionospheric_reflection.png.
- JONES, Graham A.. – LAYER, David H.. – OSENKOWSKY, Thomas G.. *National Association of Broadcasters Engineering Handbook: NAB Engineering Handbook*. 30 Corporate Drive, Suite 400, Burlington, MA 01803, USA : Focal Press, 2013. ISBN 978-0-240-80751-5.
- MERRIAM-WEBSTER. *Climate* [online]. 2017. [cit. 20.12.2017]. Dostupné online: <https://www.merriam-webster.com/dictionary/climate>.
- MILAD, George. – GUDECZAUSKAS, Don. *Solder Joint Reliability of Gold Surface Finishes (ENIG, ENEPIG and DIG) for PWB Assembled with Lead Free SAC Alloy*. [online]. 2015. [cit. 3.3.2018]. Dostupné online: <http://www.uyemura.com/solder-joint-reliability-of-gold-surface-finishes-ENIG-ENEPIG-DIG.htm>.
- NYU. *Intro to sensors* [online]. 2018. [cit. 4.3.2018]. Dostupné online: <http://engineering.nyu.edu/gk12/amps-cbri/pdf/IntrotoSensors.pdf>.
- OFFICE, National Measurement & Regulation. *Guidance to RoHS Directive 2011/65/EU* [online]. 2015. [cit. 28.2.2018]. Dostupné online: https://www.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/679655/rohs-directive-guidance.pdf.
- OTT, Henry W.. *Electromagnetic Compatibility Engineering*. Hoboken, New Jersey : Wiley, 2009. ISBN 978-0-470-18930-6.

- REHFUESS, Eva. *Global solar UV index : a practical guide*. Geneva, Switzerland : World Health Organization, 2002. Dostupné online:
<http://www.who.int/uv/publications/en/UVIGuide.pdf>. ISBN 92-4-159007-6.
- REMION. *Elektromagnetické spektrum* [online]. 2018. [cit. 4.3.2018]. Dostupné online:
http://www.labo.cz/mft/rad_pasma.htm.
- SCHIFF, Eric A.. *Graph of Dewpoint vs. Air Temperature at Varying Relative Humidities. Based on the Magnus-Tetens approximation*. [online]. 2008. [cit. 23.2.2018]. Dostupné online:
<https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/2/2f/Dewpoint-RH.svg>.
- SEYBOLD, John S.. *Introduction to RF propagation*. Hoboken, New Jersey : Wiley, 2005. ISBN 978-0-471-65596-1.
- WALKER, Jearl. – RESNICK, Robert. – HALLIDAY, David. *Fundamentals of Physics*. Hoboken, NJ : Wiley, 2013. ISBN 978-1118230718.
- WEATHER-ONLINE. *Stevenson Screen* [online]. 2017. [cit. 20.12.2017]. Dostupné online:
<https://www.weatheronline.co.uk/reports/wxfacts/The-Stevenson-Screen.htm>.
- ČTÚ. *Všeobecné oprávnění č. VO-R/10/11.2016-13 k využívání rádiových kmitočtů a k provozování zařízení krátkého dosahu*. [online]. 2016. [cit. 31.1.2018]. Dostupné online:
<https://www.ctu.cz/sites/default/files/obsah/ctu/vseobecne-opravneni-c.vo-r/10/11.2016-13/obrazky/vo-r10-112016-13.pdf>.
- ČTÚ. *Využívání vymezených rádiových kmitočtů* [online]. 2018. [cit. 31.1.2018]. Dostupné online: <https://www.ctu.cz/vyuzivani-vymezenych-radiovych-kmitoctu>.

8 Přílohy

Zdrojem veškerých příloh je archiv autora.

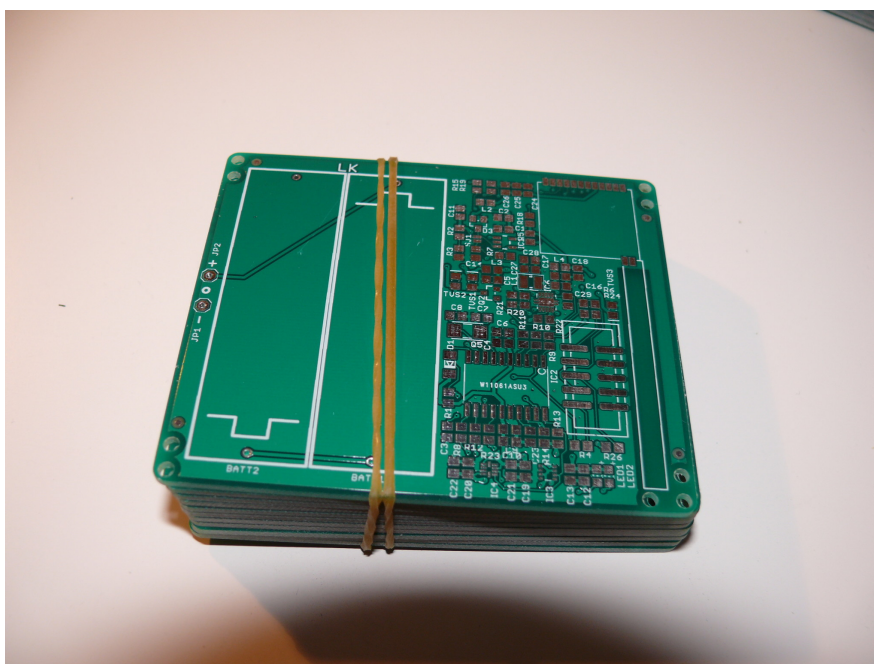
8.1 Příloha A - Obrazová fotodokumentace



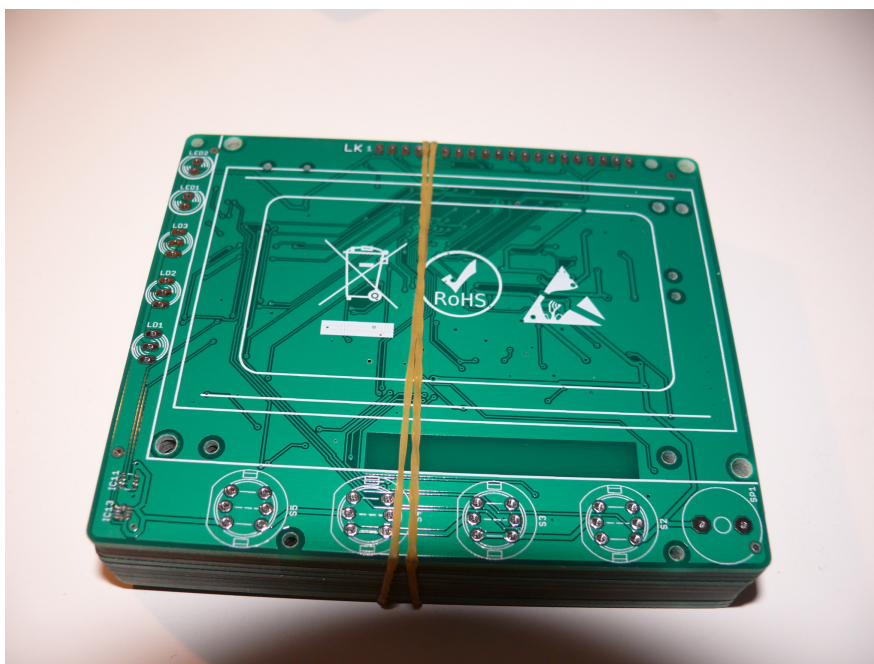
Obrázek A.1: Malá část součástek nutných pro sestavení prototypů



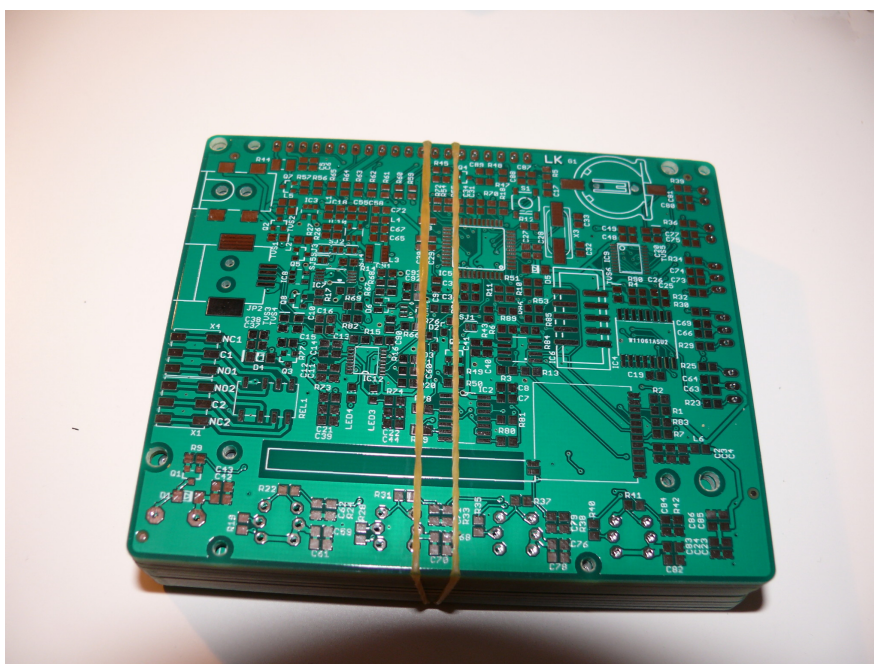
Obrázek A.2: Desky plošných spojů sondy z výroby (zadní strana)



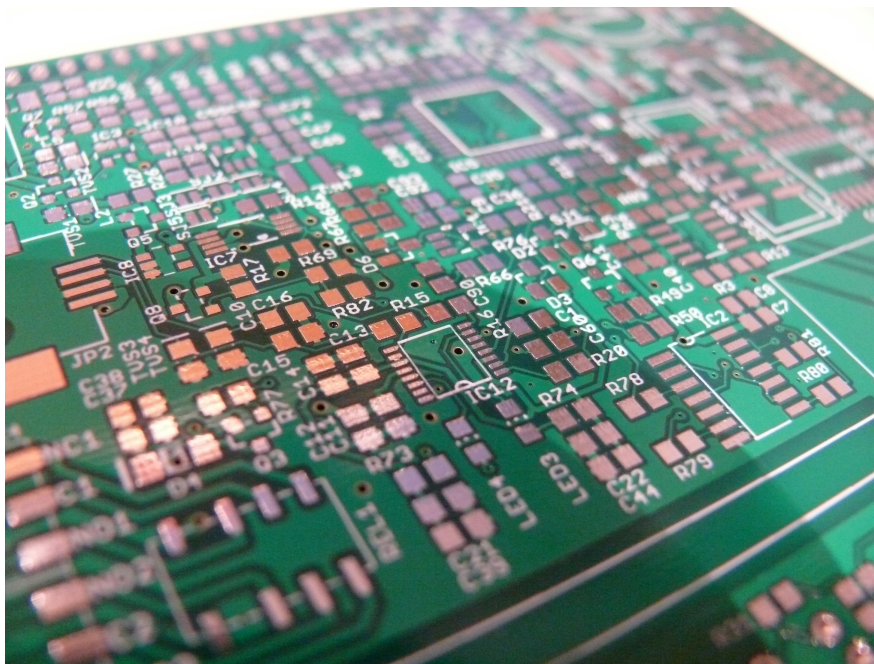
Obrázek A.3: Desky plošných spojů sondy z výroby (strana součástek)



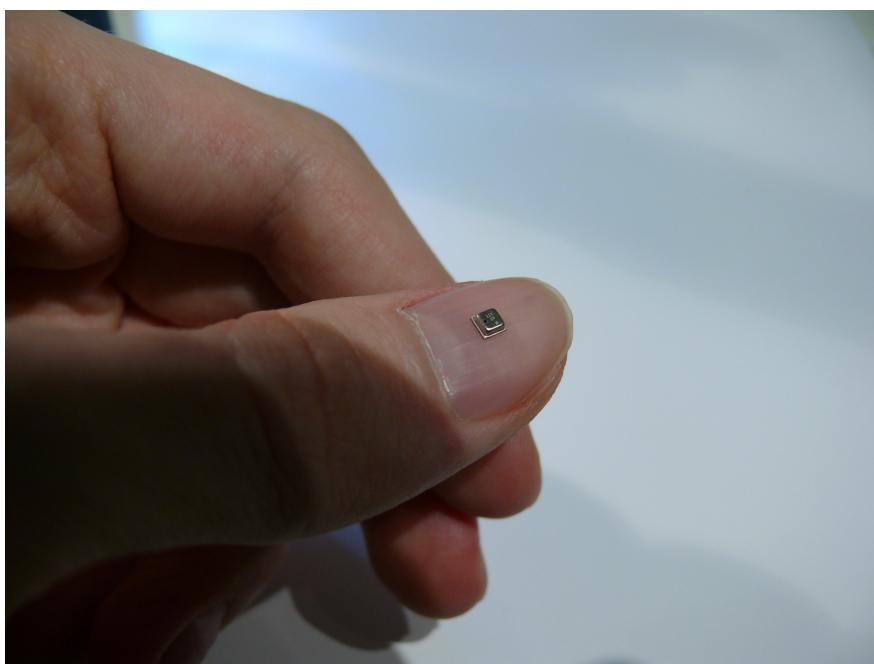
Obrázek A.4: Desky plošných spojů základnové stanice z výroby (přední strana)



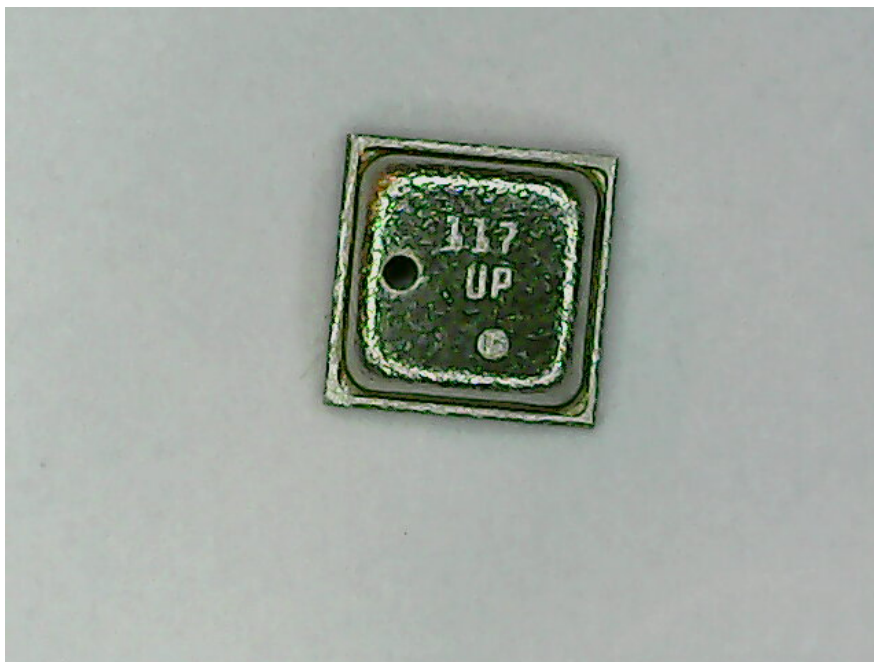
Obrázek A.5: Desky plošných spojů základnové stanice z výroby (zadní strana)



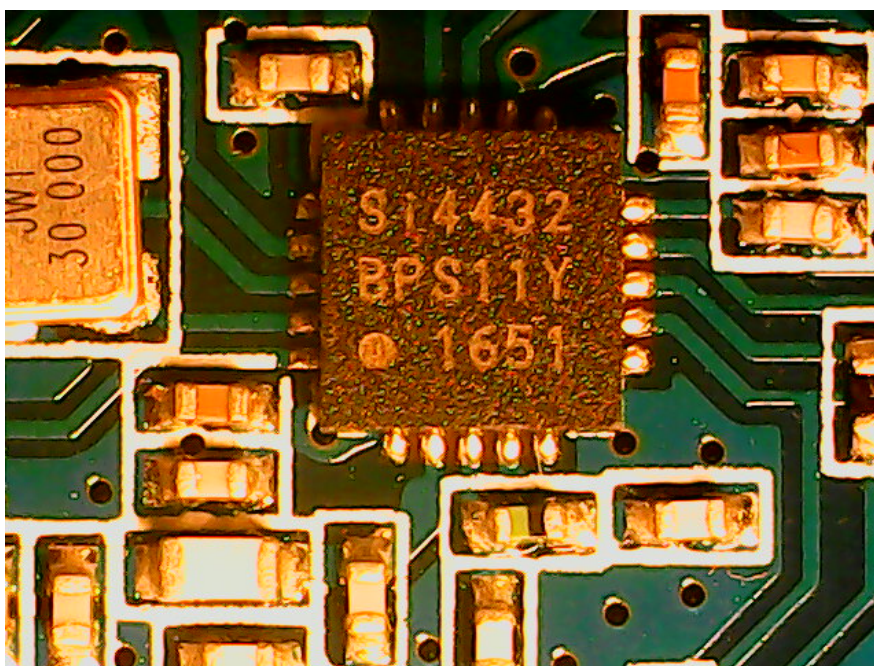
Obrázek A.6: Detail základnové stanice



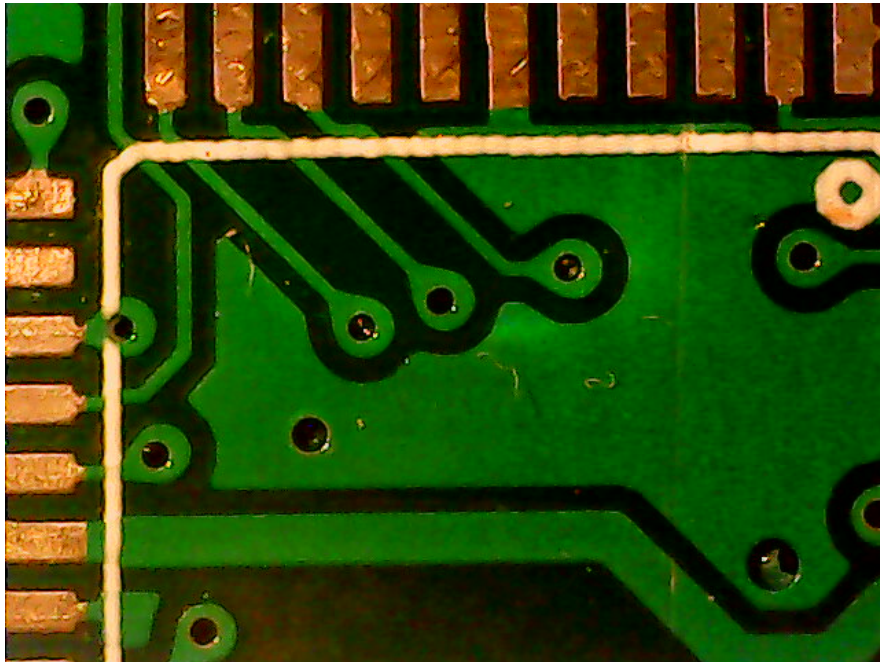
Obrázek A.7: Skutečná velikost senzoru BME280



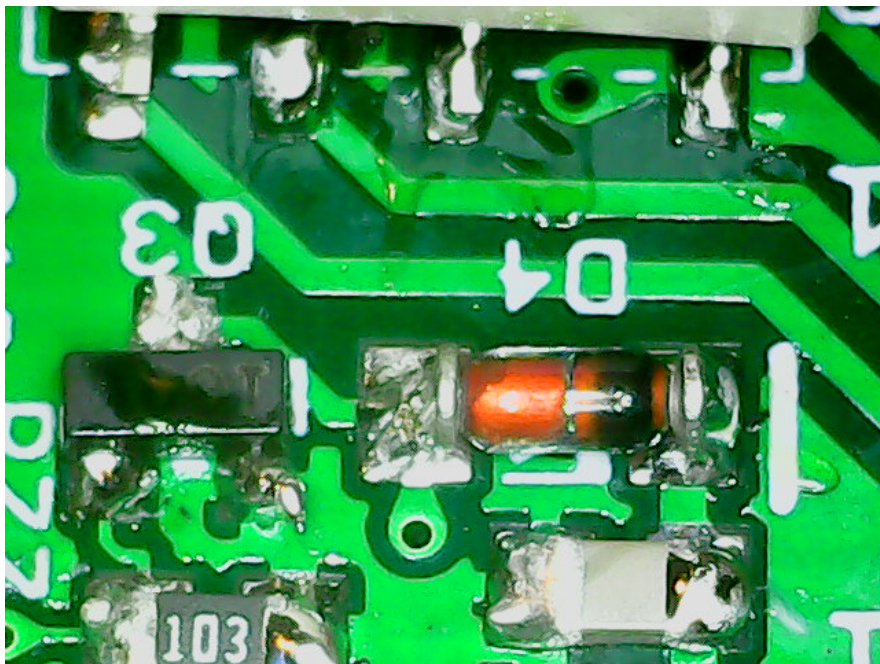
Obrázek A.8: Mikroskopická fotka senzoru BME280



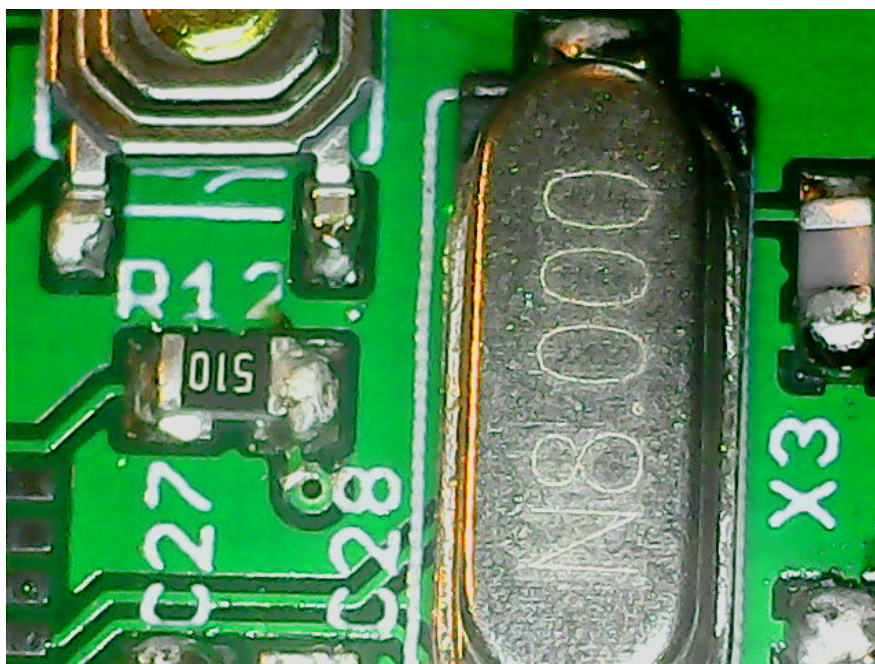
Obrázek A.9: Detail bezdrátového modulu - čip SI4432



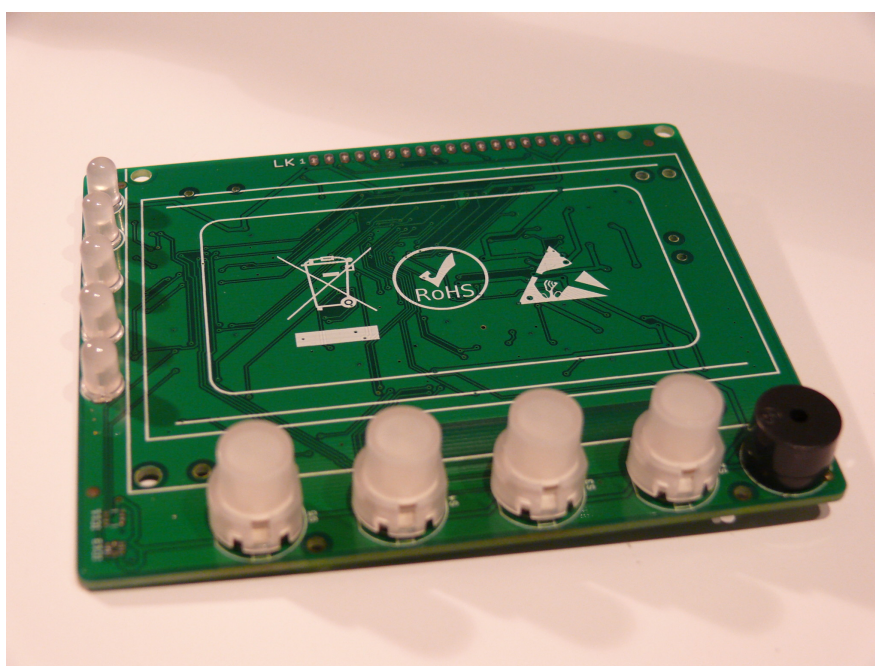
Obrázek A.10: Detail masky přes průchodky a servisní potisk



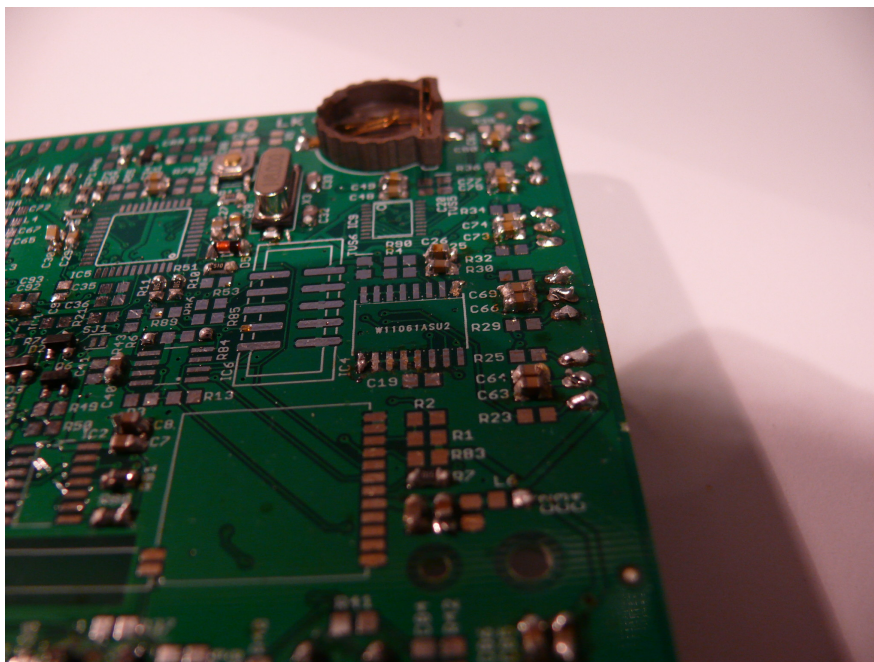
Obrázek A.11: Detail zapájení



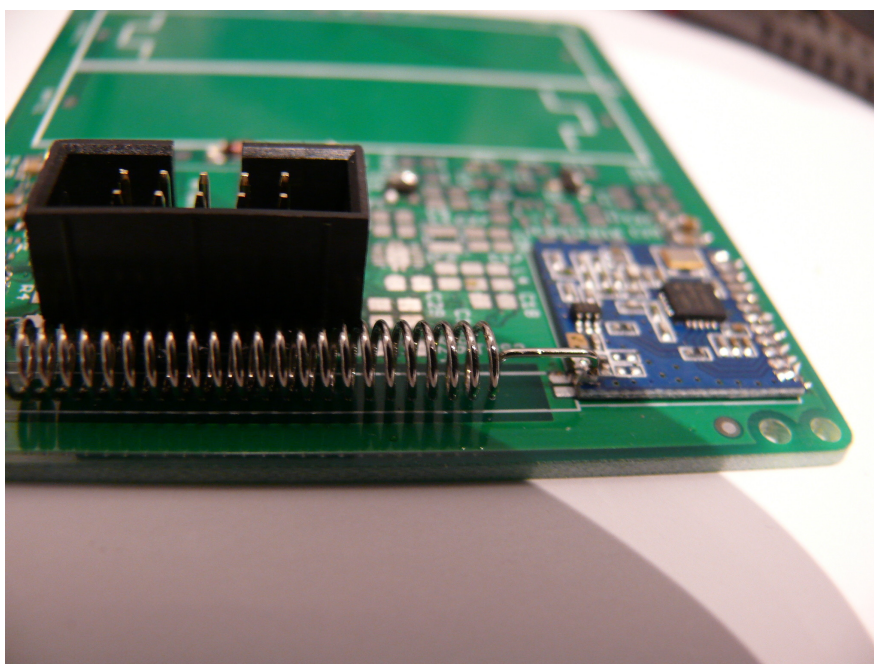
Obrázek A.12: Detail zapájení krystalu a příbuzných obvodů



Obrázek A.13: Osazená přední strana základnové stanice (bez senzorů)



Obrázek A.14: Postup osazování zadní strany základnové stanice



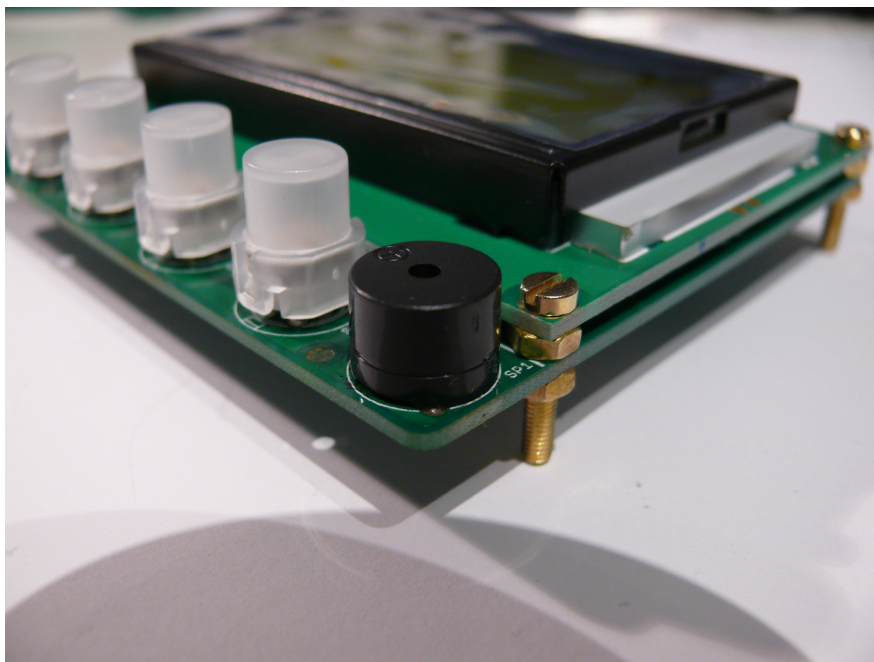
Obrázek A.15: Postup osazení rádiového modulu na desku sondy



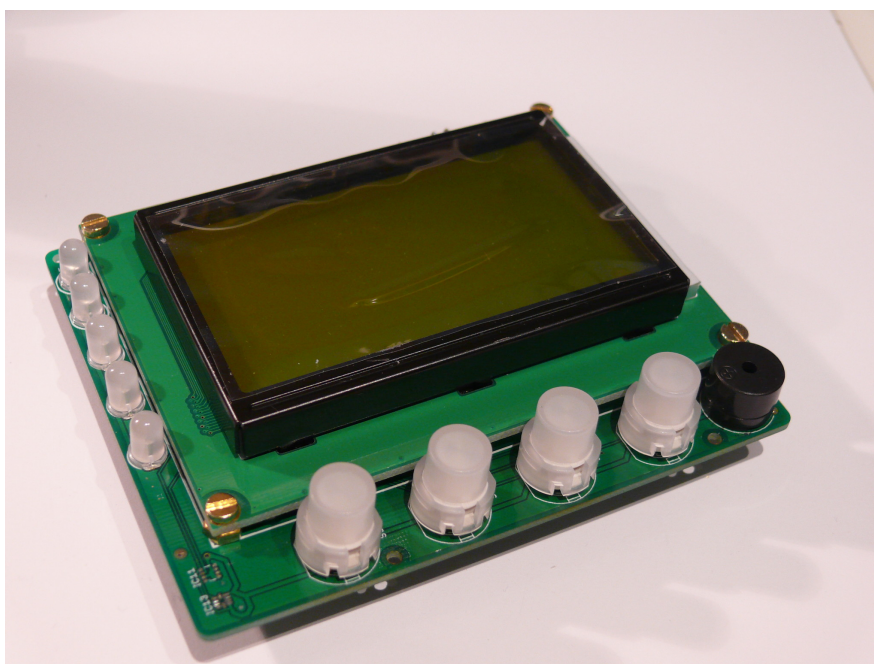
Obrázek A.16: Zapájený oboustranný kolík do displeje a spojovací šrouby



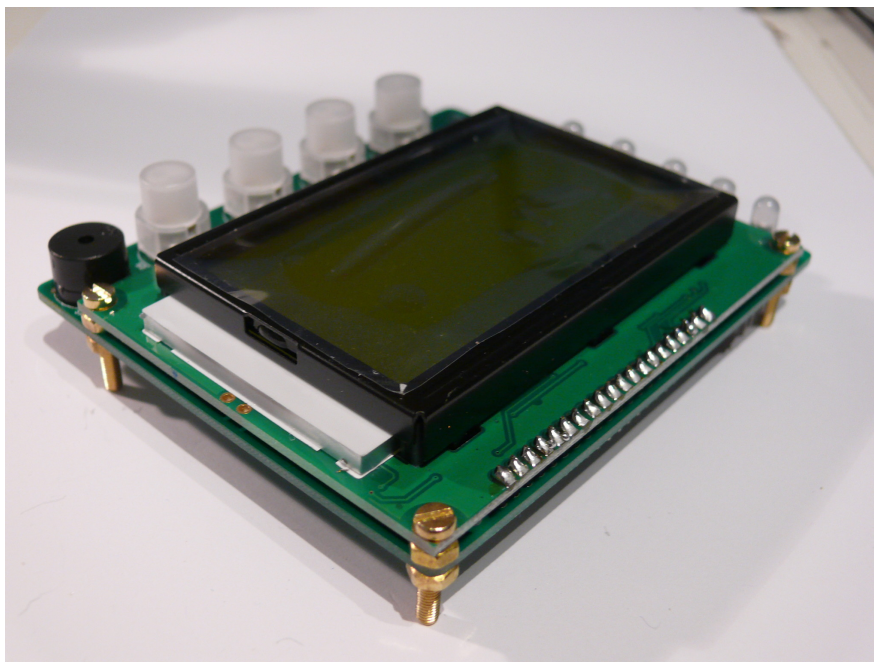
Obrázek A.17: Ukázka montáže displeje na základnovou stanici



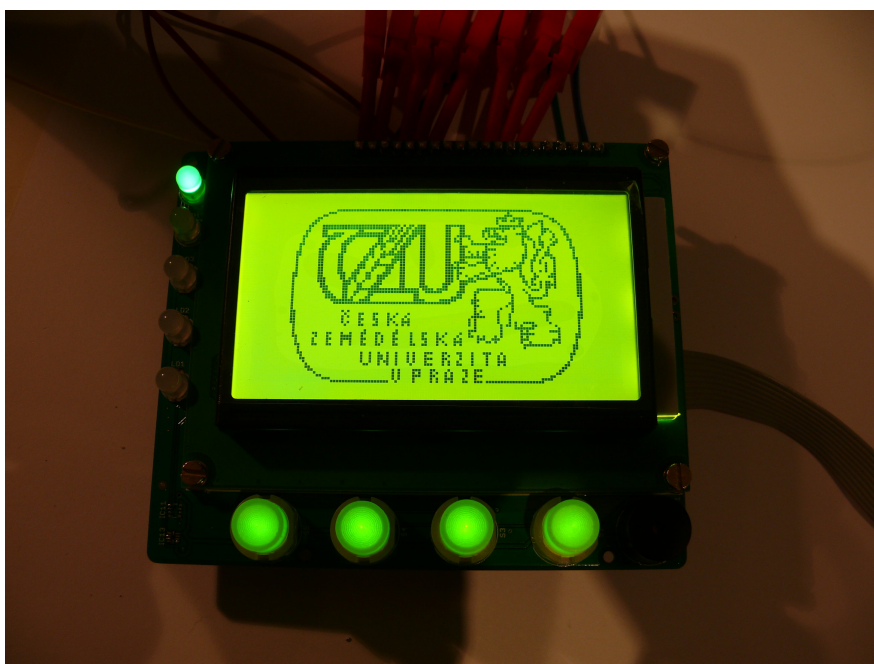
Obrázek A.18: Detail zvukové sirénky a tlačítek základnové stanice



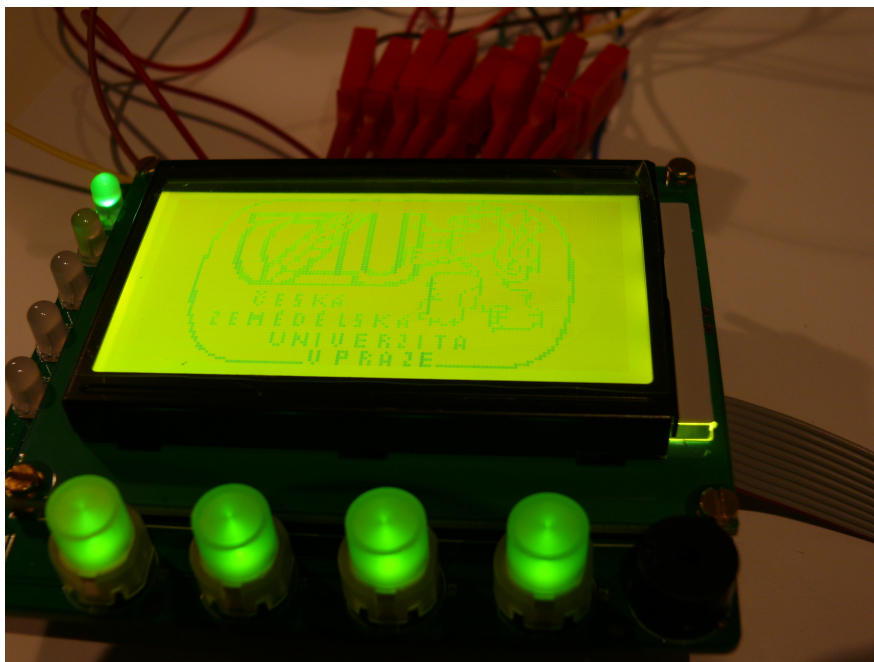
Obrázek A.19: Prototyp základnové stanice bez senzorů připravený k oživení - přední strana



Obrázek A.20: Prototyp základnové stanice bez senzorů připravený k oživení - zadní strana



Obrázek A.21: Oživení základnové stanice 1 - připojený logický analyzátor a programátor



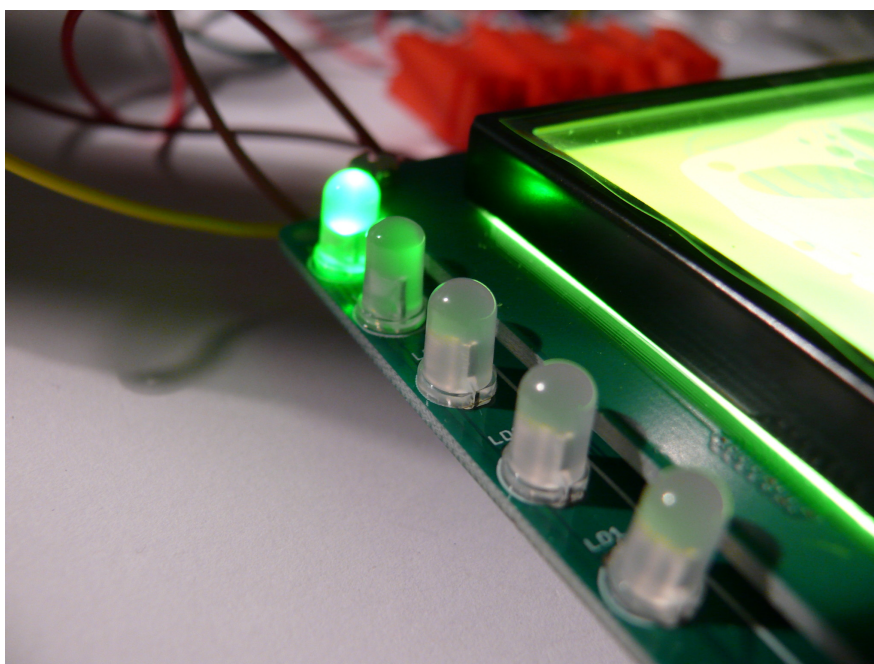
Obrázek A.22: Oživení základnové stanice 2



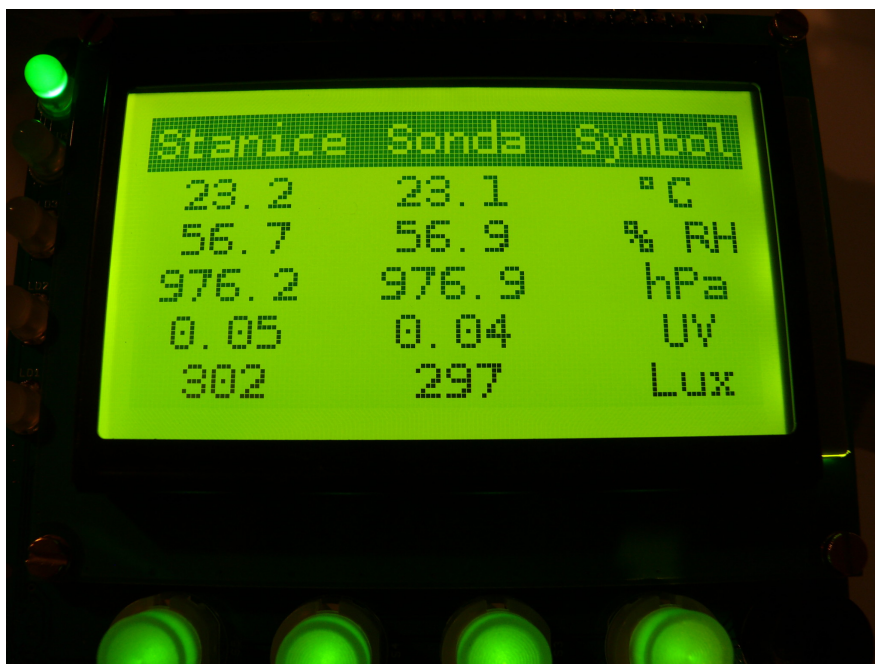
Obrázek A.23: Detail podsvícených tlačítek 1



Obrázek A.24: Detail podsvícených tlačítek 2



Obrázek A.25: Detail indikačních diod

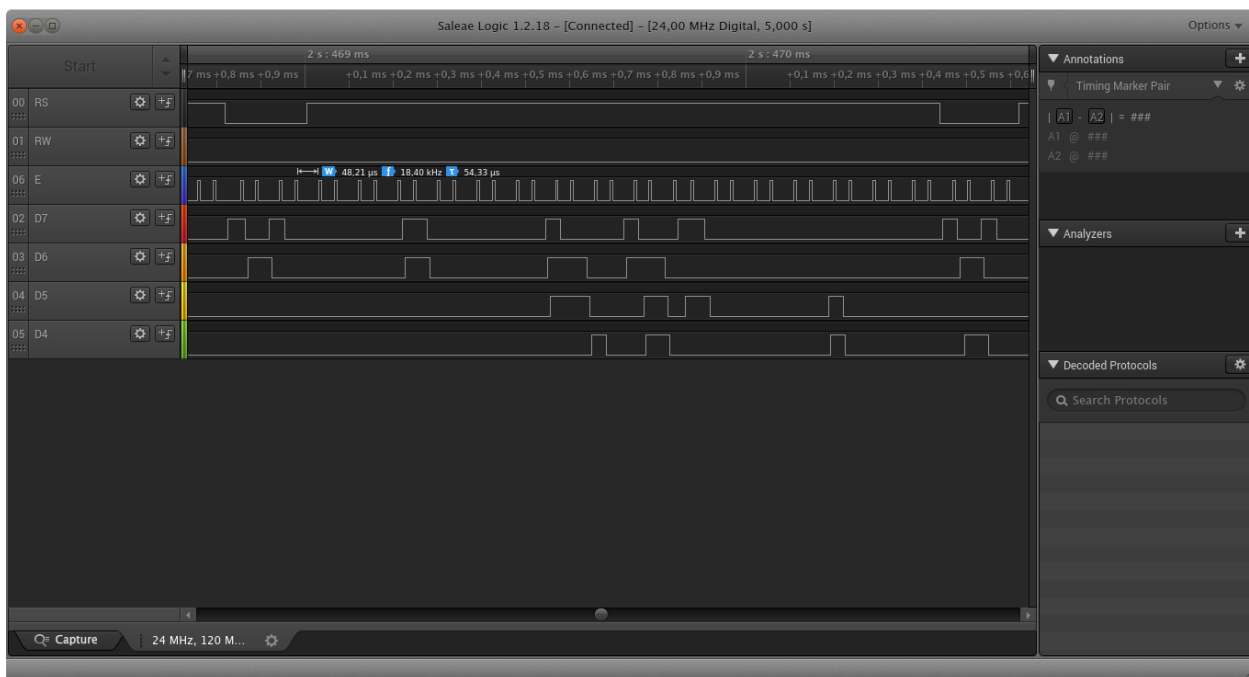


Obrázek A.26: Obrazovka měření veličin

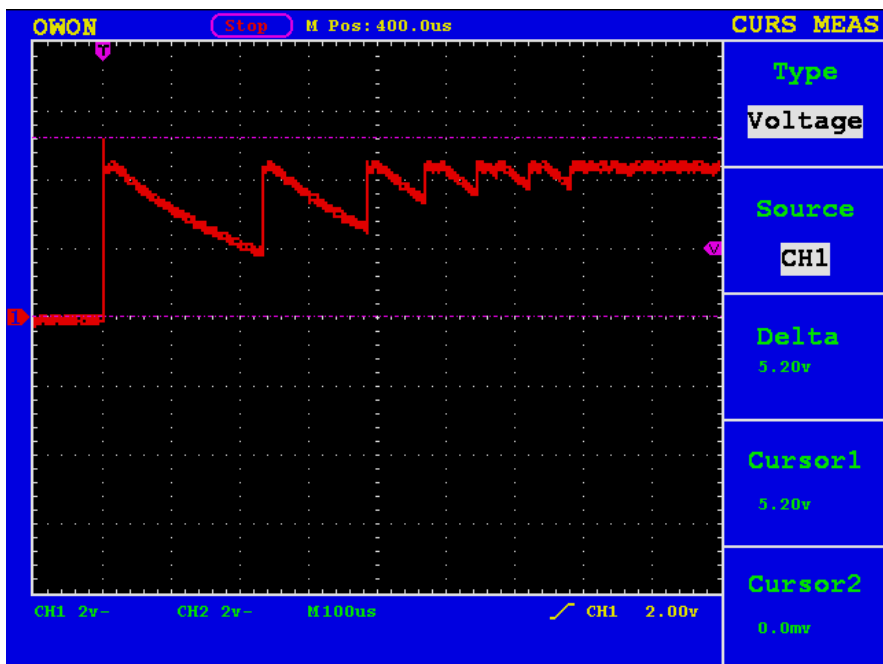


Obrázek A.27: Prototyp předního panelu

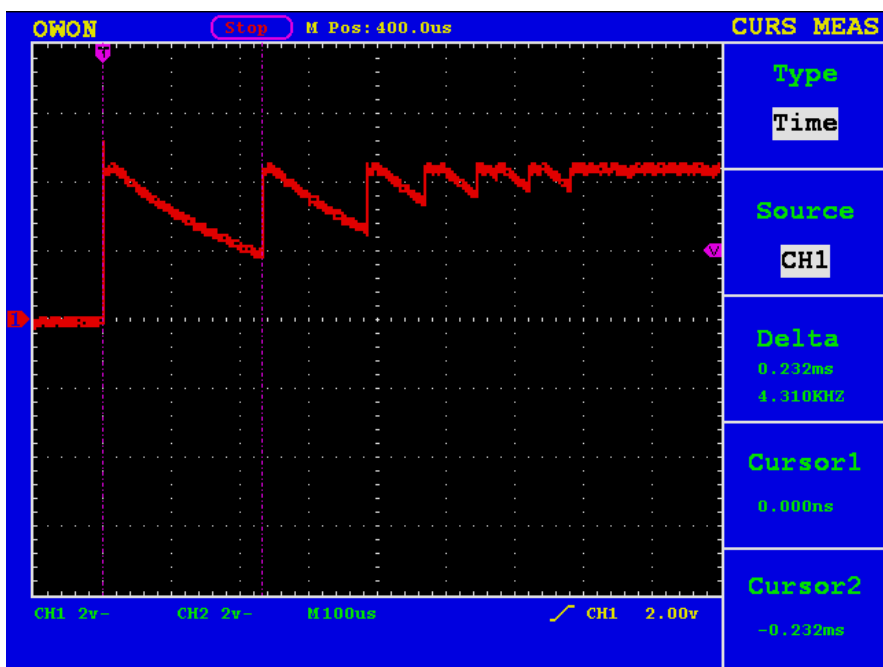
8.2 Příloha B - Snímky měření



Obrázek B.1: Komunikace mikrokontroléru s displejem - logický analyzátor

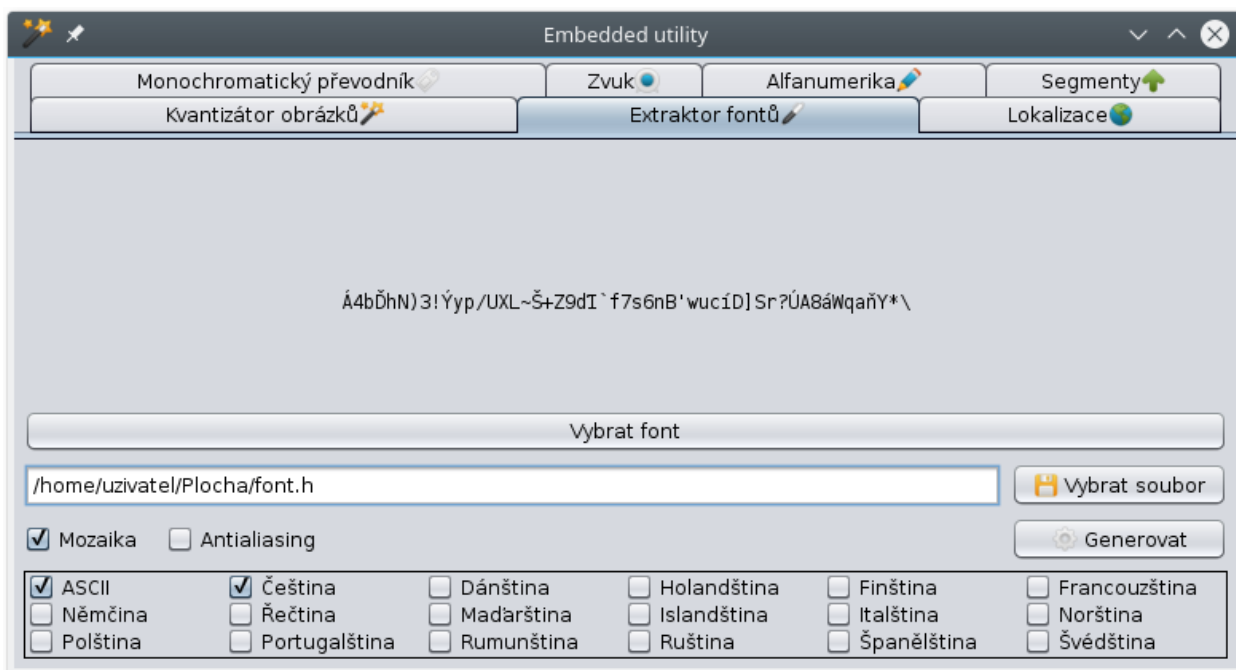


Obrázek B.2: Oscilogram zákmitu tlačítka (před filtrem) - měřené napět'ové úrovně
Měřeno před osazením filtru a ostatních součástek pomocí stabilizovaného napětí 5V.



Obrázek B.3: Oscilogram zákmitu tlačítka (před filtrem) - časové úrovně
Měřeno před osazením filtru a ostatních součástek pomocí stabilizovaného napětí 5V.

8.3 Příloha C - Snímek pomocného programu



Obrázek C.1: Snímek obrazovky pomocného programu

Tento program byl vytvořen autorem práce a byl využit při tvorbě prototypů. Na obrázku je zobrazen extraktor fontů, který má za úkol extrahovat fonty nalezené na osobním počítači, kde je tento program spuštěn, tyto fonty převést na matici bitmap a výsledná data uložit jako hlavičkový soubor jazyka C. Díky tomu může být takřka jakýkoliv font použit ve vestavěném zařízení, spolu s případnou diakritikou. Program byl taktéž využit pro konverzi bitmap na zařízení (logo ČZU).

8.4 Příloha D - Výpočet rosného bodu

Ukázka výpočtu rosného bodu pomocí jazyka C, prokládaného jazykem symbolických adres („Assemblerem“) AVR, který byl emitován kompilátorem - tyto výpisy byly využívány při debugování zařízení, subrutiny nejsou zobrazeny:

```
1 float rosny_bod(float teplota , float vlhkost)
2 {
3 102: 4f 92          push    r4
4 104: 5f 92          push    r5
5 106: 6f 92          push    r6
6 108: 7f 92          push    r7
7 10a: 8f 92          push    r8
8 10c: 9f 92          push    r9
9 10e: af 92          push    r10
10 110: bf 92          push    r11
11 112: cf 92          push    r12
12 114: df 92          push    r13
13 116: ef 92          push    r14
14 118: ff 92          push    r15
15 11a: 6b 01          movw   r12 , r22
16 11c: 7c 01          movw   r14 , r24
17 11e: 49 01          movw   r8 , r18
18 120: 5a 01          movw   r10 , r20
19     float a = 6.1121;
20     float b = 18.678;
21     float c = 254.14;
22     float d = 234.5;
23     float gamma = log((vlhkost/100.0) * exp((b-(teplota/d)) * (
        teplota / (c+teplota))));
24 122: 20 e0          ldi    r18 , 0x00      ; 0
25 124: 30 e8          ldi    r19 , 0x80      ; 128
26 126: 4a e6          ldi    r20 , 0x6A      ; 106
27 128: 53 e4          ldi    r21 , 0x43      ; 67
28 12a: 0e 94 5c 01     call   0x2b8 ; 0x2b8 <__divsf3>
```

```

29 12e: 9b 01      movw    r18 , r22
30 130: ac 01      movw    r20 , r24
31 132: 6b e8      ldi     r22 , 0x8B      ; 139
32 134: 7c e6      ldi     r23 , 0x6C      ; 108
33 136: 85 e9      ldi     r24 , 0x95      ; 149
34 138: 91 e4      ldi     r25 , 0x41      ; 65
35 13a: 0e 94 ef 00  call   0x1de    ; 0x1de <__subsf3>
36 13e: 2b 01      movw    r4 , r22
37 140: 3c 01      movw    r6 , r24
38 142: 27 ed      ldi     r18 , 0xD7      ; 215
39 144: 33 e2      ldi     r19 , 0x23      ; 35
40 146: 4e e7      ldi     r20 , 0x7E      ; 126
41 148: 53 e4      ldi     r21 , 0x43      ; 67
42 14a: c7 01      movw    r24 , r14
43 14c: b6 01      movw    r22 , r12
44 14e: 0e 94 f0 00  call   0x1e0    ; 0x1e0 <__addsf3>
45 152: 9b 01      movw    r18 , r22
46 154: ac 01      movw    r20 , r24
47 156: c7 01      movw    r24 , r14
48 158: b6 01      movw    r22 , r12
49 15a: 0e 94 5c 01  call   0x2b8    ; 0x2b8 <__divsf3>
50 15e: 9b 01      movw    r18 , r22
51 160: ac 01      movw    r20 , r24
52 162: c3 01      movw    r24 , r6
53 164: b2 01      movw    r22 , r4
54 166: 0e 94 46 03  call   0x68c    ; 0x68c <__mulsf3>
55 16a: 0e 94 d6 01  call   0x3ac    ; 0x3ac <exp>
56 16e: 6b 01      movw    r12 , r22
57 170: 7c 01      movw    r14 , r24
58 172: 20 e0      ldi     r18 , 0x00      ; 0
59 174: 30 e0      ldi     r19 , 0x00      ; 0
60 176: 48 ec      ldi     r20 , 0xC8      ; 200
61 178: 52 e4      ldi     r21 , 0x42      ; 66
62 17a: c5 01      movw    r24 , r10

```



```

63 17c:  b4 01          movw    r22 , r8
64 17e:  0e 94 5c 01      call   0x2b8    ; 0x2b8 <__divsf3>
65 182:  a7 01          movw    r20 , r14
66 184:  96 01          movw    r18 , r12
67 186:  0e 94 46 03      call   0x68c    ; 0x68c <__mulsf3>
68 18a:  0e 94 ca 02      call   0x594    ; 0x594 <log>
69 18e:  6b 01          movw    r12 , r22
70 190:  7c 01          movw    r14 , r24
71      float rosny_bod = (c*gamma)/(b-gamma);
72 192:  27 ed          ldi     r18 , 0xD7      ; 215
73 194:  33 e2          ldi     r19 , 0x23      ; 35
74 196:  4e e7          ldi     r20 , 0x7E      ; 126
75 198:  53 e4          ldi     r21 , 0x43      ; 67
76 19a:  0e 94 46 03      call   0x68c    ; 0x68c <__mulsf3>
77 19e:  4b 01          movw    r8 , r22
78 1a0:  5c 01          movw    r10 , r24
79 1a2:  a7 01          movw    r20 , r14
80 1a4:  96 01          movw    r18 , r12
81 1a6:  6b e8          ldi     r22 , 0x8B      ; 139
82 1a8:  7c e6          ldi     r23 , 0x6C      ; 108
83 1aa:  85 e9          ldi     r24 , 0x95      ; 149
84 1ac:  91 e4          ldi     r25 , 0x41      ; 65
85 1ae:  0e 94 ef 00      call   0x1de    ; 0x1de <__subsf3>
86 1b2:  9b 01          movw    r18 , r22
87 1b4:  ac 01          movw    r20 , r24
88 1b6:  c5 01          movw    r24 , r10
89 1b8:  b4 01          movw    r22 , r8
90 1ba:  0e 94 5c 01      call   0x2b8    ; 0x2b8 <__divsf3>
91      return rosny_bod;
92 }
93 1be:  ff 90          pop     r15
94 1c0:  ef 90          pop     r14
95 1c2:  df 90          pop     r13
96 1c4:  cf 90          pop     r12

```

97	1c6:	bf 90	pop	r11
98	1c8:	af 90	pop	r10
99	1ca:	9f 90	pop	r9
100	1cc:	8f 90	pop	r8
101	1ce:	7f 90	pop	r7
102	1d0:	6f 90	pop	r6
103	1d2:	5f 90	pop	r5
104	1d4:	4f 90	pop	r4
105	1d6:	08 95	ret	