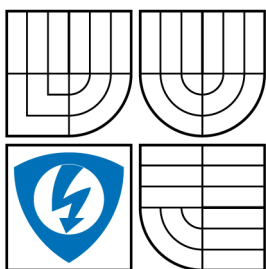


VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH
TECHNologiÍ
ÚSTAV MIKROELEKTRONIKY



FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION
DEPARTMENT OF MICROELECTRONICS

DÁLKOVĚ ŘÍZENÁ METEOSTANICE

REMOTE CONTROLLED METEOSTATION

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR'S THESIS

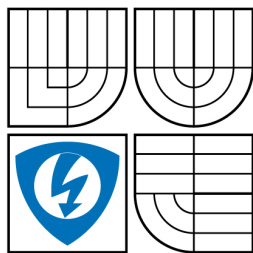
AUTOR PRÁCE
AUTHOR

MARTIN HOLAIN

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

Ing. JIŘÍ HÁZE, Ph.D.

BRNO 2007



VYSOKÉ UČENÍ
TECHNICKÉ V BRNĚ

Fakulta elektrotechniky
a komunikačních technologií

Ústav mikroelektroniky

Bakalářská práce

bakalářský studijní obor
Mikroelektronika a technologie

Student: Martin Holain

ID: 78103

Ročník: 3

Akademický rok: 2008/2009

NÁZEV TÉMATU:

Dálkově řízená meteostanice

POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

Navrhněte a realizujte meteostanici, která bude schopna měřit, teplotu, vlhkost a tlak. Stanice bude řízena bezdrátově na dálku s možností ukládání naměřených dat. Zaměřte se na dosažení minimální spotřeby celého zařízení.

DOPORUČENÁ LITERATURA:

Podle pokynů vedoucího práce

Termín zadání: 9.2.2009

Termín odevzdání: 3.6.2009

Vedoucí práce: Ing. Jiří Háze, Ph.D.

prof. Ing. Radimír Vrba, CSc.

Předseda oborové rady

UPOZORNĚNÍ:

Autor bakalářské práce nesmí při vytváření bakalářské práce porušit autorská práva třetích osob, zejména nesmí zasahovat nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a musí si být plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení § 152 trestního zákona č. 140/1961 Sb.

Abstrakt:

Práce se zabývá návrhem a realizací meteostanice, která bude schopna měřit teplotu, vlhkost a tlak.

Abstract:

This work deals with design and construction of meteostation, which will be able to measure temperature, humidity and pressure.

Klíčová slova:

Meteostanice, bezdrátová komunikace

Keywords:

Meteostation, wireless communication

Bibliografická citace

HOLAIN, M. *Dálkově řízená meteostanice*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2009. 44s, 5 příloh . Vedoucí bakalářské práce Ing. Jiří Háze, Ph.D.

Prohlášení autora o původnosti díla:

Prohlašuji, že jsem tuto vysokoškolskou kvalifikační práci vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce, s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou všechny citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury. Jako autor uvedené bakalářské práce dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením této bakalářské práce jsem neporušil autorská práva třetích osob, zejména jsem nezasáhl nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a jsem si plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení § 152 trestního zákona č. 140/1961 Sb.

V Brně dne 28. 5. 2009

.....

Poděkování

Chtěl bych poděkovat vedoucímu semestrálního projektu Ing. Jiřímu Házemu, Ph.D. za pedagogickou a odbornou pomoc při zpracování bakalářské práce a za jeho ochotu a volný čas, který mi věnoval. Dále patří poděkování Ing. Radku Václavíkovi a Ing. Ivanu Mikšánkovi za odborné rady a za poskytnutí vývojových prostředků použitých při návrhu meteostanice.

V Brně dne 28. května 2009

OBSAH

1	ÚVOD	8
2	PŘEDSTAVA A VLASTNÍ NÁVRH	9
2.1	NÁVRH METEOSTANICE NA ÚROVNI FUNKČNÍCH BLOKŮ	9
2.1.1	Venkovní měřicí stanice	9
2.1.2	Domácí centrála	10
2.1.3	USB Komunikátor	11
2.1.4	Obslužný program pro PC	11
2.2	ZÁKLADNÍ VLASTNOSTI ZAŘÍZENÍ	11
3	MOŽNOSTI REALIZACE ZAŘÍZENÍ	13
3.1	BEZDRÁTOVÝ PŘENOS	13
3.2	ŘÍDICÍ MIKROKONTROLÉR	15
3.3	MĚŘENÍ TEPLoty A VLHKOSTI	17
3.4	MĚŘENÍ ATMOSFÉRICKÉHO TLAKU	19
3.5	MĚŘENÍ RYCHLOSTI A SMĚRU PROUDĚNÍ VZDUCHU	20
3.6	RTC	20
3.7	LCD DISPLEJ	21
3.8	NAPÁJENÍ	22
4	POPIS KONSTRUKCE	23
4.1	BEZDRÁTOVÝ MODUL	23
4.2	ANEMOMETR	25
4.3	MĚŘICÍ STANICE	26
4.3.1	Popis zapojení	26
4.3.2	Konstrukce	27
4.4	DOMÁCÍ CENTRÁLA	28
4.4.1	Popis zapojení	29
4.4.2	Konstrukce	32
4.5	USB KOMUNIKÁTOR	33
4.5.1	Popis zapojení	33
4.5.2	Konstrukce	34
5	SOFTWARE PRO PC	35
6	POPIS FUNKCE METEOSTANICE	36
6.1	POPIS FUNKCE VENKOVNÍ MĚŘICÍ STANICE	36
6.2	POPIS FUNKCE DOMÁCÍ CENTRÁLY	38
6.3	POPIS FUNKCE USB KOMUNIKÁTORU	39
7	ZÁVĚR	41
8	SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ	42
9	SEZNAM OBRÁZKŮ	43
10	SEZNAM TABULEK	44
11	PŘÍLOHY	45

1 Úvod

Tato práce je popisem návrhu bezdrátové domácí meteorologické stanice a její technické realizace. Inspirací k tomuto projektu byla myšlenka vytvořit vlastní domácí měřicí systém s optimálními vlastnostmi a funkcemi pro použití v místě mého bydliště. Důležitou vlastností této meteostanice je možnost rozšiřování o nové měřicí prvky a funkce bez nutnosti složitých zásahů do základních elektronických částí systému.

V současné době je na trhu nabízeno velké množství domácích meteostanic v různých cenových kategoriích. Zařízení, která by splňovala mé požadavky na funkce, jsou však velmi nákladná a navíc mají několik nevýhod. První nevýhodou většiny komerčně vyráběných domácích meteostanic je displej omezený na zobrazení pomocí několika segmentů. Složitější operace s naměřenými údaji je možné provádět až po připojení meteostanice k počítači, navíc mnohdy jen prostřednictvím sériového portu. Toto rozhraní v dnešní době postrádá většina nově vyrobených přenosných počítačů a je nutné použít převodník pro sběrnici USB. Pro přenos dat z této meteostanice do počítače by měl sloužit bezdrátový komunikátor velikosti přívěšku na klíče, připojitelný a napájený z USB sběrnice.

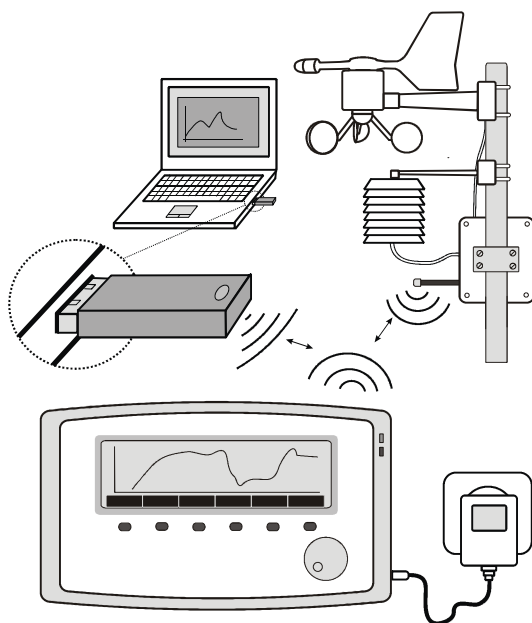
Velkým rozdílem od komerčních produktů by měla být možnost rozsáhlejšího zpracování naměřených dat přímo v přístroji. Proto je v tomto zařízení požadován velký grafický displej. Důležitým výchozím bodem projektu je také co nejnižší cena prototypu celého zařízení při použití dostatečně kvalitních a přesných měřicích prvků. Proto bylo při návrhu přihlíženo k použití součástek a prvků poskytovaných výrobcem jako zkušební vzorky zdarma.

2 Představa a vlastní návrh

V této kapitole je popsán návrh meteostanice, výčet předpokládaných a požadovaných vlastností a také přiblížení představy o koncepci všech zařízení.

2.1 Návrh meteostanice na úrovni funkčních bloků

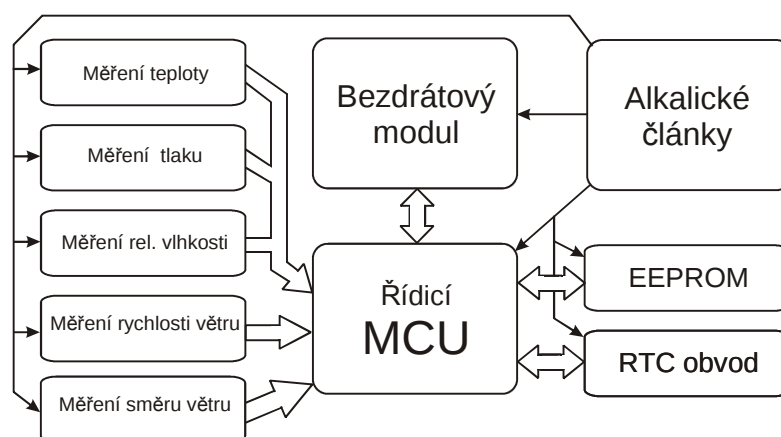
Systém meteostanice byl navržen jako 4 samostatné prvky, které spolu navzájem komunikují (viz obr. 1). Všechny hardwarové možnosti, kterými meteostanice disponuje, jsou zobrazeny na následujících blokových schématech (viz obr. 2, obr. 3, obr. 4). Z těchto blokových schémat si lze jednoduše představit princip činnosti všech zařízení. Vlastní funkce, ovládání, způsob komunikace jednotlivých prvků mezi sebou, komunikace s uživatelem a ostatní vlastnosti jsou závislé na řídicích programech mikrokontrolérů (MCU).



Obr. 1: Vizuální a systematický návrh celého zařízení

2.1.1 Venkovní měřicí stanice

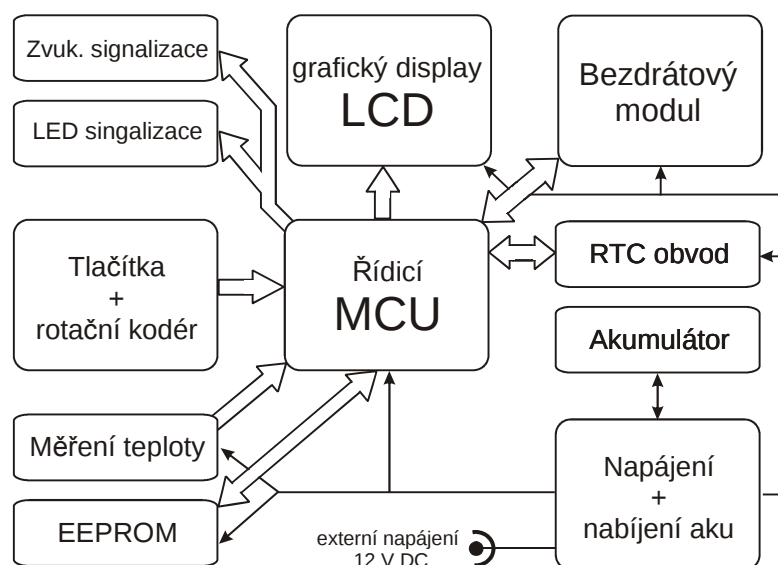
Toto zařízení je srdcem celého systému. Měřicí stanice, umístěná v otevřeném prostoru zaznamenává hodnoty všech měřených veličin a zasílá je domácí centrále. V případě poruchy či odstávky domácí centrály jsou naměřená data dočasně uchovávána v paměti měřicí stanice. Toto zařízení oboustranně komunikuje s domácí centrálou.



Obr. 2: Blokové schéma měřicí stanice

2.1.2 Domácí centrála

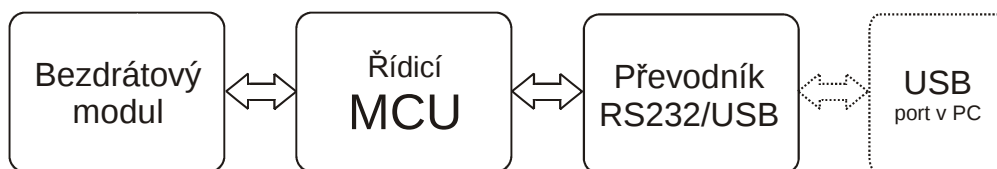
Tato část systému je navržena jako nástěnné zařízení, napájené bezpečným síťovým adaptérem. Pro případ krátkodobého odpojení vnějšího napájení bude přístroj napájen z vnitřních akumulátorů. Centrála bezdrátově komunikuje s vnější stanicí a přijímá z ní uložená a aktuální naměřená data. Pro komunikaci s uživatelem byl navržen velký, přehledný grafický displej, tlačítka a rotační kodér, který je předpokladem pro rychlou a jednoduchou obsluhu zařízení. Centrála bude také komunikovat a předávat si data s USB komunikátorem, který dále předá data obslužnému programu v počítači.



Obr. 3: Blokové schéma domácí centrály

2.1.3 USB Komunikátor

Komunikátor je navrhnut jako, v dnešní době moderní, USB „klíčenka“ a má za úkol přijímat data z centrály a meteostanice a předávat je přes sběrnici USB příslušnému programu a naopak.



Obr. 4: Blokové schéma USB komunikátoru

2.1.4 Obslužný program pro PC

Základními předpoklady programu jsou zobrazení a archivace dat, jejich zpracování ve formě grafů a tabulek, a dále sdílení dat v síti internet.

2.2 Základní vlastnosti zařízení

V této podkapitole je uveden výčet požadovaných vlastností a funkcí všech částí systému.

Venkovní měřicí stanice:

- měření základních meteorologických veličin:
 - měření teploty vzduchu,
 - měření relativní vlhkosti vzduchu,
 - měření atmosférického tlaku,
 - měření rychlosti proudění vzduchu,
 - určování směru proudění vzduchu,
- automatické měření a odeslání dat v přednastaveném intervalu a případná archivace naměřených údajů přímo ve venkovní stanici,
- bateriové napájení venkovní stanice,
- nízká spotřeba zařízení, zaručující dlouhodobý provoz,
- obousměrná bezdrátová komunikace s domácí centrálou a USB komunikátorem.

Domácí centrála:

- nástěnná domácí centrála s externím napájením pomocí síťového adaptéru,
- přehledný grafický displej pro zobrazení všech potřebných údajů,
- ovládání pomocí několika tlačítek a rotačního kodéru,
- obousměrná bezdrátová komunikace s venkovní stanicí,
- přijímání aktuálně naměřených hodnot a archivovaných dat z venkovní stanice v pravidelných časových intervalech,
- zobrazení aktuálních hodnot měřených veličin,
- měření, zobrazování a archivace vnitřní teploty,
- zobrazení a zpracování všech měřených a archivovaných hodnot, zobrazování grafů, průběhy naměřených veličin v časových úsecích (hodina, n-hodin, noc, den), průměrování hodnot, porovnávání apod.,
- záložní akumulátory s dobíjením pro krátkodobý chod centrály bez přítomnosti vnějšího napájení,
- obousměrná bezdrátová komunikace s PC pomocí USB komunikátoru,
- pomocné aplikace a funkce:
 - zobrazení času a budík,
 - kalendář,
 - zobrazení stavu baterie venkovní stanice,
 - zobrazení stavu akumulátorů domácí centrály,
 - indikace komunikace se stanicí a USB komunikátorem.

USB komunikátor:

- obousměrná bezdrátová komunikace s domácí centrálou a měřicí stanicí,
- přenos dat do PC pro dlouhodobé archivování a zpracování obslužným programem.

Obslužný program pro PC:

- zobrazování aktuálně naměřených hodnot,
- ukládání dat z měřicí stanice a domácí centrály,
- větší možnosti zpracování naměřených dat, porovnávání grafů, úprava, komentování, export dat,
- komunikace přes síť internet - zobrazování aktuálně naměřených dat na webu, zasílání dat z meteorologických serverů zpět do centrály a následné zobrazení na LCD displeji (předpovědi, varování).

3 Možnosti realizace zařízení

V následující kapitole jsou popsány klíčové funkční bloky, které jsou použity v navržených zařízeních. Účelem tohoto popisu je seznámení s možnostmi použití rozličných prvků a součástí při konstrukci zařízení, jejich porovnání a také výběr nejvýhodnější varianty pro použití v této meteostanici.

3.1 Bezdrátový přenos

Bezdrátový přenos je klíčovou vlastností celého systému. Každé ze tří elektronických zařízení jej musí obsahovat. Na výběr vhodného bezdrátového prvku byl kladen velký důraz. Tato komponenta určí kvalitu celého systému a hlavně výrazně ovlivní jeho cenu. Základním krokem je výběr vhodného frekvenčního pásma bezdrátového přenosu. Vysílací pásma a podmínky pro provoz zařízení krátkého dosahu určených k telemetrii a dálkovému řízení v ČR určuje všeobecné oprávnění č. VO-R/10/03.2007-4 vydané Českým telekomunikačním úřadem (viz [9]). Pro bezdrátový přenos informací z meteostanice jsou vhodná pásma 433MHz, 868MHz a 2,4GHz. Na našem trhu je nabízeno mnoho VF modulů pracujících ve výše zmíněných pásmech, avšak vzhledem k ceně a ke kusové dostupnosti těchto prvků přišly v úvahu pouze dvě možnosti.

První variantou, je použití některého z rozsáhlé řady hybridních VF modulů pracujících v pásmech 433 či 868 MHz od firmy Aurel [3], které jsou u nás běžně v prodeji ve specializovaných prodejnách (viz obr. 5). Jejich cena je přijatelná v poměru k ceně celé meteostanice, ovšem nesou s sebou pro tuto aplikaci mnoho nevýhod. Každý modul je určen buď pro vysílání a nebo přijímání, což znamená nakoupení a použití 6 modulů (dva do každého zařízení). Dále je velkou nevýhodou nutnost použití vlastního protokolu k přenosu dat, ošetření chyb a kódování, což by s sebou přineslo mnoho práce při vývoji řídicích programů jednotlivých částí meteostanice. Další nevýhodou je větší rozměr, který navíc při dvou kusech modulů výrazně ovlivní velikost a celkovou koncepci USB komunikátoru.



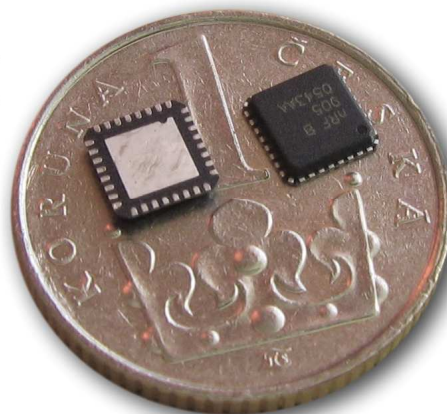
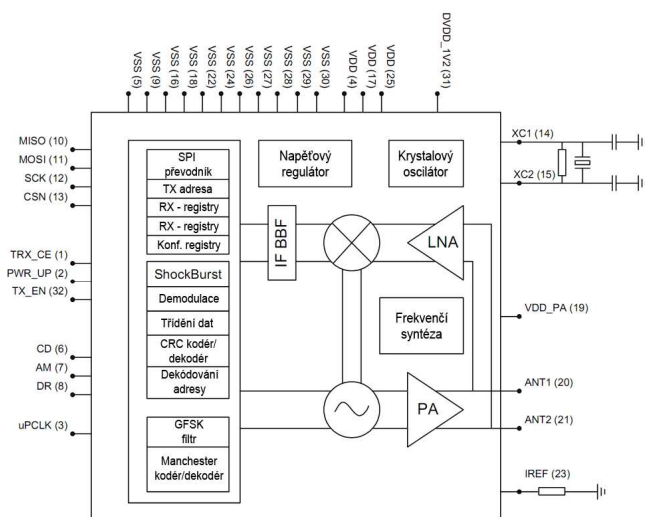
Obr. 5: Vysílací a přijímací modul Aurel 433MHz

Druhou možností je použití integrovaných vysokofrekvenčních datových transceiverů pro pásmo 433 MHz, 868 MHz či 2,4 GHz od firmy Nordic Semiconductor. U těchto modulů lze hovořit jen o výhodách. Miniaturní provedení a nutnost jen několika málo externích součástek umožní realizovat celý modul na ploše max. 2 cm². Jejich pořizovací cena je zhruba poloviční než cena jediného modulu Aurel a jsou v ČR dostupné i v kusovém množství. Zajímavostí jsou verze obvodů s mikrokontrolérem jádra 8051 integrovaným na čipu. Srovnání vhodných obvodů firmy Nordic Semiconductor popisuje tabulka 1. Pro aplikaci v meteostanici byl vybrán typ nRF905 [4]. V pouzdře QFN32 tohoto IO (viz obr. 6) je realizován obousměrný vysokofrekvenční transceiver pracující v pásmech 433/868/915 MHz.

Tab. 1: Porovnání obvodů z nabídky firmy Nordic Semiconductor

Označení	nRF905	nRF9E5	nRF24L01	nRF24LU1
Napájení	1,9 – 3,6 V	1,9 – 3,6 V	1,9 – 3,6 V	4,0 – 5,5 V
Pásmo	433, 868, 915 MHz	433, 868, 915 MHz	2,4 GHz	2,4 GHz
MCU	-	8051 komp.	-	8051 komp.
Pouzdro	QFN32	QFN32	QFN32	QFN32
Cena ⁽¹⁾	135 Kč	165 Kč	90 Kč	165 Kč

(1) Ceny k 12.05.2009



Obr. 6: Blokové schéma obvodu nRF905 a jeho provedení v pouzdře QFN32

Základní parametry udávané výrobcem:

- kompletní jednočipový GMSK transceiver v pouzdře QFN32,
- patentovaný režim „ShockBurst“ pro snížení spotřeby,
- napájecí napětí 1,9 až 3,6 V,
- provoz na různých kanálech – kompatibilní s normami ETCI a FCC,
- přepnutí kanálu za méně než 650 μ s,
- nastavitelný výstupní výkon do 10 dBm,
- detekce nosné,
- indikace příjmu a vysílání,
- automatické opakování přenosu dat,
- automatické generování CRC,
- nízká spotřeba proudu při vysílání i příjmu.

Obvod se skládá z integrovaného frekvenčního syntezátoru, výkonového zesilovače, modulátoru a přijímače. Veškeré parametry jako kmitočet, výstupní výkon a jiné VF parametry se nastavují programově přes SPI sběrnici, pomocí které celý obvod komunikuje s mikrokontrolérem. Programovým nastavením výstupního výkonu a pomocí několika pracovních režimů lze snadno regulovat spotřebu celého obvodu. Tento IO je speciálně určen pro dlouhodobé napájení z tužkových baterií a jiných miniaturních zdrojů elektrické energie. Obvod je tedy ideální pro použití v meteostanici, kde je spotřeba velmi důležitý parametr.

Mezi základní aplikace doporučené výrobcem patří bezdrátová komunikace, alarmy, domácí automatizace, dálkové ovládání, vzdálený dohled, automobilové aplikace, telemetrie, průmyslové senzory, hračky a jiné. Pro použití v projektu bezdrátové meteostanice, ale také i pro použití v jiných aplikacích byl navrhnut malý modul, jehož popis obsahuje kapitola 4.1.

3.2 Řídící mikrokontrolér

Mikrokontrolér je srdcem všech tří elektronických zařízení, ze kterých se celý systém skládá. V dnešní době se tyto speciální IO rozšířily do všech oblastí vývoje elektronických zařízení. Mikrokontroléry dnes vyrábí mnoho firem jako například Atmel [1], Freescale [2] Semiconductor, Microchip, Analog Device, Toshiba, ST, Texas Instruments. Pro použití v meteostanici byly podle potřebných parametrů vybrány tři nejrozšířenější a běžně dostupné mikrokontroléry. Srovnání jejich parametrů je uvedeno v tabulce č. 2. Ve všech třech případech se jedná o 8-bitové mikrokontroléry s architekturou RISC, tedy s redukovanou instrukční sadou. Vlastnosti i ceny těchto komponent jsou velmi vyrovnané a rozhodnutí nad volbou spočívá především ve zvyklostech a znalostech konstruktéra. Pro použití

v meteostanici byl výběr zúžen na mikrokontroléry řady AVR od firmy Atmel. Pro řízení měřicí stanice byl původně vybrán nejjednodušší typ rodiny ATmega a to konkrétně typ ATmega8. S postupným vývojem zařízení se ukázal jako nevyhovující z důvodu nedostatečného množství vstupně-výstupních portů. Tento typ byl tedy nahrazen mikrokontrolérem ATmega16.

Pro použití v USB komunikátoru zůstal typ ATmega8, který v této aplikaci vyhovuje jak z hlediska počtu portů, tak i z hlediska velikosti paměti Flash. Důležitá pro toto zařízení je také malá velikost pouzdra.

Při výběru mikrokontroléru pro domácí centrálu byly zvažovány nejvyšší typy rodiny ATmega. S ohledem na poměr cena/výkon byl vybrán typ ATmega128. Velká paměť programu byla zvolena kvůli náročné obsluze grafického displeje a následným úpravám, zpracováním a zobrazení naměřených dat. V tomto zařízení jsou nároky na mikrokontrolér největší. Řídicí obvod musí pravidelně komunikovat s bezdrátovým modulem, posílat a přijímat data z venkovní stanice. Dále musí data ukládat, zobrazovat aktuální veličiny na displeji, komunikovat s uživatelem, zobrazovat a zpracovávat data dle příkazů uživatele. Dalším zatížením obvodu je komunikace s USB komunikátorem a obslužným programem v PC.

Tab. 2: Porovnání nejdůležitějších parametrů vhodných mikrokontrolérů

Označení	ATmega 16L	PIC18F242	MC908AP16
Výrobce	Atmel	Microchip	Freescale
Napájení	2,7 – 5,5 V	2,0 - 5,5 V	2,7 – 5,5 V
FLASH paměť	16 kB	16 kB	16 kB
RAM	1024 B	768 B	1024 B
EEPROM	512 B	256 B	--
A/D převodníky	8 x 10-bit	5 x 10-bit	8 x 10-bit
Čítače-časovače	2 x 8-bit, 1 x 16bit	2 x 8-bit, 2 x 16bit	2 x 16bit
Počet I/O pinů	32	28	32
Pouzdro	TQFP-44	TQFP-44	LQFP-44
Cena ⁽¹⁾	105 Kč	135 Kč	137 Kč

(1) Ceny k 12.05.2009

Tab. 3: Porovnání nejdůležitějších parametrů použitých mikrokontrolérů

Označení	ATmega128L	ATmega16L	ATmega8L
Flash paměť	128 kB	16 kB	8 kB
EEPROM	4 kB	512 B	512 B
Počet I/O pinů	53	32	23
A/D převodníky	8 x 10-bit	8 x 10-bit	8 x 10-bit
Čítače-časovače	2 x 8-bit, 2 x 16-bit	2 x 8-bit, 1 x 16-bit	2 x 8-bit, 1 x 16-bit
Zvolené pouzdro	TQPF-64	TQPF-44	TQPF-32
Napájení	2,7 – 5,5 V	2,7 – 5,5 V	2,7 – 5,5 V

3.3 Měření teploty a vlhkosti

Základní veličinou popisující stav ovzduší je teplota. Její přesné měření se výrazně podílí na kvalitě meteostanice. Na českém trhu s elektronickými komponentami je nabízena řada miniaturních teplotních čidel. Pro použití v meteostanici byly vybrány 4 senzory, jejichž porovnání je uvedeno v tabulce 4. Dalším důležitým prvkem je snímač relativní vlhkosti vzduchu. Sortiment těchto komponent není tolik rozšířený jako u teplotních čidel. Z dostupných typů byly vybrány tři vhodná čidla, jejichž parametry jsou uvedeny v tabulce 5.

Pro použití čidla v měřicí stanici jsou kromě měřicího rozsahu a přesnosti také důležitými parametry rozsah napájecího napětí a vlastní spotřeba. Z důvodů bateriového napájení dvěma alkalickými články je nutné použít čidlo s napájecím napětím 3 V a méně. Pro použití čidla v domácí centrále nejsou spotřeba a rozsah napájecího napětí tolik rozhodující. Dalším důležitým parametrem je formát výstupu dat z čidla. Z hlediska miniaturizace, přesnosti měření a vlivu velkého rozptylu okolní teploty je výhodnější použití čidla s digitálním výstupem.

Tab. 4: Porovnání parametrů snímačů teploty

Označení	LM35	DS18S20	SMT 160-30	SHT71
Výrobce	National Semi.	Maxim	Smartec	Sensirion
Napájení	4 – 20 V	3 – 5,5 V	4,75 – 7 V	2,4 - 5,5 V
Spotřeba ⁽¹⁾	60 μ A (-)	1,5 mA (1 μ A)	200 μ A (-)	1 mA (1 μ A)
Měř. Rozsah	-55 až +150 °C	-55 až +125 °C	-45 až +150 °C	-40 až +125 °C
Přesnost ⁽²⁾	$\pm 0,5$ °C	$\pm 0,5$ °C	$\pm 0,7$ °C	$\pm 0,4$ °C
Výstup	napětový	1-Wire®	PWM	digitální (2vodiče)
Cena ⁽³⁾	145 Kč	71 Kč	83 Kč	560 Kč

⁽¹⁾ Spotřeba v aktivním režimu - (v režimu spánku)

⁽²⁾ Přesnost v rozsahu teplot -10 až +85 °C

⁽³⁾ Ceny k 12.05.2009

Tab. 5: Porovnání parametrů snímačů relativní vlhkosti

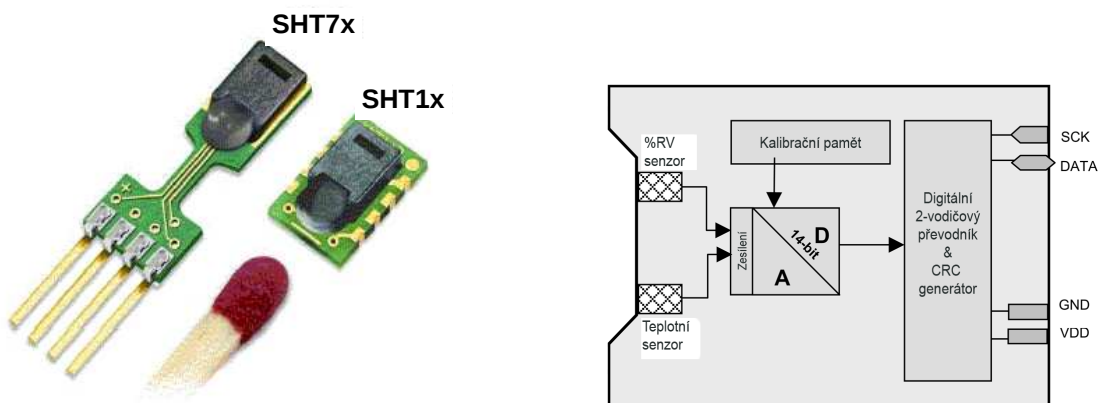
Označení	2381 691	SHT71	HIH-4031-001
Výrobce	Wishay	Sensirion	Honeywell S&C
Napájení	max. 15 V	2,4 - 5,5 V	4 - 5,8 V
Spotřeba ⁽¹⁾	-	1 mA (1 μ A)	500 μ A (-)
Měř. Rozsah	10 – 90 % RV	0 – 100 % RV	0 – 100 % RV
Přesnost ⁽²⁾	-	± 3 % RV	$\pm 3,5$ % RV
Výstup	kapacitní	digitální (2vodiče)	napětový
Cena ⁽³⁾	375 Kč	560 Kč	650 Kč

⁽¹⁾ Spotřeba v aktivním režimu - (v režimu spánku)

⁽²⁾ Přesnost v rozsahu 10 až 90 % relativní vlhkosti

⁽³⁾ Ceny k 12.05.2009

Po zvážení všech uvedených parametrů se ukázalo jako nejvhodnější použití kombinovaného čidla SHT71 [5] od firmy Sensirion (viz obr. 7). SHT71 je kalibrované čidlo teploty a relativní vlhkosti s dvou vodičovým digitálním výstupem, založené na technologii CMOSens®. K jeho hlavním výhodám patří dlouhodobá teplotní stabilita, miniaturní rozměry, aplikace bez použití externích součástek a nízká spotřeba.



Obr. 7: Vývodová a bezvývodová varianta čidla SHT7xx a jeho blokové schéma

Pro měření teploty v domácí centrále bylo vybráno čidlo DS18S20 [9] firmy Maxim, které nabízí výrobce v kusovém množství jako vzorky zdarma. Jedná se o teplotní čidlo s digitálním jednovodičovým výstupem s rozlišením 9 bitů. Každý vyrobený kus má ojedinelý 64-bitový sériový kód uložený v paměti ROM, který odesílá po jednovodičové sběrnici řídicímu mikrokontroléru. Lze tedy použít několik čidel na jedné sběrnici (jednom vodiči). Čidlo je vyráběno v pouzdrech TO-92 a SO-8 a lze jej aplikovat bez použití externích součástek. K dalším zajímavostem patří uživatelsky nastavitelné teplotní alarmy.

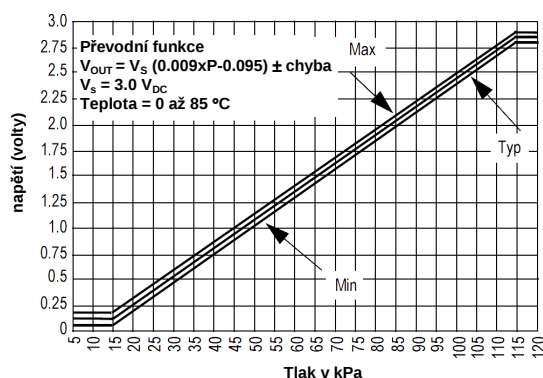
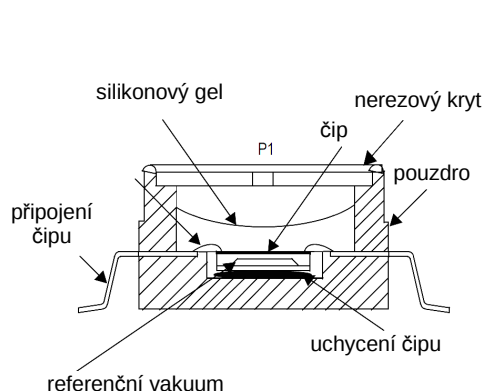
3.4 Měření atmosférického tlaku

Senzorů pro měření tlaku není na našem trhu mnoho, proto bylo přihlíženo i k sortimentu zahraničních distributorů elektronických součástek. Porovnání parametrů tří dostupných čidel obsahuje tabulka 6. Pro použití v měřicí stanici bylo vybráno čidlo z rozsáhlé nabídky firmy Freescale Semiconductor. Tato běžně dostupná čidla jsou často využívána v řadě amatérských konstrukcí jako například výškoměrů a barometrů. Výhodou pro použití v této meteostanici je také jeho dostupnost v několika kusech zkušebních vzorků nabízených výrobcem. Z celé řady tlakových čidel byl vybrán typ MP3H6115A [7], což je absolutní, teplotně kompenzované, tlakové čidlo v pouzdru SSOP s integrovaným operačním zesilovačem na čipu. Čidlo je tvořeno odporovou sítí vyrobenou na polovodičovém čipu, která je rozvažována mechanickým prohnutím čipu. Výstupní signál tvoří napětí přímo úměrné atmosférickému tlaku (viz obr. 8) a díky integrovanému operačnímu zesilovači lze výstup čidla přímo připojit k analogově-digitálnímu převodníku řídicího mikrokontroléru.

Tab. 6: Porovnání parametrů tlakových snímačů

Označení	ASDX015D44R	SCC15AD2	MP3H6115A
Výrobce	Honeywell S&C	SenSym	Freescale
Napájení	4,75 – 5,25 V	max. 12 V	2,7 – 3,3 V
Spotřeba	6 mA	1.5 mA	4 až 8 mA
Měř. rozsah	0 – 104 kPa	0 – 104 kPa	15 – 115 kPa
Teplotní rozsah	-20 až +105 °C	-40 až +85 °C	-40 až +125 °C
Teplotní kompenzace	0 až +85 °C	0 až +50 °C	-40 až +125 °C
Přesnost	2 %	± 2 %	± 1,5 %
Výstup	I ² C	napěťový	napěťový
Cena ⁽¹⁾	1130 Kč	620 Kč	280 Kč

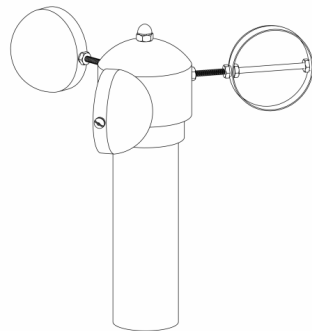
⁽¹⁾ Ceny k 12.05.2009



Obr. 8: Vnitřní uspořádání čidla MP3H6115A a závislost výstupního napětí na tlaku

3.5 Měření rychlosti a směru proudění vzduchu

Anemometr (z řeckého „ánemos“ – vítr) je odborný název pro měřič proudění vzduchu. Tyto měřicí prvky jsou po mechanické stránce nejnáročnější částí měřicí stanice. Samostatné anemometry bez řídicí elektroniky nejsou na trhu dostupné. Prodávají se jen ruční, přenosné měřiče či náhradní anemometry k větším měřicím systémům, které jsou však příliš nákladné. Jedinou, finančně vhodnou možností je vlastní výroba anemometru. Vzhledem k dlouhodobé spolehlivosti a zhoršeným provozním podmínkám není výroba takového zařízení jednoduchá. Na internetu a v odborných publikacích bylo zveřejněno několik takovýchto konstrukcí. Pro určení rychlosti větru se využívají především miskové anemometry. Rychlost větru je přímo úměrná rychlosti otáčení rotační části s miskami. Měření rychlosti je realizováno měřením počtu impulsů za určitý časový interval a následným výpočtem. Impulsy pro měření rychlosti lze vytvořit pomocí magnetického spínače a permanentního magnetu, upevněného na rotující části anemometru. Ideální délka intervalu čítání impulsů je 3 až 5 sekund. Měření směru proudění vzduchu lze realizovat pomocí otočného štítu. K určení jeho polohy se standardně využívají absolutní optické snímače polohy v binárním či Grayově kódu. Na obr. 9 je zobrazeno stínítko pro 4-bitové snímání polohy. Čtyři fotoelektrické prvky (nejčastěji pár LED diody s fototranzistorem) zjišťují průchodnost světla rotujícím stínítkem. Použitím 4-bitového snímání (4 stopy na stínítku a 4 fotoprvky) lze určit polohu v 16-ti krocích. Výsledný krok úhlu natočení $22,5^\circ$ je zcela dostačující.



Obr. 9: Stínítko pro 4-bitový absolutní snímač polohy a příklad miskového anemometru

3.6 RTC

Pro archivaci dat je nutný záznam aktuálního času a data. Nejjednodušší a nejkvalitnější řešení spočívá v použití RTC obvodu. Zkratka RTC znamená Real Time Clock nebo-li hodiny reálného času. Na trhu se objevuje velké množství obvodů od firem Epson, ST Semiconductor, či Dallas Semiconductor. Většina těchto obvodů svými parametry dostačuje pro použití v meteostanici. Parametry tří z nejdostupnějších obvodů popisuje tabulka 7.

Důležitými parametry jsou rozsah napájecího napětí, rozsah provozních teplot a především co nejmenší spotřeba v neaktivním režimu. Pro venkovní měřicí stanici i domácí centrálu byl vybrán obvod RTC-8564 [8] od firmy Epson. Obvod v pouzdře VSOJ 20 obsahuje kompletní časovač sekund, minut, hodin, dní, měsíců, roků a dnů v týdnu. Disponuje výstupy uživatelsky definovatelného kmitočtu a výstupem přerušení pro nastavené alarmy. Komunikace s obvodem probíhá přes dvou vodičovou sériovou sběrnici I²C. Obvod obsahuje také krystalový oscilátor a k jeho činnosti stačí pouze napájecí napětí, které je možno zálohovat baterií.

Tab. 7: Porovnání nejdůležitějších parametrů vhodných RTC obvodů

Označení	DS1306	RTC8564JE	PCF8593T
Výrobce	Maxim	Epson	Philips
Napájení	2,0 – 5,5 V	1,8 – 5,5 V	2,5 – 6 V
Spotřeba ⁽¹⁾	1,28 mA (550 nA)	1 mA (275 nA)	3 mA (1μA)
Teplotní rozsah	-40 až +85 °C	- 30 až +70 °C	0 až +70 °C
Vlastnosti	hodiny/kalendář	hodiny/kalendář	hodiny/kalendář
Vnitřní alarm	2x	1x	1x
Komunikace	SPI	I ² C	I ² C
Cena ⁽²⁾	120 Kč	70 Kč	60 Kč

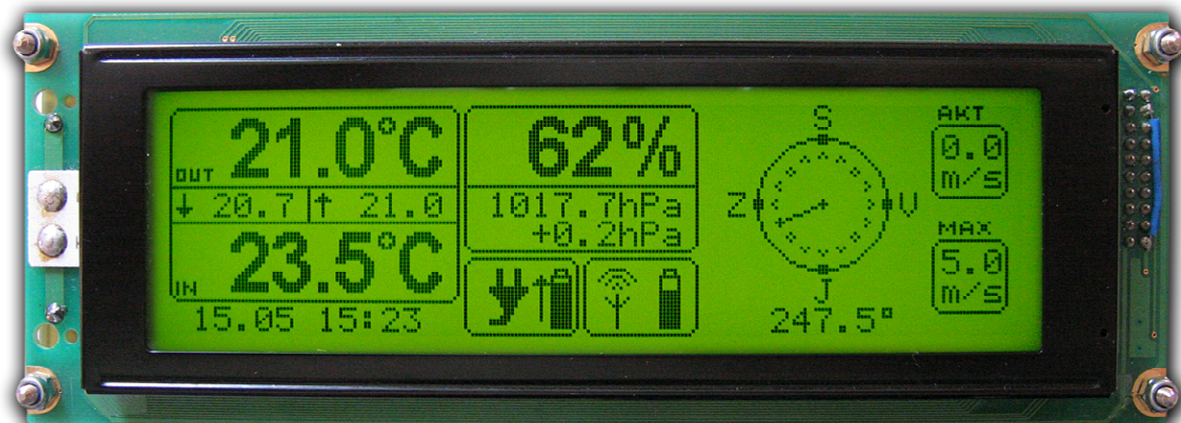
⁽¹⁾ Spotřeba v aktivním režimu - (v režimu spánku)

⁽²⁾ Ceny k 12.05.2009

3.7 LCD displej

Pro zobrazení všech potřebných údajů na domácí centrále je zapotřebí displej. Prakticky jsou jen dvě možnosti a to použití alfanumerického nebo grafického LCD displeje. Alfnumerické displeje jsou velmi rozšířené a často používané v mnoha různých konstrukcích. Velmi výhodná je jejich nízká pořizovací cena a jednoduchost řízení. Tyto displeje mají na DPS integrovány řadič, který samostatně řeší buzení displeje. Ke komunikaci řadiče s řídicím mikrokontrolérem je použito 4 nebo 8-bitové paralelní rozhraní. Výborná čitelnost ve všech světelných podmínkách je zaručena díky LED podsvícení. Pro zobrazení všech měřených veličin by bylo zapotřebí velkého displeje, například LCD displej 20 znaků na 4 řádky. Zobrazování pomocí alfanumerického displeje by však bylo velmi nepřehledné a vylučovalo by možnost vykreslování grafů. Proto byl tento typ displeje použit jen v první fázi vývoje meteostanice.

Pro finální podobu domácí centrály byl zvolen grafický displej. Cena tohoto prvku má sice významný podíl na celkové ceně meteostanice, ovšem výrazně rozšíří možnosti celého systému. Použitý typ WG24064-YYH od firmy Winstar je podsvícený grafický LCD displej s rozlišením 240 x 64 bodů. Širokoúhlá zobrazovací plocha o rozměrech 128 mm x 38 mm je ideální pro vykreslování grafů a přehledné zobrazení všech aktuálně naměřených hodnot. Komunikace integrovaného řadiče s řídicím mikrokontrolérem je řešena 8-bitově.



Obr. 10: Grafický displej WG24064-YYH

3.8 Napájení

Pro dlouhodobý provoz měřicí stanice v místech nedostupných elektrické síti je nutností bateriové napájení. Pro toto zařízení, které disponuje velmi malým příkonem elektrické energie je vhodné realizovat napájení alkalickými články, které mají velmi malé samovybíjení a velký rozsah provozních teplot. Všechny elektronické prvky použité v tomto zařízení mají spodní hranici napájecího napětí minimálně 2,7 V, což umožňuje napájení dvěma alkalickými články o jmenovitém napětí 1,5 V zapojenými do série. Podle údajů o spotřebě, které jsou garantovány výrobcí použitých součástek, by doba provozu tohoto zařízení, napájeného tužkovými alkalickými články o jmenovité kapacitě 2800 mAh, byla několik měsíců. Při použití alkalických monočlánků 17700 mAh by byla provozní doba několik let. Provozní doba je ovlivněna časovým intervalem mezi jednotlivými měřeními.

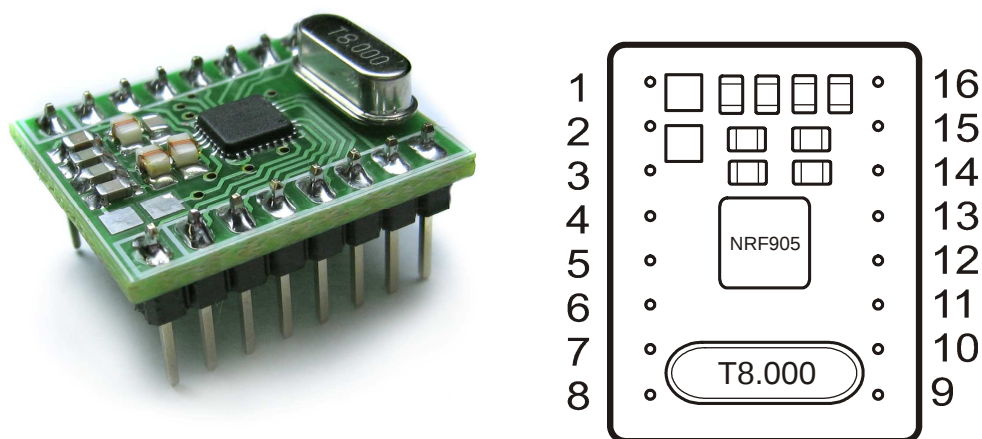
Pro napájení domácí centrály byl vybrán bezpečný síťový adaptér s výstupním napětím 12 V. Pro případy krátkodobého výpadku sítě, je vhodné zálohování napájení pomocí akumulátoru. Z důvodů nízké pořizovací ceny, jednoduchosti nabíjení, malého samovybíjení a nízké hmotnosti vzhledem ke kapacitě, jsou ideální pro tuto aplikaci akumulátory Li-Ion. Ve stavu napájení zařízení ze sítě elektrické energie budou tyto akumulátory dobíjeny.

4 Popis konstrukce

Tato kapitola popisuje vlastní řešení a následnou konstrukci všech elektronických a mechanických částí systému. Předlohy pro výrobu DPS a osazovací výkresy těchto zařízení jsou obsaženy v příloze.

4.1 Bezdrátový modul

Bezdrátová komunikace celého systému je založena na integrovaném obvodu nRF905. Tento obvod je vyráběn jen v pouzdře QFN32, což vyžaduje použití profesionálně vyrobených desek plošných spojů. Tato možnost je finančně velmi nákladná a pro kusové množství se nevyplácí. Proto byl navržen VF modul s obvodem nRF905 pro univerzální využití v různých elektronických konstrukcích, především v meteostanici. Tento modul je opatřen vývody z lámací pinové lišty se standardní roztečí 2,54 mm. Jako patici pro tento modul lze použít standardní širokou patici pro integrované obvody.

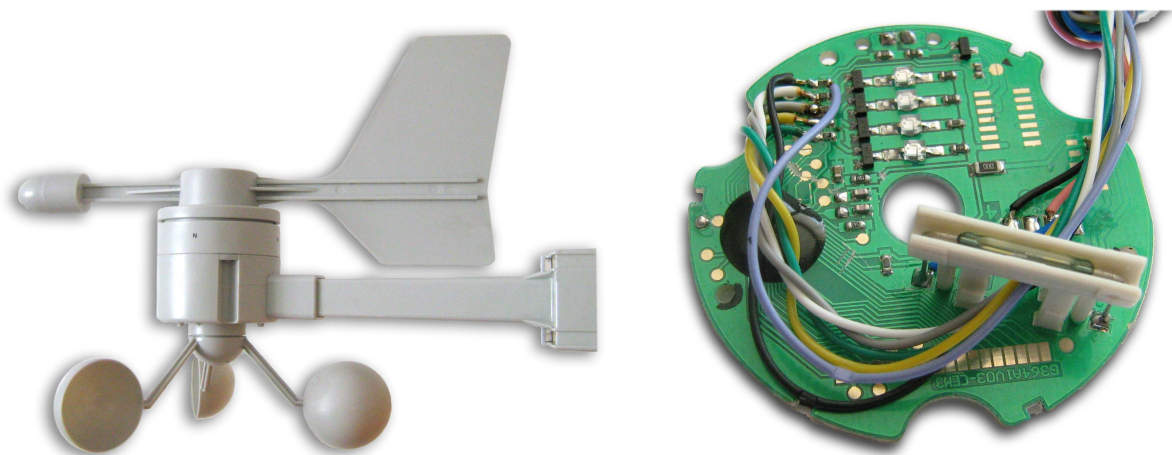


Obr. 11: Hotový bezdrátový modul a označení jeho vývodů

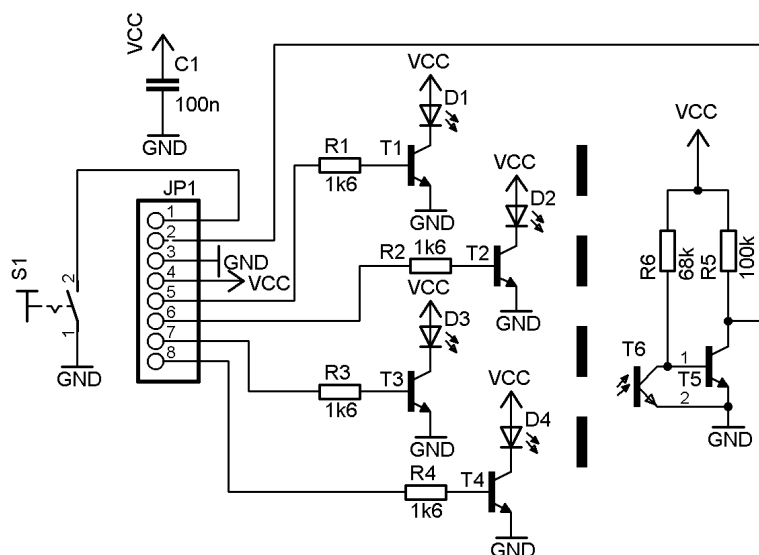
Schéma zapojení bezdrátového modulu (viz obr. 12) vychází z doporučeného zapojení výrobce [4]. Hodnoty součástek byly zvoleny pro použití modulu v pásmu 868 MHz. Všechny pasivní součástky jsou v SMD provedení velikosti 0805. Součástky C1, C2, R1 a Q1 tvoří oscilátor obvodu, který může být sdílen s mikrokontrolérem. Prvky C3, C4, C5 a C13 jsou blokové kondenzátory. Rezistor R2 tvoří proudovou referenci. Cívky L1 až L3 a kondenzátory C9, C10, C11, C14 a C15 tvoří transformační člen (tzv. balun) pro nesymetrické připojení 50 ohmové antény. Jako anténa pro pásmo 868 MHz postačuje drát o délce 8,5 mm.

4.2 Anemometr

Pro měření rychlosti a směru větru byl upraven nefunkční anemometr dodávaný ke komerčním meteostanicím. Tento anemometr byl původně ovládán vnitřním řídicím obvodem, který dále komunikoval s centrálou pomocí 4-vodičového připojení telefonním kabelem. Vnitřní elektronika (viz obr. 13) byla upravena a byl použit jen optický absolutní snímač a magnetický kontakt. Tyto části jsou vedeny přímo 8-vodičovým krátkým kabelem do měřicí stanice.



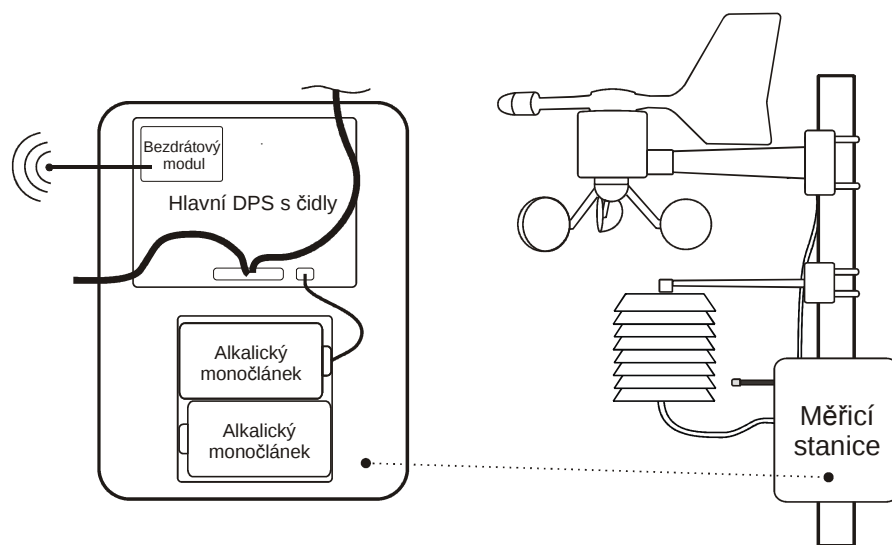
Obr. 13: Použitý anemometr a upravená elektronika



Obr. 14: Schéma zapojení upraveného anemometru

4.3 Měřicí stanice

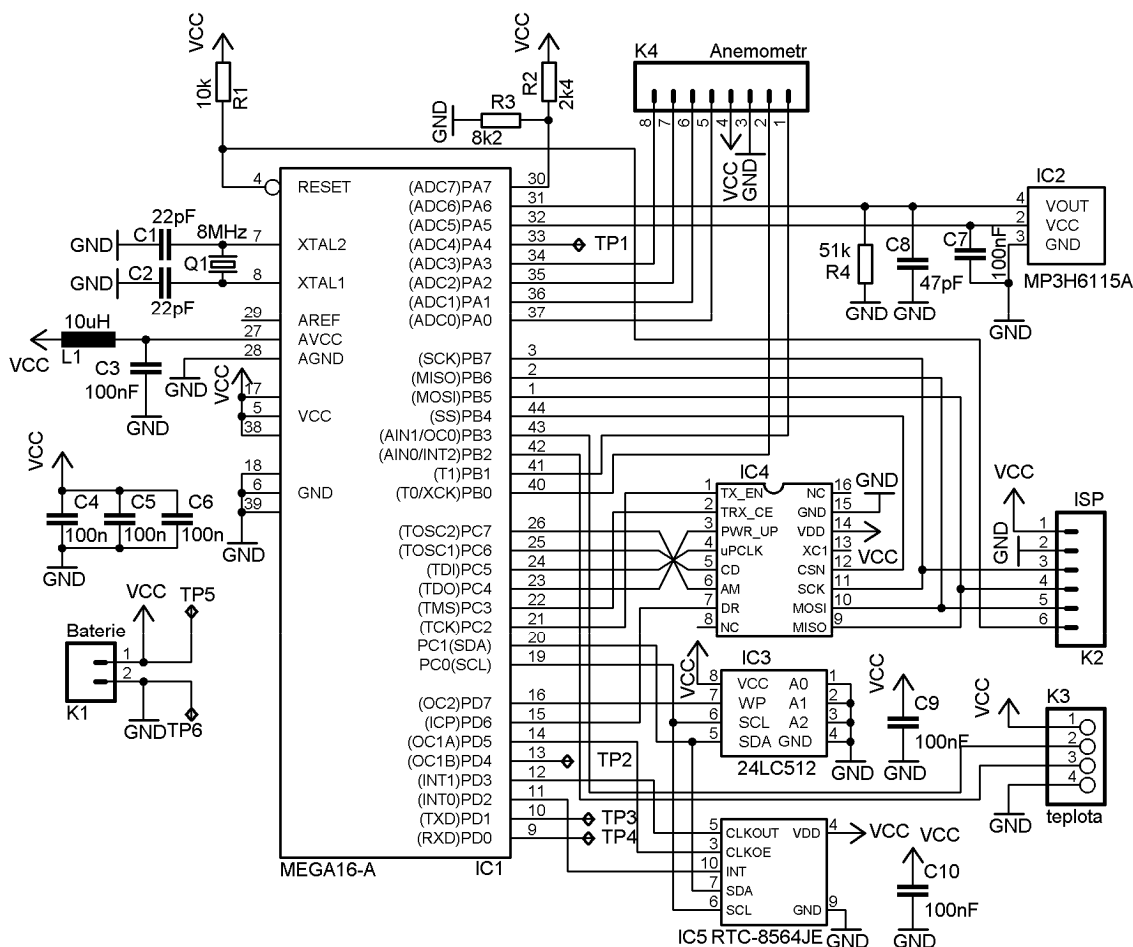
Venkovní měřicí stanice je realizována jako malé zařízení ukryté v plastové, vzduchově prodyšné krabici. Čidlo pro měření hodnoty atmosférického tlaku je umístěno uvnitř krabice na DPS. Ostatní měřicí prvky jsou umístěny v těsné blízkosti stanice a propojeny kabelem. Kombinované čidlo teploty a relativní vlhkosti vzduchu je ukryto v radiačním štítu domácí konstrukce, který zmenšuje chybu měření a zároveň chrání čidlo před nepříznivými klimatickými vlivy.



Obr. 15: Koncepce venkovní měřicí stanice

4.3.1 Popis zapojení

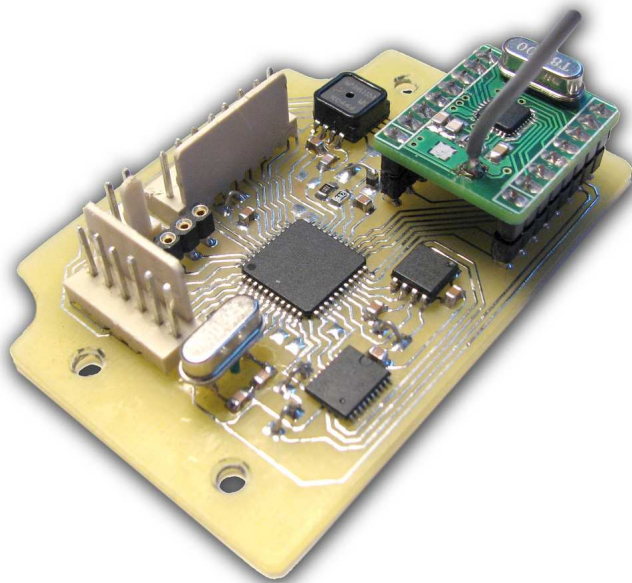
Kondenzátory C1, C2 a krystal Q1 tvoří externí oscilátor mikrokontroléru. Součástky C4 až C7 jsou blokovací kondenzátory. Rezistory R2 a R3 tvoří napěťový dělič pro měření napětí napájecí baterie. Napájení AD převodníku mikrokontroléru je filtrováno pomocí L1 a C3. Externí paměť EEPROM komunikuje s mikrokontrolérem přes sběrnici I²C. Bezdrátový modul komunikuje přes rozhraní SPI. Konektor K1 je určen pro připojení bateriového napájení dvěma alkalickými články. Konektor K2 slouží pro připojení programátoru mikrokontroléru. Externí čidlo SHT71 je připojeno k DPS konektorem K3. Externí anemometr je připojen na konektor K4. Tlakové čidlo IC2 je zapojeno dle doporučení výrobce a jeho výstup je veden na vstup AD převodníku. Toto čidlo nedisponuje žádným režimem snížené spotřeby a jeho stálý odběr by výrazně ovlivnil životnost baterie. Z tohoto důvodu je napájeno z portu mikrokontroléru a může být snadno ovládáno logickou úrovní na daném vývodu.



Obr. 16: Schéma zapojení měřicí stanice

4.3.2 Konstrukce

Celé zařízení je realizováno na jednostranné desce plošných spojů. Z důvodů malých rozměrů celého zařízení byly téměř všechny součástky použity v SMD provedení. Všechny pasivní prvky jsou použity ve velikosti 0805. Výjimku tvoří cívka L1 ve velikosti 1812 a tři propojky ve velikosti 1206. Jediným technicky náročnějším prvkem pro osazení je obvod IC5 v pouzdře VSOJ20 s roztečí 0,6 mm. Při použití kvalitního postupu je však možno celou stanici zkonstruovat v domácích podmínkách. Po osazení je vhodné DPS vzhledem k provozním podmínkám opatřit vrstvou ochranného laku. Celé zařízení je spolu s bateriemi umístěno v plastové krabici. Kryt je nutné opatřit otvory pro zajištění dostatečného proudění vzduchu.



Obr. 17: Finální provedení elektronické části měřicí stanice a její zabudování v krabičce

4.4 Domácí centrála

Domácí centrála byla navržena jako nástěnné zařízení s velkým grafickým displejem, šesti tlačítky a rotačním kodérem. Zařízení je napájeno z bezpečného síťového adaptéru a pro případ výpadku sítě je napájení zálohováno Li-Ion akumulátory. Centrála je doplněna akustickou a optickou LED signalizací. Vizualní návrh tohoto zařízení je na obrázku 18.



Obr. 18: Vizualní návrh domácí nástěnné centrály

4.4.1 Popis zapojení

Schéma zařízení bylo rozděleno na dvě části. První, analogová napájecí část je na obrázku 19. Druhá, digitální část je na obrázku 20.

Analogová část slouží pro stabilizaci napájecích větví přístroje a pro nabíjení vnitřního Li-Ion akumulátoru. Stabilizátor IO10 zajišťuje 5 V napájení všech obvodů digitální části krom bezdrátového modulu. Ten je napájen z větve 3,3 V vytvořené stabilizátorem IO11. Součástky T1, T4, R3, R6, R7, R8, R10 a R13 umožňují programové zapínání a vypínání zařízení. Při připojení napájecího napětí je tranzistor T1 uzavírán přes rezistor R3. V případě stisku tlačítka S6 (obr.21) je tranzistor T1 otevřen a do obvodu začíná protékat proud. Po naběhnutí programu mikrokontroléru je okamžitě tranzistor přidržován v otevřeném stavu pomocí řídicího signálu PWR_SW, mikrokontrolér „drží sám sebe“ v zapnutém stavu. Stisk tlačítka S6 je mikrokontrolérem snímán přes napěťový dělič tvořený rezistory R6 a R7. V případě delšího stisku a následného uvolnění lze programově vyřešit vypnutí obvodu nastavením signálu PWR_SW do log. 0. Tímto způsobem lze vypnout přístroj například v případě nízkého napájecího napětí vnitřních akumulátorů, které by mohlo velmi výrazně zkrátit jejich životnost. Zkratovací propojka SW slouží k zajištění trvalého napájení v průběhu programování mikrokontroléru. Přítomnost napájecího napětí je mikrokontrolérem detekována přes stabilizátor se Zenerovou D2 a rezistorem R2.

Součástky T2, T3, C5, R1, R4, R5, R9, R10, R11, R14 a D4 tvoří nabíjecí obvod akumulátorů. Toto velmi známé a ověřené zapojení vychází z návrhu pana Miloše Zajíce [11], který se zabývá konstrukcí modelářské elektroniky. Mezi hlavní výhody tohoto obvodu patří konstrukční jednoduchost, spolehlivost a nízká cena použitých součástek. Jedná se o přesný zdroj napětí s proudovou regulací. Základem zapojení je zdroj referenčního napětí VR1. Tranzistory T1 a T2 pracují jako stabilizátor proudu. Nabíjecí proud je dán hodnotou rezistoru R1. Vzhledem k velikosti celého zařízení a ztrátovému výkonu, vznikajícím na tranzistoru T3 během nabíjení byl nabíjecí proud nastaven na hodnotu 100 mA. Dioda D4 zamezuje zpětnému vybíjení akumulátorů. Výstupní napěťový dělič tvořený rezistory R11, R13 a trimrem P1 určuje velikost výstupního napětí. Pro plné nabití dvou Li-Ion článků je zapotřebí nastavit výstupní napětí na hodnotu 8,40 V. Při nastavení nižšího výstupního napětí nebude využita plná kapacita článků, ale díky tomu se výrazně prodlouží životnost článků.

Hlavním problémem při nabíjení Li-Ion akumulátorů je jejich přebíjení vlivem odlišných parametrů článků zapojených v sérii. Z tohoto důvodu byly do analogové části přidány omezovače napětí pro každý článek. Omezovač pro jeden článek je tvořen součástkami R15, R17, R19, C9, VR2, D5 a T1. Tento obvod vychází opět z podobného zapojení pana Miloše

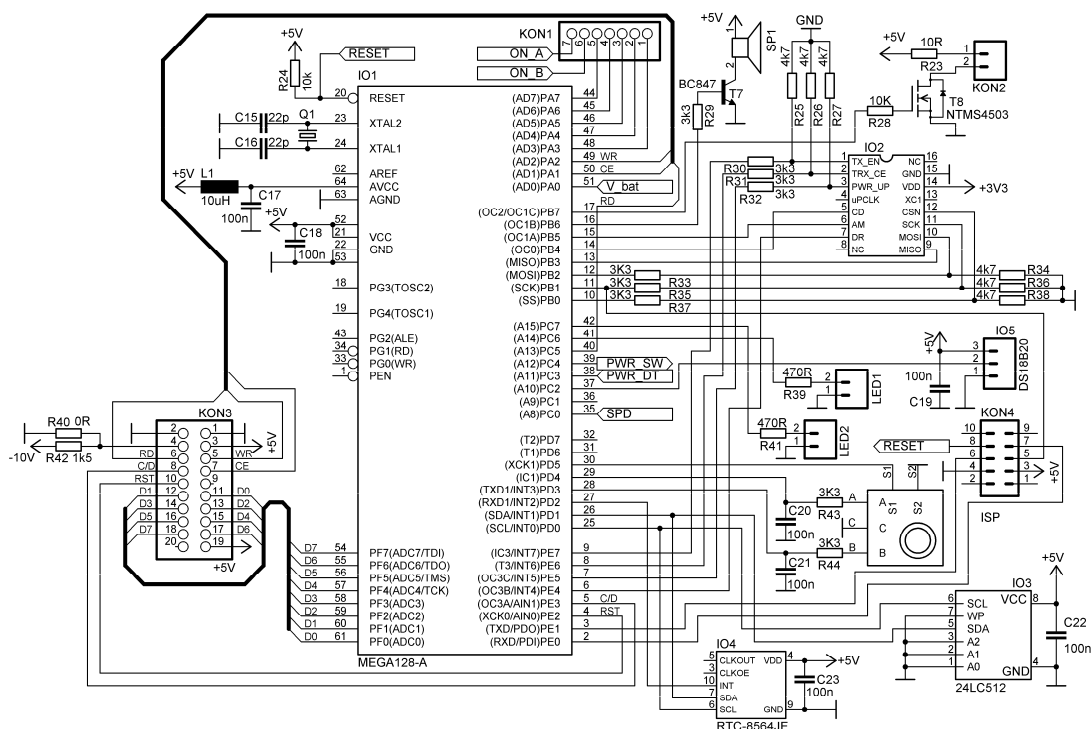
Posledním zapojením analogové části je měnič napětí sestavený z IO6, IO7, C7, C8, C10, C11, C12, C14. Tento měnič vytváří záporné napětí -10 V potřebné pro buzení LCD displeje.



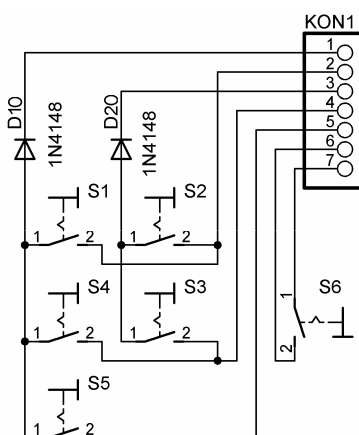
Konektorem KON1 je hlavní deska propojena s klávesnicí, jejíž schéma je na obrázku 21. Tlačítka S1 až S5 jsou zapojeny v matici. Stavby tlačítek jsou vyčítány po sloupcích. Diody D10 a D20 chrání porty mikrokontroléru před zkratem při souběžném stisku více tlačítek.

Tlačítka jsou realizována gumovými kontakty spojující vodivé plošky na DPS. Tato konstrukce je používána například v dálkových ovladačích spotřební elektroniky.

Komunikace s bezdrátovým modulem IO2 je řešena SPI protokolem. Jelikož je modul napájen z větve 3,3 V musely být napěťové úrovně z mikrokontroléru přizpůsobeny napěťovými děliči. Externí EEPROM paměť IO3 a RTC obvod IO4 jsou paralelně připojeny na sběrnici I2C. Teplotní čidlo IO5 komunikuje s mikrokontrolérem přes 1-Wire sběrnici.



Obr. 20: Schéma zapojení domácí centrály – digitální část



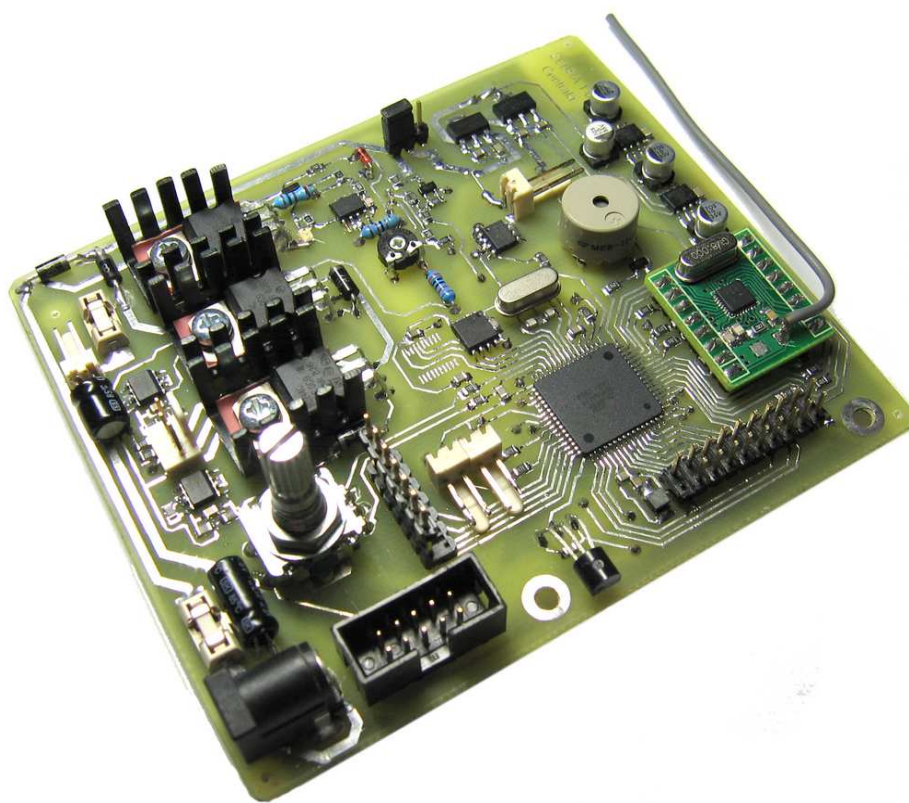
Obr. 21: Schéma zapojení klávesnice

4.4.2 Konstrukce

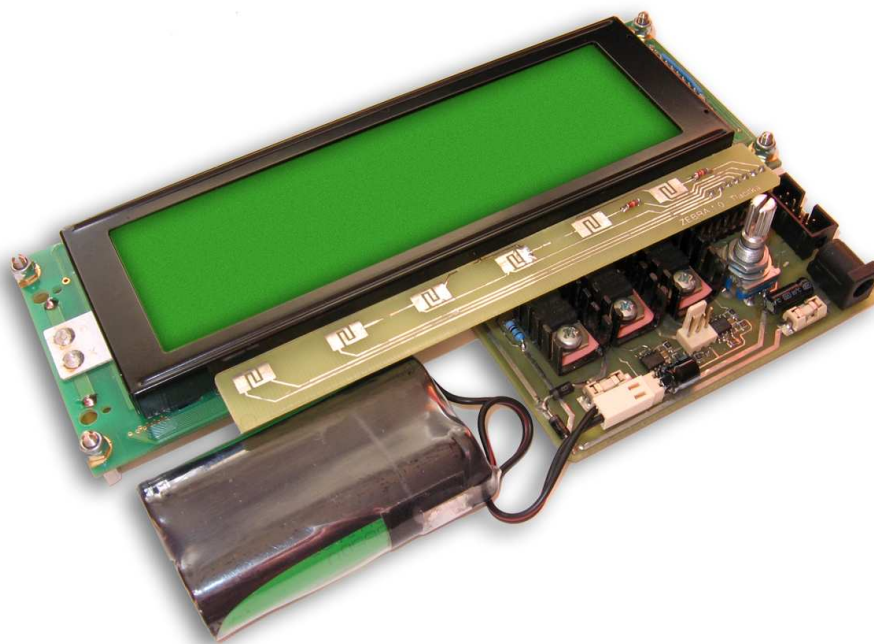
Celé zařízení je realizováno na oboustranné desce plošných spojů. Většina použitých součástek je z důvodů miniaturizace zařízení v provedení SMD. Výjimku tvoří výkonové prvky a několik součástek, které v klasickém provedení zjednodušily návrh DPS. Použité SMD rezistory a kondenzátory jsou ve velikosti 0805.

Z důvodů malých rozměrů celého zařízení byly téměř všechny součástky použity v SMD provedení. Všechny pasivní prvky jsou použity ve velikosti 0805. Výrobu tohoto zařízení lze provést bez problémů v domácích podmínkách. Nejnáročnějším technickým krokem je osazení obvodu IO4 v pouzdře VSOJ20 a dále osazení řadových konektorů v DPS bez prokovených otvorů. V případě profesionálně vyrobené DPS by byla konstrukce mnohem jednodušší, ovšem cena zařízení by se výrazně zvýšila.

Hotové a oživené zařízení je umístěno v plastové krabici vlastního návrhu a konstrukce. Informační LED diody jsou vyvedeny pomocí konektoru z hlavní DPS a jsou zabudovány v předním panelu krabice.



Obr. 22: Osazená DPS domácí centrály



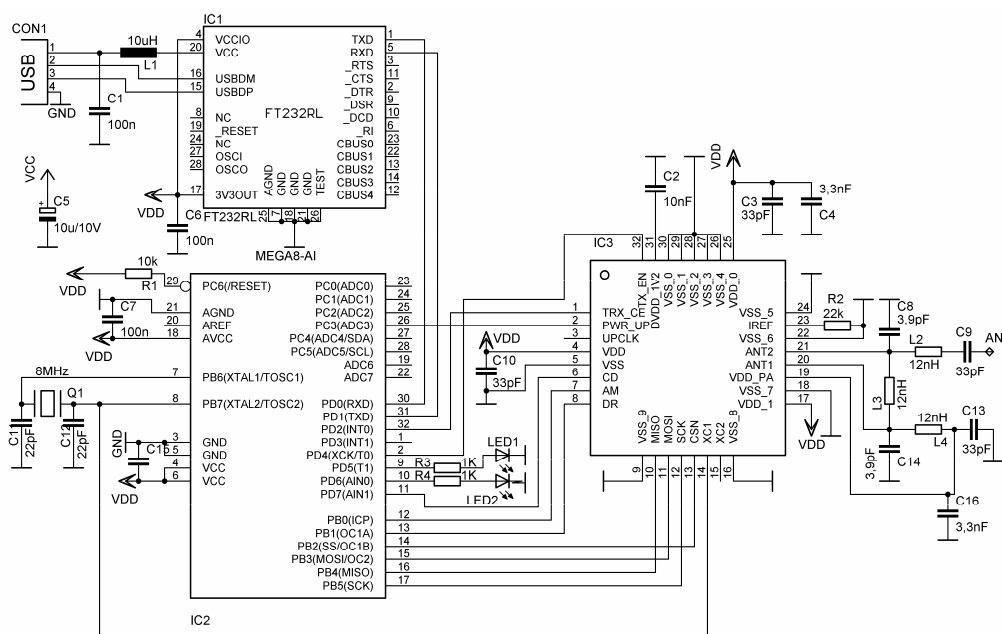
Obr. 23: Hotový oživený modul domácí centrály

4.5 USB komunikátor

Nejmenším a nejjednodušším zařízením systému je USB komunikátor. Tato komponenta má za úkol zprostředkovat počítačovému programu obousměrnou bezdrátovou komunikaci s domácí centrálou a měřicí stanicí. Spolu s obslužným programem může plnit mnoho funkcí jako například odesílání naměřených dat na síť internet, komfortnější konfigurování a monitorování funkcí meteostanice prostřednictvím počítače doma či v terénu nebo aktualizaci řídicích programů.

4.5.1 Popis zapojení

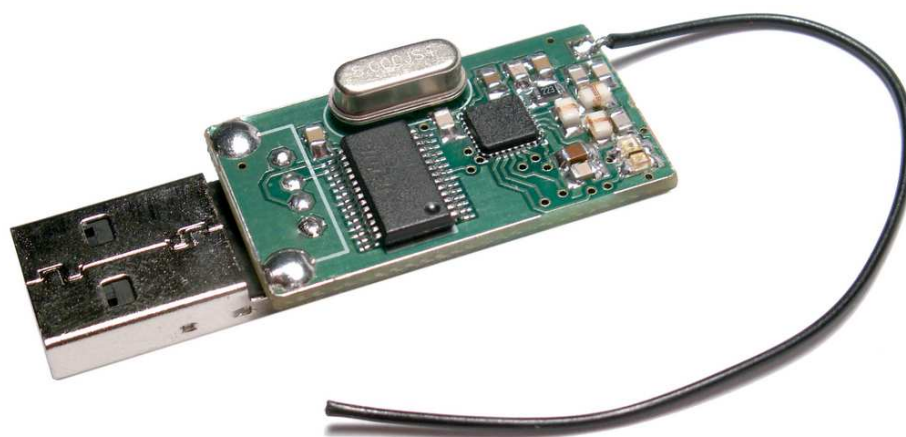
Hlavním prvkem zařízení je řídicí mikrokontrolér ATmega8 zapojený dle doporučení výrobce, který obsluhuje vysokofrekvenční transceiver nRF905. Pro přenos dat do PC byla zvolena nejjednodušší varianta a to použití USB – USART převodníku FT232RL z produkce firmy FTDI. Všechny komponenty potřebné pro chod převodníku jsou přímo integrovány v obvodu. Nabízí také několik velmi užitečných funkcí jako výstupy pro indikační LED diody či integrovaný stabilizátor 3,3 V s proudovým zatížením max. 50 mA, což dostačuje pro naši aplikaci. Díky oddělenému napájení jádra obvodu a vstupně-výstupních portů může být celá aplikace napájena z tohoto interního stabilizátoru bez nutnosti přizpůsobování logických úrovní. Samotný obvod převodníku je pak napájen přímo z USB rozhraní. Pro informační účely jsou v zapojení použity dvě LED diody.



Obr. 24: Schéma zapojení USB komunikátoru

4.5.2 Konstrukce

Zařízení o velikosti vzhledu běžného USB Flash disku je zrealizováno na oboustranné DPS s nepájivou maskou. Vzhledem k co nejmenší velikosti zařízení bylo vyloučeno použití bezdrátového modulu. Byla tedy navržnuta společná DPS, která byla z důvodu konstrukční náročnosti vyrobena na zakázku specializovanou firmou stejně jako u bezdrátového modulu.



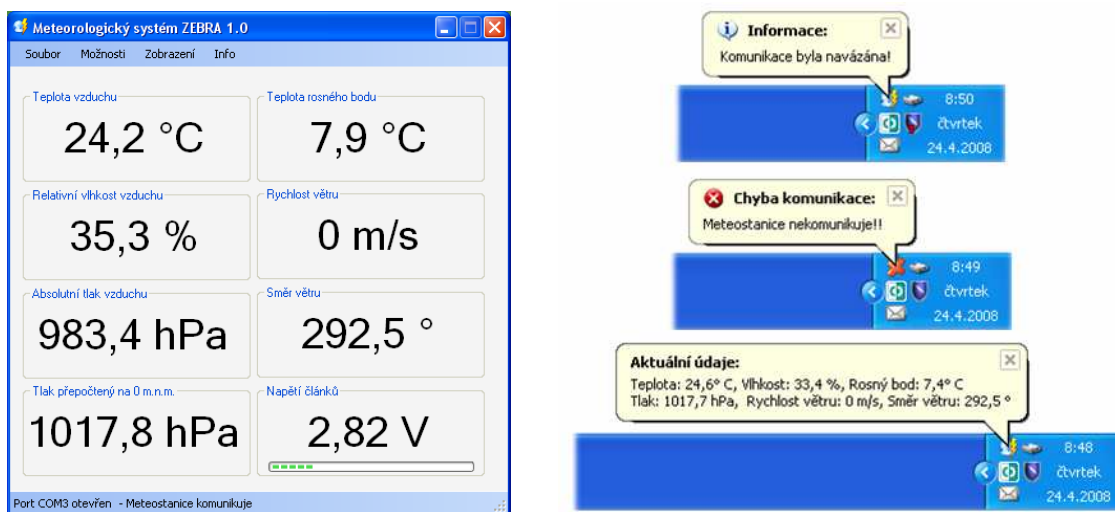
Obr. 25: První verze funkčního USB komunikátoru

5 Software pro PC

Program pro zpracování dat přijatých z USB komunikátoru je vyvíjen v prostředí Microsoft Visual Basic 2008 Express Edition, který je volně dostupný ke stažení z internetu. První verze programu umožňuje zobrazování hodnot všech měřených veličin v hlavním okně nebo v oznamovací oblasti. Program pracuje v operačních systémech Microsoft Windows XP a Vista. Pro chod programu ve Windows XP je nutná instalace rozhraní .NET Framework 3.5.

Po spuštění program kontroluje připojení USB komunikátoru a jeho provozní stav je vypisován ve stavovém panelu. Pro přijetí paketů jsou data převedena do uživatelsky srozumitelného tvaru a následně zobrazena v hlavním okně programu. Po minimalizaci programu, jsou aktuální hodnoty zobrazeny v informačních bublinách v oznamovací oblasti (obr. 26). Toto zobrazení je vyvoláno umístěním kurzoru myši na ikonu programu.

Po přijetí nových dat je resetován časovač, sloužící ke kontrole pravidelné komunikace zařízení. V případě uplynutí stanovené doby je uživatel informován o chybě komunikace. Opětovné navázání komunikace je indikováno v oznamovací oblasti.



Obr. 26: Hlavní okno programu a zobrazování hodnot v oznamovací oblasti

6 Popis funkce meteostanice

Tato kapitola popisuje funkci řídicích programů a vzájemnou komunikaci jednotlivých zařízení. Jelikož jsou všechna zařízení řízena mikrokontroléry, lze jejich funkce upravovat a vylepšovat s postupným vývojem meteostanice.

6.1 *Popis funkce venkovní měřicí stanice*

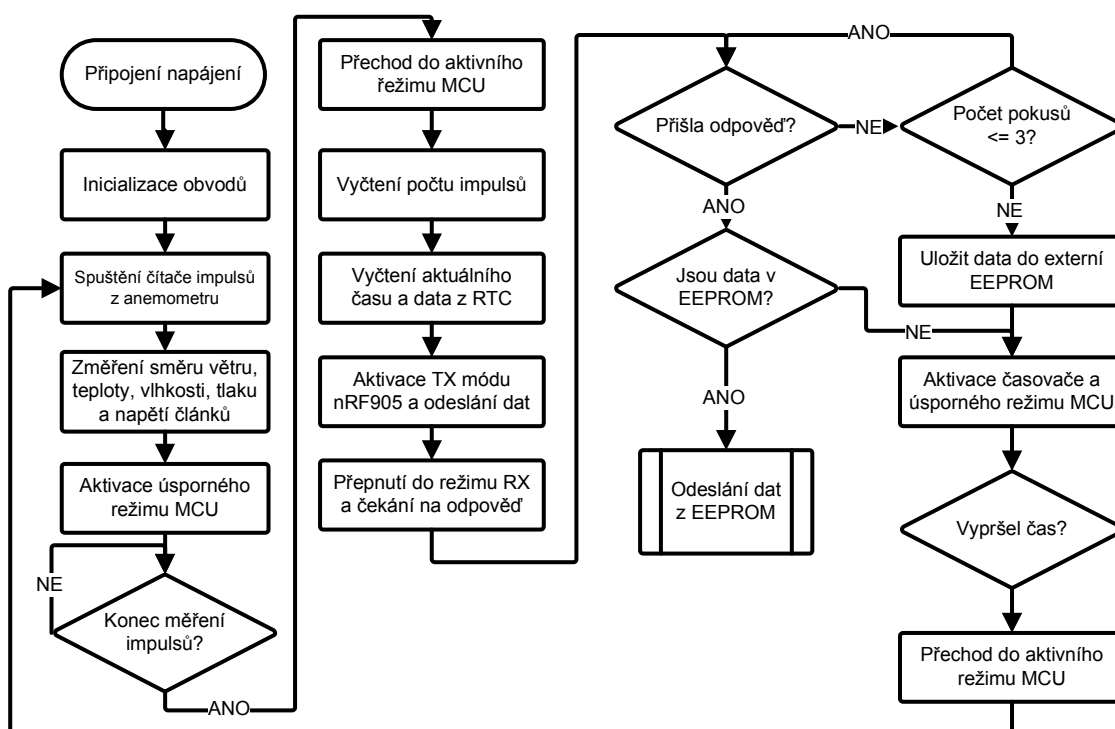
Činnost řídicího programu venkovní měřicí stanice popisuje diagram na obrázku 27. Po připojení napájecího napětí proběhne inicializace periférií mikrokontroléru, bezdrátového modulu a všech měřicích čidel.

Následně program přejde k samotnému měření meteorologických veličin. Prvním krokem je spuštění časovače pro měření intervalu 5 s, během kterého jsou načítány impulsy z anemometru. Následuje zjištění polohy štítu anemometru pomocí čtyř infračervených LED diod. Měření výstupního napětí tlakového čidla, které je přímo úměrné hodnotě atmosférického tlaku je realizováno 10-bitovým A/D převodníkem. Hodnoty teploty a relativní vlhkosti vzduchu jsou vyčteny z čidla prostřednictvím dvou vodičové sběrnice, dle předepsaného protokolu uvedeného v katalogovém listu součástky. Posledním měřením je zjištěna velikost napájecího napětí alkalických baterií. Před tímto měřením je nutné přenastavit zdroj referenčního napětí na interní referenci 2,56 V. V případě měření atmosférického tlaku je naopak nutné referenci změnit na napájecí napětí, které svým poklesem způsobuje také změnu napětí na výstupu čidla. Poměr napětí je tedy stále stejný, což umožňuje přesné měření tlaku nezávisle na hodnotě napájecího napětí. Z hlediska dlouhodobého provozu stanice je energeticky nevýhodné, aby mikrokontrolér čekal na ukončení čítání impulsů z anemometru. Obvod je tedy uveden do stavu snížené spotřeby, kdy pracují pouze obvody čítačů. Po ukončení měření, je přerušením od časovače mikrokontrolér uveden opět do aktivního režimu.

Po změření všech hodnot, je bezdrátový modul aktivován a připraven přijmout data po sběrnici SPI. Následně je modul přepnut do režimu vysílání (TX) a data jsou odeslána. Po uvedení modulu do režimu příjmu (RX) čeká mikrokontrolér po dobu 10ms na příjem potvrzení doručení dat. Spolu s potvrzujícím paketem obdrží stanice také řídicí informace, kterými je možné měnit prodlevu mezi jednotlivými měřeními, číslo kanálu či nastavovat aktuální čas a datum. Po případných změnách jsou tyto hodnoty uloženy v interní paměti EEPROM, odkud jsou vyčítány při inicializaci zařízení.

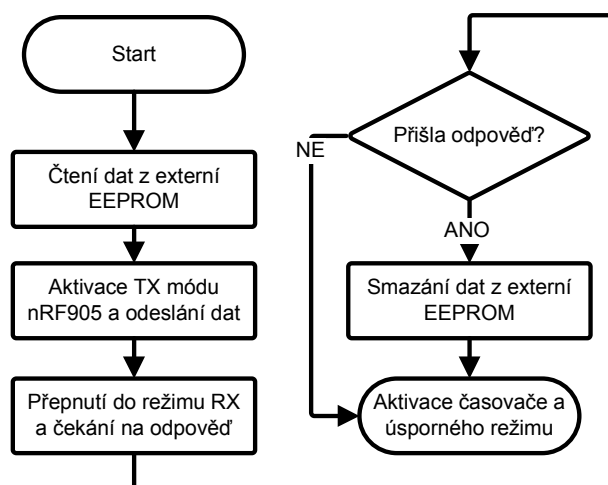
Po úspěšném dokončení přenosu je dle zvolené prodlevy nastaven alarm v RTC obvodu a mikrokontrolér je uveden do úsporného režimu, kde setrvává do okamžiku vnějšího přerušení alarmem. Následně je celý algoritmus měření a odesílání dat opakován.

Zvláštním případem je situace kdy ani po třech pokusech stanice neobdrží potvrzení o přijetí dat. Aktuálně naměřená data jsou pak uložena do externí EEPROM paměti a obvod je poté uveden do úsporného režimu. Po dalším měření se tento postup opakuje. V okamžiku obnovení komunikace přejde stanice do režimu odesílání uložených dat, které je popsáno diagramem na obrázku 28.



Obr. 27: Popis činnosti řídicího programu venkovní stanice

V tomto režimu jsou data z jednotlivých měření postupně vyčítána z paměti a následně odesílána stejným způsobem jako data aktuálně naměřená. Po úspěšném odeslání jsou data jednotlivých měření z paměti vymazána. V případě opětovného selhání komunikace jsou data ponechána v paměti a mikrokontrolér po nastavení alarmu opět přechází do stavu snížené spotřeby. Opětovný pokus o navázání komunikace je prováděn po následujícím měření.



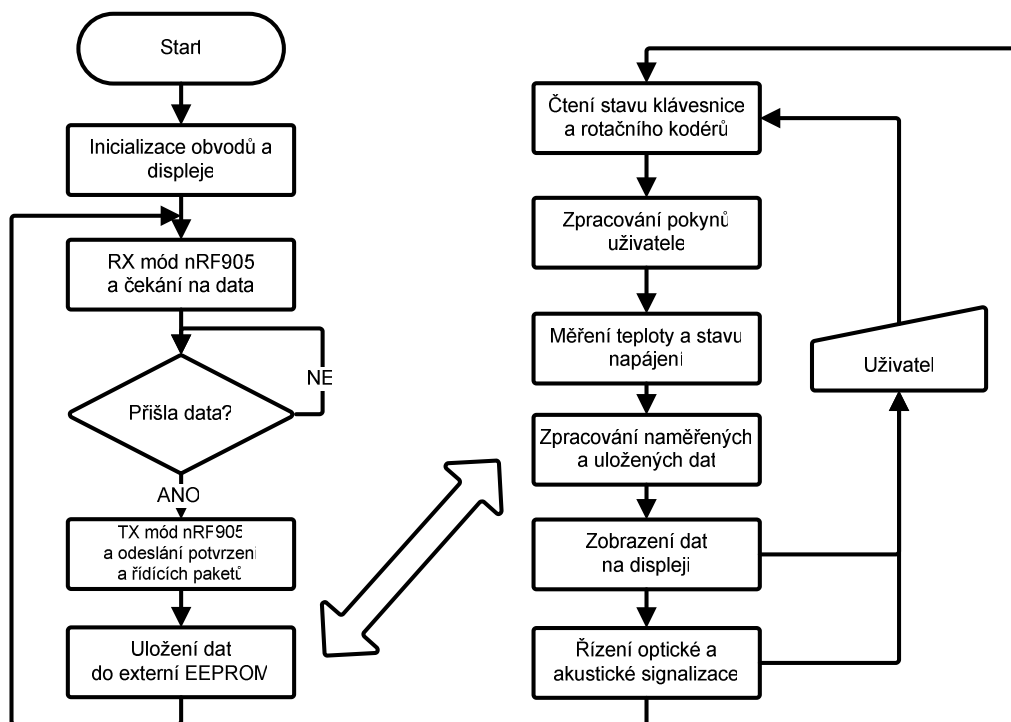
Obr. 28: Popis činnosti programu v režimu odesílání dat z EEPROM

6.2 Popis funkce domácí centrály

Nástěnná domácí centrála je po obvodové i programové stránce nejsložitější ze všech součástí systému. Jeho funkci popisuje diagram na obrázku 29. Zařízení se musí starat o příjem naměřených dat a zároveň zobrazuje zpracovaná data na grafickém displeji dle pokynů uživatele.

Po inicializaci všech zařízení je aktivován přijímací režim bezdrátového modulu, který čeká na příjem dat. V hlavním běhu programu jsou vyčítány stavy tlačítek klávesnice a probíhá zpracovávání impulsů z rotačního kodéru. Tyto uživatelské pokyny jsou spolu s naměřenými daty zpracovány a zobrazeny na displeji. Určité, důležité provozní stavy zařízení jsou indikovány akustickou a optickou signalizací. Dalším zatížením mikrokontroléru je komunikace s teplotním čidlem a RTC obvodem. Obvod dále sleduje stav napájení a velikost napětí vnitřních akumulátorů.

Po příjmu dat vyvolá bezdrátový modul přerušení hlavního programu a data jsou přednostně uložena do paměti. Následuje potvrzení přijetí dat podle stanoveného algoritmu a návrat do hlavního programu.

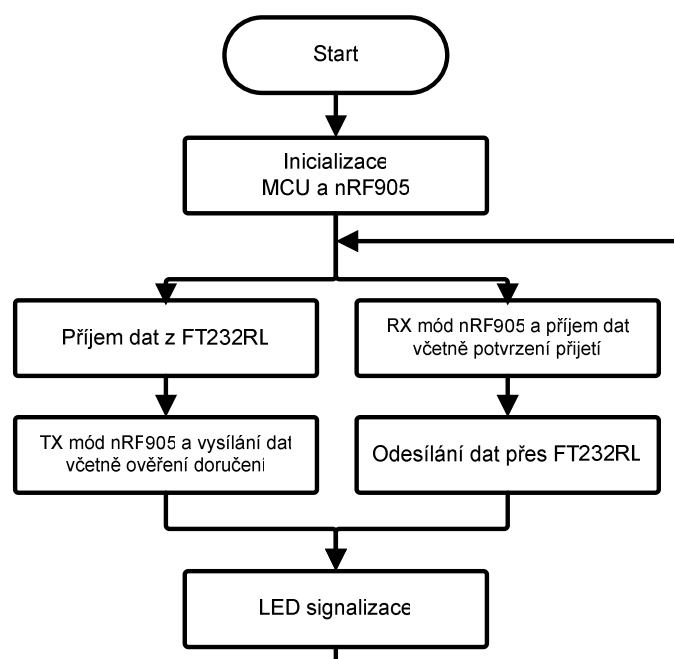


Obr. 29: Popis činnosti řídicího programu domácí centrály

6.3 Popis funkce USB komunikátoru

USB komunikátor je po obvodové i programové stránce nejjednodušším ze všech součástí systému. Jeho funkce spočívá v příjmu dat pomocí nRF905 a následného odesílání prostřednictvím převodníku FT232 do počítače. Tato komunikace funguje i obráceně.

Po inicializaci je obvod nRF905 přepnut do režimu příjmu a čeká na data. Přijatá data jsou převedena na vhodný tvar a odeslána sériovou linkou do obvodu FT232, který zprostředkuje přenos dat do PC. Příjem dat ze sériové linky vyvolá přerušení a v případě nečinnosti obvodu jsou data zpracována a následně odeslána do obvodu nRF905. V případě současného příjmu dat z obou obvodů mikrokontrolér upřednostňuje dokončení příjmu dat z obvodu nRF905 a data ze sériové linky jsou mezitím načítána do zásobníku.



Obr. 30: Popis činnosti řídicího programu USB komunikátoru

7 Závěr

Cílem této práce bylo navrhnout malou amatérskou meteostanici a ověřit možnosti bezdrátového přenosu naměřených dat. Prvním krokem bylo sestavení vývojového modulu samotné meteostanice a otestování několika dostupných čidel pro měření základních meteorologických veličin. Po výběru vhodných komponent byl vývoj směřován na bezdrátový přenos, který je klíčovou vlastností celého zařízení. Zvolená varianta s obvodem nRF905 se ukázala jako velmi výhodná. Bylo sestaveno několik bezdrátových modulů se kterými byl vyvíjen a testován algoritmus pro spolehlivý přenos dat při současném provozu několika zařízení. Po ověření všech hlavních funkcí, splňujících mou představu, byl sestaven funkční prototyp venkovní měřicí stanice. Současně byl navržen USB komunikátor pro přenos dat do PC. Pro ověření funkce meteostanice a komunikátoru vznikla první verze programu pro PC, který zobrazoval příchozí naměřená data. Nejsložitějším úkolem byl návrh a následná konstrukce domácí nástěnné centrály, která obsahuje největší počet elektronických prvků. Na první verzi vývojového modulu centrály byly prověřovány možnosti grafického displeje, jehož řízení patří k složitějším částem programu. Po ověření všech hlavních předpokladů byl navržen a zkonstruován prototyp tohoto zařízení již s implementovaným obvodem pro nabíjení a ochranu napájecích akumulátorů. Následný vývoj již pokračuje jen na úrovni řídicích programů všech tří zařízení.

V současné, používané verzi programu je vyladěno měření hodnot v meteostanici a následné odesílání dat dalším zařízením. Domácí centrála tyto hodnoty ukládá, zpracovává a zobrazuje na displeji (viz obr. 10). Dále je vyvíjen vhodný formát a systém ukládání dat do paměti. Další současně testovanou funkcí je vykreslování grafů na displeji. Poslední verze programu centrály také zahrnuje drobné, ale důležité funkce jako například indikaci provozních stavů, indikace nabíjení a stavu akumulátorů apod. Aktuální funkční verze programu pro PC je popsána v kapitole 5. Nová verze programu, na které se pracuje, již bude umožňovat odesílání naměřených dat na internet prostřednictvím FTP protokolu. Zatím byly prováděny první pokusy s odesíláním dat a je nutné ošetřit všechny možné chybové stavy. Po odladění nové verze programu je plánováno uvedení meteostanice do trvalého provozu a zobrazování aktuálních hodnot na obecních www stránkách.

Závěrem bych chtěl zmínit, že během vývoje došlo k několika drobným úpravám zařízení, přesto však bylo dosaženo všech hlavních požadavků na technické možnosti celého systému. Splnění ostatních požadovaných funkcí je již záležitostí řídicích programů.

8 Seznam použitých zdrojů

- [1] Atmel Corp.: výrobce polovodičových součástek [cit. 12-5-2009]. Dostupné na WWW: < <http://www.atmel.com/>>
- [2] Freescale Semiconductor: výrobce polovod. součástek [cit. 12-5-2009]. Dostupné na WWW: < <http://www.freescale.com/>>
- [3] Aurel: výroba VF komponent [cit. 12-5-2009]. Dostupné na WWW: < <http://www.aurelwireless.com/>>
- [4] Katalogový list výrobce Nordic Semiconductor [cit. 12-5-2009]. Dostupné na WWW: <http://www.nordicsemi.com/index_popup.cfm?obj=misc&act=download&pro=83&prop=615>
- [5] Katalogový list výrobce Sensirion. [cit. 12-5-2009]. Dostupné na WWW: <http://www.sensirion.ch/en/pdf/product_information/Datasheet-humidity-sensor-SHT7x.pdf>
- [6] Katalogový list výrobce Maxim/Dallas Semiconductor. [cit. 12-5-2009]. Dostupné na WWW: <www.maxim-ic.com/quick_view2.cfm/qv_pk/2815>
- [7] Katalogový list výrobce Freescale Semiconductor. [cit. 12-5-2009]. Dostupné na WWW: < www.freescale.com/files/sensors/doc/data_sheet/MP3H6115A.pdf >
- [8] Katalogový list výrobce Epson. [cit. 12-5-2009]. Dostupné na WWW: <http://www.epson-electronics.de/upload/PresidioIndustries/product/QuartzCrystalDevices/RealTimeClocks/SerialInterface/RTC-8564JE_NB_701083940_data.pdf>
- [9] Všeobecné oprávnění č. VO-R/10/03.2007-4 k využívání rádiových kmitočtů a k provozování zařízení krátkého dosahu, ČTÚ. [cit. 12-5-2009]. Dostupné na WWW: < http://www.ctu.cz/1/download/OOP/Rok_2007/VO_R_10_03_2007_4.pdf>
- [10] Farnell: Distributor elektronických součástek. [cit. 12-5-2009]. Dostupné na WWW: <<http://cz.farnell.com/>>
- [11] Miloš Zajíc: Elektronické stavebnice a moduly. [cit. 12-5-2009]. Dostupné na WWW: < <http://www.zajic.cz/>>
- [12] VÁCLAVÍK, Radek. Bezdrátový modul pro pásma 433 a 868Mhz. PE05/2005 A radio
- [13] VÁCLAVÍK, Radek. Postavte si bezdrátovou meteostanici. PE09/2006 A radio

9 Seznam obrázků

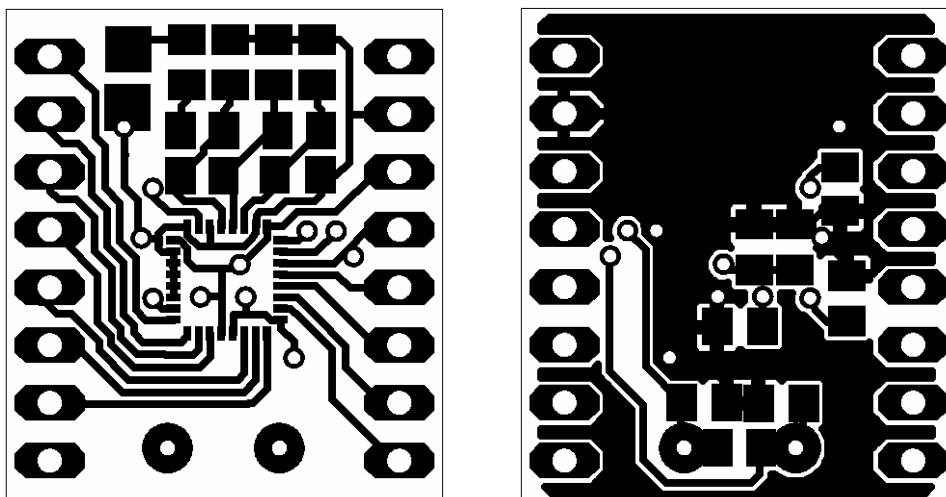
Obr. 1: Vizuální a systematický návrh celého zařízení	9
Obr. 2: Blokové schéma měřicí stanice	10
Obr. 3: Blokové schéma domácí centrály.....	10
Obr. 4: Blokové schéma USB komunikátoru	11
Obr. 5: Vysílací a přijímací modul Aurel 433MHz.....	13
Obr. 6: Blokové schéma obvodu nRF905 a jeho provedení v pouzdře QFN32.....	14
Obr. 7: Vývodová a bezvývodová varianta čidla SHT7xx a jeho blokové schéma	18
Obr. 8: Vnitřní uspořádání čidla MP3H6115A a závislost výstupního napětí na tlaku	19
Obr. 9: Stínítko pro 4-bitový absolutní snímač polohy a příklad miskového anemometru	20
Obr. 10: Grafický displej WG24064-YYH	22
Obr. 11: Hotový bezdrátový modul a označení jeho vývodů.....	23
Obr. 12: Schéma zapojení bezdrátového modulu s nRF905	24
Obr. 13: Použitý anemometr a upravená elektronika	25
Obr. 14: Schéma zapojení upraveného anemometru	25
Obr. 15: Koncepce venkovní měřicí stanice.....	26
Obr. 16: Schéma zapojení měřicí stanice	27
Obr. 17: Finální provedení elektronické části měřicí stanice a její zabudování v krabici	28
Obr. 18: Vizuální návrh domácí nástěnné centrály	28
Obr. 19: Schéma zapojení domácí centrály – analogová část	30
Obr. 20: Schéma zapojení domácí centrály – digitální část	31
Obr. 21: Schéma zapojení klávesnice.....	31
Obr. 22: Osazená DPS domácí centrály	32
Obr. 23: Hotový oživený modul domácí centrály	33
Obr. 24: Schéma zapojení USB komunikátoru	34
Obr. 25: První verze funkčního USB komunikátoru	34
Obr. 26: Hlavní okno programu a zobrazování hodnot v oznamovací oblasti.....	35

Obr. 27: Popis činnosti řídicího programu venkovní stanice	37
Obr. 28: Popis činnosti programu v režimu odesílání dat z EEPROM	38
Obr. 29: Popis činnosti řídicího programu domácí centrály.....	39
Obr. 30: Popis činnosti řídicího programu USB komunikátoru	40

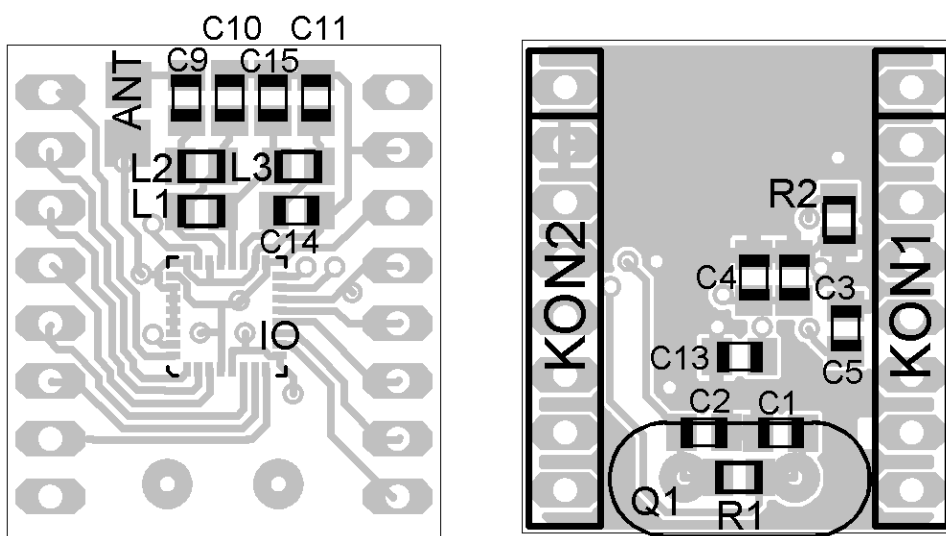
10 Seznam tabulek

Tab. 1: Porovnání obvodů z nabídky firmy Nordic Semiconductor.....	14
Tab. 2: Porovnání nejdůležitějších parametrů vhodných mikrokontrolérů	16
Tab. 3: Porovnání nejdůležitějších parametrů použitých mikrokontrolérů	17
Tab. 4: Porovnání parametrů snímačů teploty.....	17
Tab. 5: Porovnání parametrů snímačů relativní vlhkosti.....	18
Tab. 6: Porovnání parametrů tlakových snímačů	19
Tab. 7: Porovnání nejdůležitějších parametrů vhodných RTC obvodů.....	21
Tab. 8: Významy vývodů bezdrátového modulu.....	24

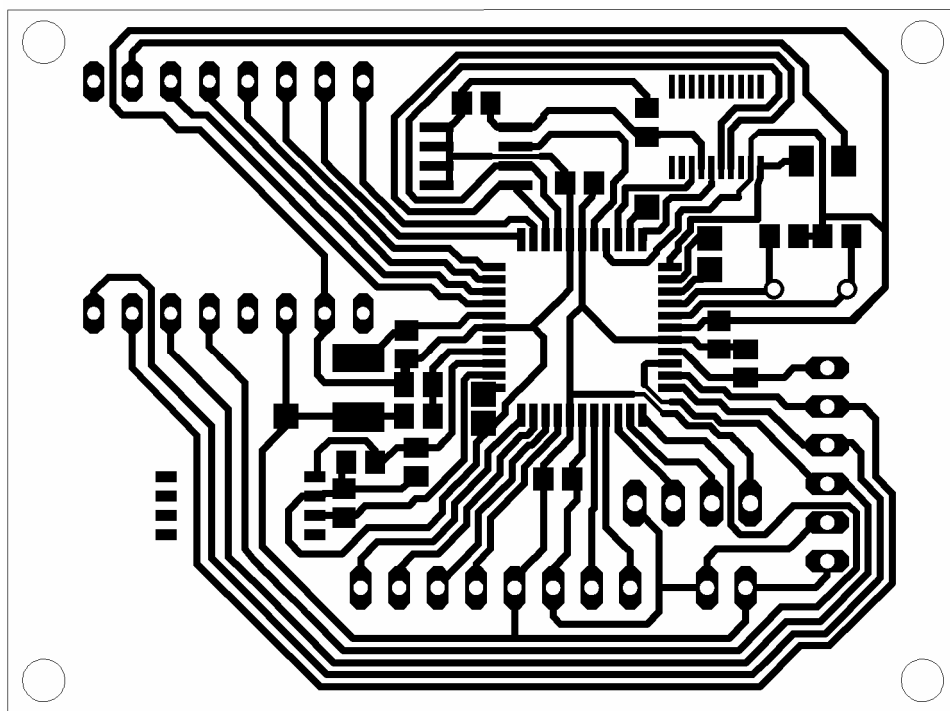
11 Přílohy



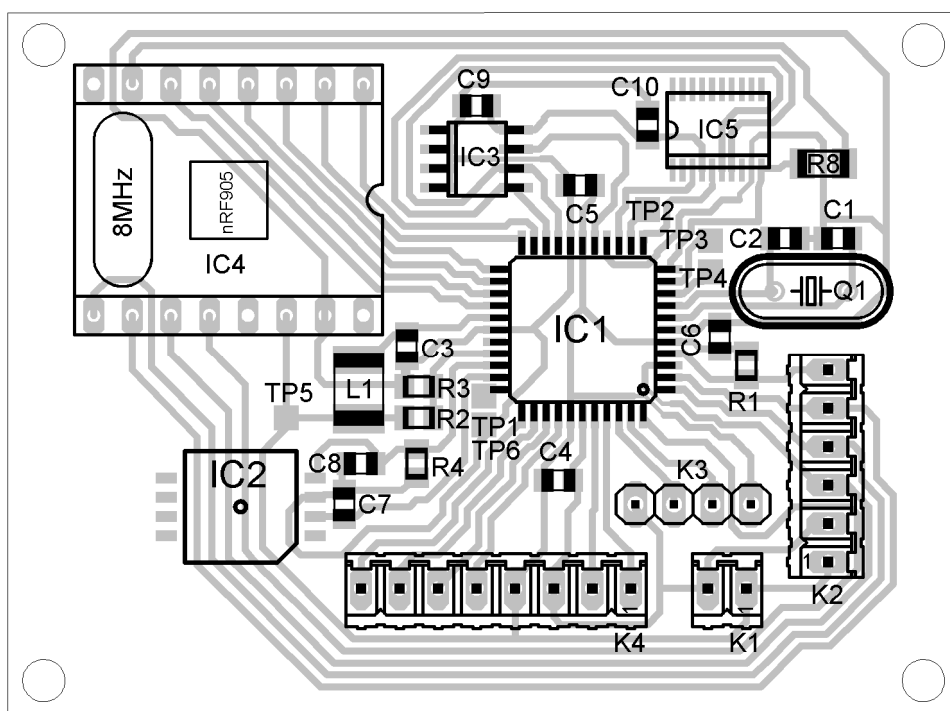
Obr. P 1: DPS bezdrátového modulu (měřítko 3:1) – strana A, strana B



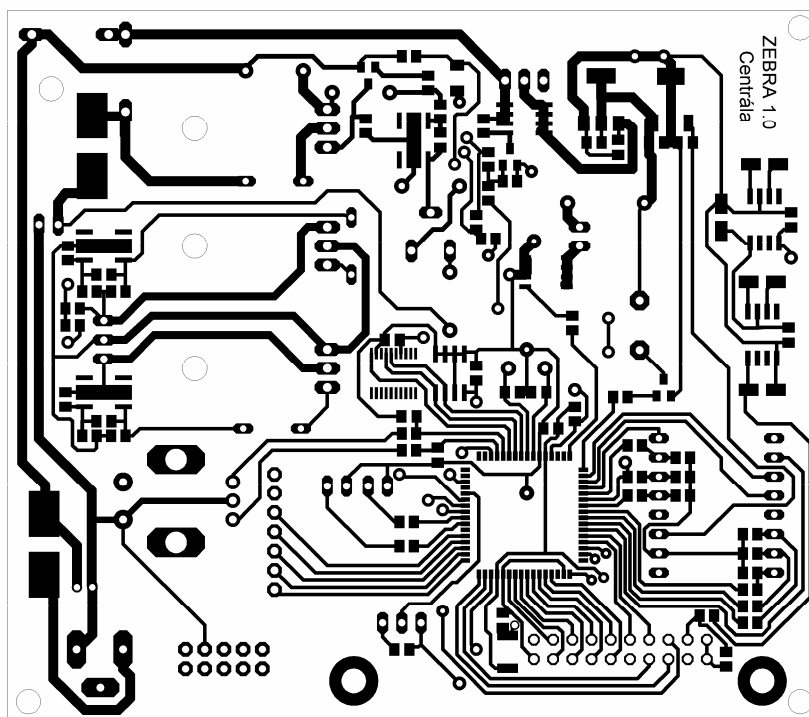
Obr. P 2: Osazovací plán bezdrátového modulu (měřítko 3:1) – strana A, strana B



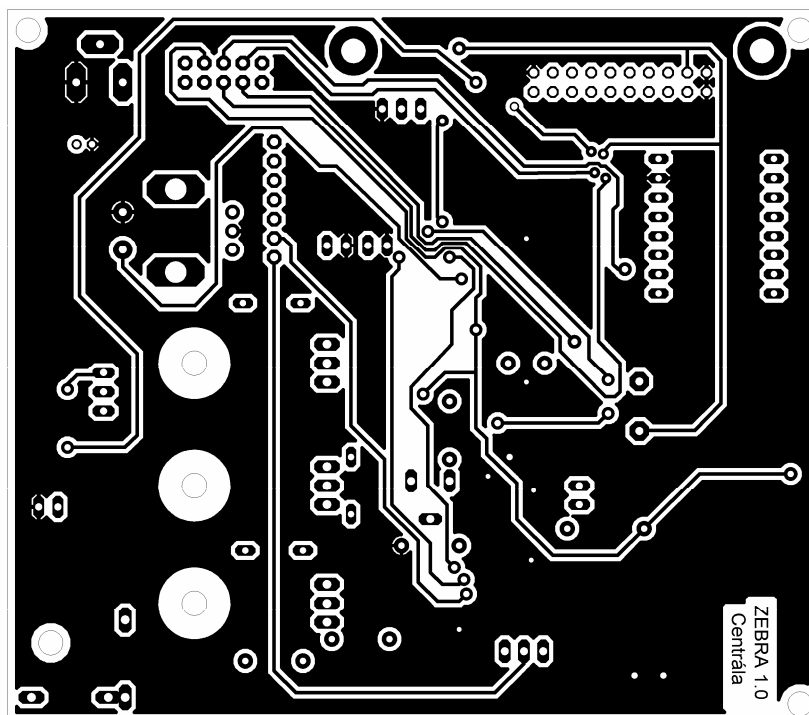
Obr. P 3: DPS venkovní měřicí stanice (měřítko 2:1)



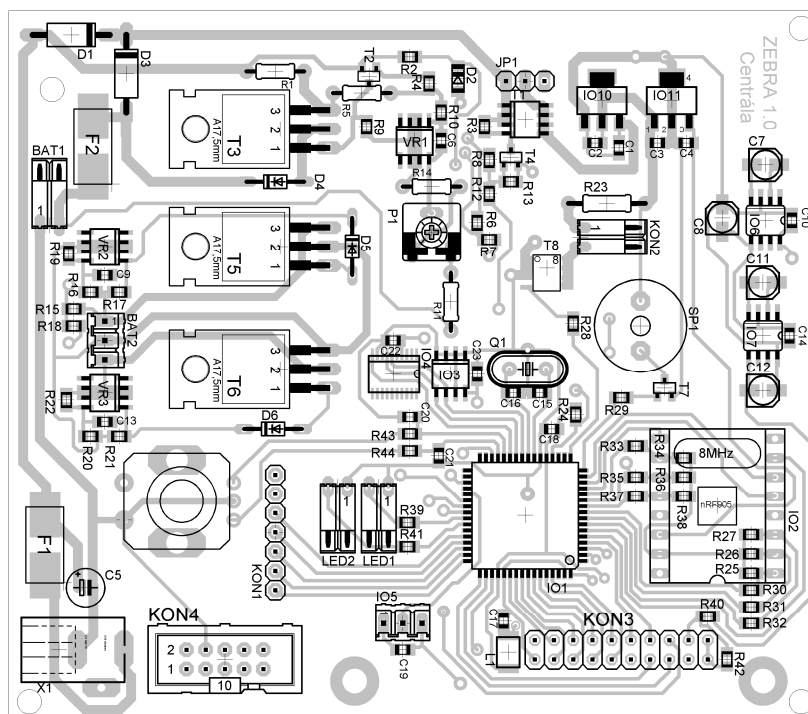
Obr. P 4: Osazovací plán venkovní měřicí stanice (měřítko 2:1)



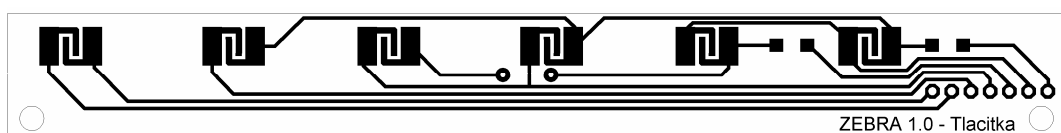
Obr. P 5: DPS domácí centrály (měřítko 1:1) – strana A



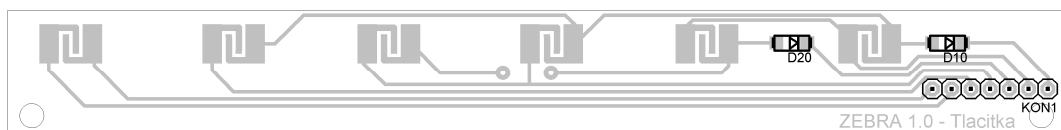
Obr. P 6: DPS domácí centrály (měřítko 1:1) – strana B



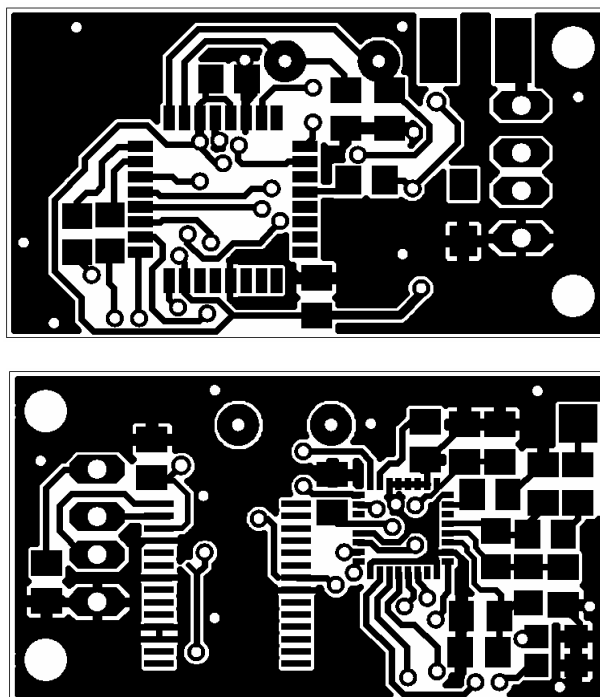
Obr. P 7: Osazovací plán domácí centrály (měřítko 1:1)



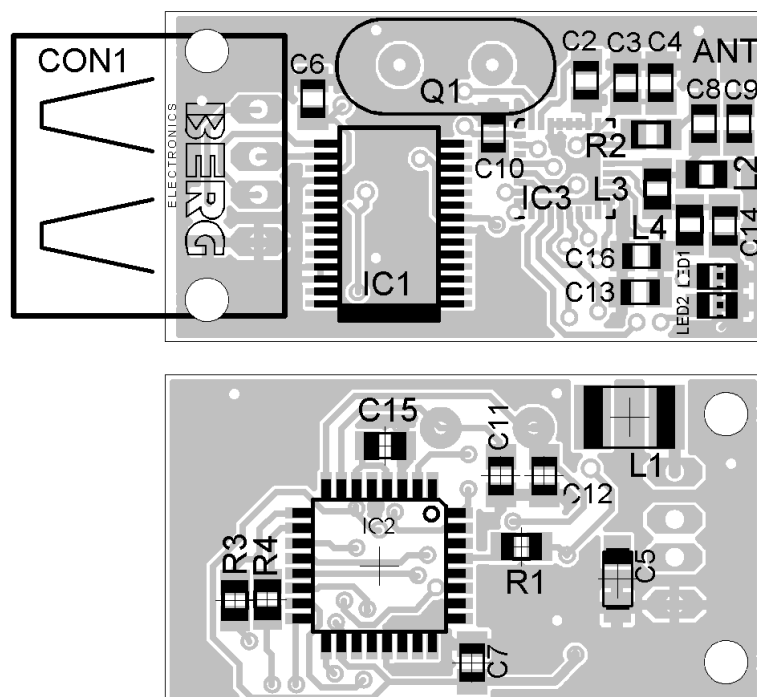
Obr. P 8: DPS klávesnice pro domácí centrálu (měřítko 1:1)



Obr. P 9: Osazovací plán klávesnice pro domácí centrálu (měřítko 1:1)



Obr. P 10: DPS USB komunikátoru (měřítko 2,5:1) – strana A, strana B



Obr. P 11: Osazovací plán USB komunikátoru (měřítko 2,5:1) – strana A, strana B