

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH TECHNOLOGIÍ
ÚSTAV TELEKOMUNIKACÍ

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION
DEPARTMENT OF TELECOMMUNICATIONS

DOMÁCÍ METEOSTANICE VYUŽÍVAJÍCÍ RASPBERRY PI

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

RADEK ŠPRINGER

BRNO 2014



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH
TECHNOLOGIÍ

ÚSTAV TELEKOMUNIKACÍ

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION
DEPARTMENT OF TELECOMMUNICATIONS

DOMÁCÍ METEOSTANICE VYUŽÍVAJÍCÍ RASPBERRY PI

HOME WEATHER STATION BASED ON RASPBERRY PI

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

RADEK ŠPRINGER

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. ONDŘEJ KRAJSA, Ph.D.

BRNO 2014



VYSOKÉ UČENÍ
TECHNICKÉ V BRNĚ

Fakulta elektrotechniky
a komunikačních technologií

Ústav telekomunikací

Bakalářská práce

bakalářský studijní obor
Teleinformatika

Student: Radek Špringer

ID: 146971

Ročník: 3

Akademický rok: 2013/2014

NÁZEV TÉMATU:

Domácí meteostanice využívající Raspberry Pi

POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

S využitím platformy Raspberry-Pi navrhnete a realizujete domácí meteostanici. Stanice bude zaznamenávat základní údaje jako teplota, tlak, vlhkost. Naměřené údaje se zobrazovat na webové stránce. K meteostanici vytvořte bezdrátové čidlo s měřením teploty/tlaku/vlhkosti.

DOPORUČENÁ LITERATURA:

[1] GIRLING, Gary. Raspberry Pi: a practical guide to the revolutionary small computer. Sparkford: Haynes Publishing, 2013, 169 s. ISBN 978-0-85733-295-0.

[2] HORAN, Brendan. Practical Raspberry Pi. New York: Apress, 2013, xxxii, 239 s. ISBN 978-1-4302-4971-9.

Termín zadání: 10.2.2014

Termín odevzdání: 4.6.2014

Vedoucí práce: Ing. Ondřej Krajsa, Ph.D.

Konzultanti bakalářské práce:

doc. Ing. Jiří Mišurec, 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 části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č.40/2009 Sb.

ABSTRAKT

Cílem této bakalářské práce je navržení a vytvoření domácí meteostanice s využitím platformy Raspberry Pi. Meteostanice je členěna na výpočetní a senzorovou část. Senzorová část meteostanice je realizována bezdrátovým modulem, který měří teplotu, tlak, osvětlení a vlhkost. Naměřené hodnoty jsou odesílány do výpočetní části meteostanice, kde jsou zpracovány Raspberry Pi. Zpracované hodnoty jsou ukládány do MySQL databáze na externím webovém serveru. Na webovém serveru jsou uživatelům zobrazovány aktuální naměřené hodnoty, grafické průběhy meteorologických údajů s možností volby zobrazení průběhu pro zvolený den v roce.

KLÍČOVÁ SLOVA

Raspberry Pi, Arduino Nano, meteostanice, DHT11, DHT22, BMP1810, Dallas 18b20, BH1750, nRF24L01

ABSTRACT

The aim of this bachelor thesis is to design and build a home weather station using the platform Raspberry Pi. The weather station is divided into computing and sensor part. The sensor part of the weather station is implemented through a wireless module, which measures the temperature, pressure, brightness and moisture. The measured values are sent to the weather station computer, where they are processed by Raspberry Pi. The processed values are then stored in a MySQL database on an external web server. On the web server, the user is shown the actually measured values, graphical waveforms of meteorological data with the option to display the course during the selected day of a year.

KEYWORDS

Raspberry Pi, Arduino Nano, weather station, DHT11, DHT22, BMP1810, Dallas 18b20, BH1750, nRF24L01

ŠPRINGER, Radek *Domácí meteostanice využívající Raspberry Pi*: bakalářská práce. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, Ústav telekomunikací, 2014. 52 s. Vedoucí práce byl Ing. Ondřej Krajsa, Ph.D.

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že svou bakalářskou práci na téma „Domácí meteostanice využívající Raspberry Pi“ jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou všechny citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce.

Jako autor uvedené 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/nebo majetkových a jsem si plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon), ve znění pozdějších předpisů, včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č. 40/2009 Sb.

Brno

.....

(podpis autora)

PODĚKOVÁNÍ

Rád bych poděkoval vedoucímu bakalářské práce panu Ing. Ondřeji Krajsovi, Ph.D. za odborné vedení, konzultace, trpělivost a podnětné návrhy k práci.

Brno

.....

(podpis autora)

OBSAH

Úvod	10
1 Meteorologie	11
1.1 Teplota vzduchu	11
1.1.1 Denní amplituda teplot	11
1.2 Tlak vzduchu	12
1.3 Vlhkost vzduchu	13
1.4 Rosný bod	13
1.5 Sluneční svit	13
1.6 Domácí meteostanice	13
1.7 Domácí meteostanice s Raspberry Pi	14
1.8 Webové služby s předpovědí počasí	15
2 Hardware	16
2.1 Rozhraní GPIO	17
2.2 Arduino	18
2.3 I2C sběrnice	19
2.4 SPI sběrnice	20
2.5 Bezdrátová stanice	20
2.6 Rozšiřující deska k Raspberry Pi	21
2.7 Bezdrátový modul nRF24L01	21
2.8 Senzory	21
2.8.1 Senzor Bosch BMP180	22
2.8.2 Senzor DHT11 a DHT22	23
2.8.3 Senzor Dallas 18b20	24
2.8.4 Senzor BH1750	24
3 Software	25
3.1 Raspberry Pi	25
3.1.1 Instalace systému	25
3.1.2 Nastavení systému	26
3.1.3 Programová část	27
3.1.4 Komunikace s bezdrátovou stanicí	29
3.2 Arduino	30
3.3 Vytvoření a nastavení MySQL databáze	30
3.4 Webová aplikace	31
3.4.1 Veličiny	31

3.4.2	Statistika	32
3.4.3	Grafy	32
4	Výroba meteostanice, testování a celkový cenový rozpočet	33
4.1	Výroba meteostanice a testování	33
4.2	Celkový cenový rozpočet	35
5	Závěr	37
	Literatura	38
	Seznam symbolů, veličin a zkratk	39
	Seznam příloh	40
A	Bezdrátová část	41
B	Rozšiřující deska k Raspberry Pi	45
C	Screenshoty webové aplikace	48
D	Shrnutí instalace meteostanice	51
E	Obsah CD	52

SEZNAM OBRÁZKŮ

1.1	Příklady teplotních stupnic.	12
2.1	Raspberry Pi Model B.	16
2.2	Rozhraní GPIO.	18
2.3	Arduino Nano.	19
2.4	Bezdrátový modul nRF24L01.	22
2.5	Blokový model meteostanice.	22
2.6	Senzor Bosch BMP180.	23
2.7	Senzor DHT11.	24
2.8	Senzor Dallas 18b20.	24
2.9	Senzor BH1750.	24
3.1	Program Win32 Disk Imager.	26
3.2	Menu pro základní konfiguraci systému.	26
3.3	Schéma komunikace mezi Raspberry Pi a Arduinem.	29
3.4	Architektura webové aplikace.	31
4.1	Blokové schéma celé soustavy meteostanice.	35
A.1	Předloha desky plošných spojů spodní strana.	41
A.2	Předloha desky plošných spojů vrchní strana.	41
A.3	Osazovací plán spodní strany desky plošných spojů.	42
A.4	Osazovací plán vrchní strany desky plošných spojů.	42
A.5	Schéma zapojení bezdrátové části meteostanice.	43
B.1	Předloha desky plošných spojů spodní strana.	45
B.2	Předloha desky plošných spojů vrchní strana.	45
B.3	Osazovací plán spodní strany desky plošných spojů.	46
B.4	Osazovací plán vrchní strany desky plošných spojů.	46
B.5	Schéma zapojení rozšiřující desky k Raspberry Pi.	47
C.1	Screenshot hlavní stránky webové aplikace s grafickým průběhem posledních dvaceti naměřených hodnot pro teplotní senzory.	48
C.2	Screenshot stránky s denními průměrnými hodinovými hodnotami pro senzor tlaku.	49
C.3	Screenshot stránky s měsíčními statistikami, které zobrazují minimální a maximální tlak přepočtený na hladinu moře pro každý den v měsíci.	50

SEZNAM TABULEK

2.1	Porovnání modelů Raspberry Pi	17
4.1	Celkový cenový rozpočet pro výrobu meteostanice.	36
4.2	Cenový rozpočet pro bezdrátovou část.	36
A.1	Seznam součástí pro bezdrátovou část.	44
B.1	Seznam součástí pro rozšiřující desku k Raspberry Pi.	47

ÚVOD

V současné době vlastní téměř každá česká domácnost digitální meteostanici, která dokáže přinejmenším změřit venkovní/vnitřní teplotu nebo zobrazit minimální a maximální denní teplotu. Takovéto jednoduché meteostanice se dnes nachází na každém kroku a povětšinou jsou již součástí jiných domácích zařízení, které s meteorologií nemají nic společného, např. hodiny, budíky. Takovéto meteostanice jsou dnes z trhu vytlačovány modernějšími stanicemi osazenými senzory na měření vlhkosti, ale i tlaku. Pomocí těchto senzorů můžeme daleko přesněji předpovídat budoucí prognózu počasí, než tomu bylo u starších meteostanic, kde tlakové čidlo chybělo. Díky masivní výrobě těchto domácích meteostanic se staly cenově dostupné pro většinu českých domácností.

Cílem bakalářské práce je navrhnout a vytvořit domácí meteostanici využívající jednodeskový počítač Raspberry Pi, která měří základní meteorologické hodnoty v pravidelných časových intervalech. Tato práce je členěna na část teoretickou a praktickou. Teoretická část je soustředěna na meteorologii a její základní údaje a vymezuje pojem domácí meteostanice. Praktická část je zaměřena na hardware, software meteostanice, postupnou realizaci a její celkové cenové náklady.

Meteostanice obsahuje bezdrátový modul s měřením teploty, tlaku a vlhkosti. Naměřené hodnoty bezdrátovým modulem jsou odeslány do Raspberry Pi, které je hlavní řídicí jednotkou meteostanice. V Raspberry Pi se naměřené hodnoty upravují do vhodných formátů a posléze jsou uloženy do MySQL databáze na vzdáleném webovém serveru. Na hlavní stránce webové aplikace jsou zobrazovány aktuální naměřené údaje, grafické průběhy aktuálních hodnot, průběhy denních průměrných hodinových hodnot a měsíční grafická statistika minimálních a maximálních hodnot pro daný senzor.

1 METEOROLOGIE

Meteorologie je věda o zemské atmosféře, o jejím složení, stavbě, vlastnostech, fyzikálních dějích a jevech v ní probíhajících. Počátky pozorování dějů v atmosféře nebyly nijak organizovány a většinou se vztahovaly na stručné zápisy o průběhu počasí daného místa jen za života pozorovatele. Aby děje a jevy probíhající v zemské atmosféře bylo možné sledovat a toto sledování a měření bylo použitelné a reprezentativní, byly za tímto účelem zřizovány meteorologické stanice. Meteorologická stanice je místo, kde se podle dohodnutých mezinárodních nebo vnitrostátních postupů konají meteorologická pozorování, při kterých se získávají údaje o jednom nebo několika meteorologických prvcích.

Počasí a podnebí patří k důležitým složkám přírodního a životního prostředí. Počasí (okamžitý stav atmosféry na určitém místě a čase) je ze všech jeho složek nejproměnlivější. Podnebí (dlouholetý režim počasí na určitém místě) je ze všech přírodních složek nejvýznamnější. Počasí a podnebí člověka neustále obklopují. V různé míře působily a působí na lidskou činnost i hospodářské poměry států a oblastí.

Zatímco podnebí ovlivňuje využitelnost krajiny, druh hospodářství a způsob života lidí, počasí vstupuje každodenně do jejich rozhodování, pocitů, usměrňuje jejich chování, podporuje jejich úsilí, nebo komplikuje jejich plány, protože do značné míry spolurozhoduje o výsledcích výroby, funkčnosti dopravy i o využití volného času.[1]

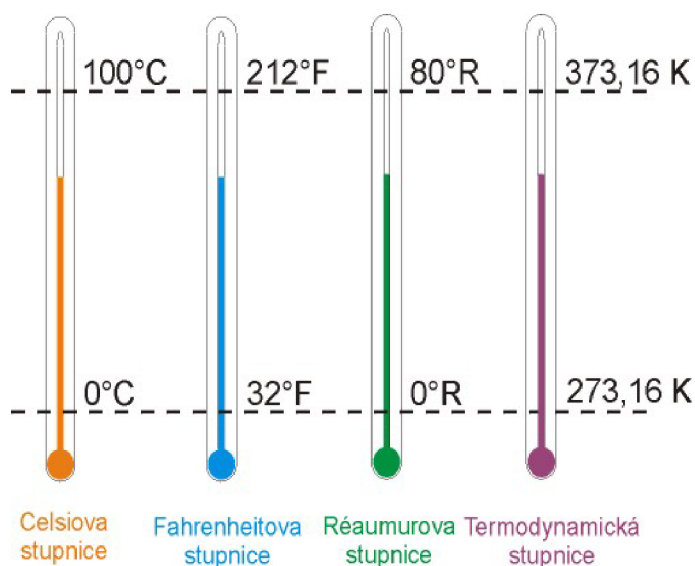
1.1 Teplota vzduchu

Teplotou vzduchu se v meteorologii a klimatologii rozumí jeho teplota v zastíněném prostředí ve výšce 2 m nad zemským povrchem, změřená v meteorologické budce. Dále se ještě zjišťuje přízemní minimální teplota vzduchu, která se měří v 5 cm nad zemským povrchem. Při zemském povrchu je obrovský vertikální teplotní gradient, díky němuž může rozdíl mezi oběma teplotami dosáhnout až 40 °C. Nejvyšší hodnoty teploty vzduchu zaznamenáváme přibližně kolem 14. hodiny. Minimální teploty vzduchu jsou zaznamenávány 1 hodinu před východem Slunce. Teplotu lze měřit na různých teplotních stupnicích, viz obrázek 1.1. V České republice nejčastěji využíváme Celsiovu teplotní stupnici.[3]

1.1.1 Denní amplituda teplot

Je rozdíl mezi minimální a maximální teplotou a závisí na planetárních i regionálních faktorech. Hodnota amplitudy je řízena:

- **charakterem počasí:** při radičním typu počasí (tj. malá oblačnost, malá rychlost větru) nabývá amplituda větších hodnot, naopak při advekčním typu (tj. radiční vlivy jsou překryty horizontálním přílivem vzduchu, je velká oblačnost) nabývá amplituda hodnot menších,
- **ročním obdobím:** teplotu ovlivňuje směr ohřívání vzduchu,
- **zeměpisnou šířkou:** pro rovníkové klima je denní amplituda velice malá, směrem od rovníku se zvyšuje a v oblastech obratníků nabývá extrémů, od obratníků k pólům pak klesá.



Obr. 1.1: Příklady teplotních stupnic.

1.2 Tlak vzduchu

Tlak vzduchu (atmosférický tlak) je síla, která působí v daném místě atmosféry kolmo na libovolně orientovanou plochu jednotkové velikosti (1 m^2), je vyvolán tíhou vzduchového sloupce sahajícího od hladiny, ve které se tlak zjišťuje až k horní hranici atmosféry. Tlak vzduchu se měří v pascálech (Pa) nebo jejich násobcích, např. hektopascálech ($1 \text{ hPa} = 100 \text{ Pa}$). Na velikost atmosférického tlaku má vliv teplota vzduchu, obsah vodní páry v atmosféře, nadmořská výška a zeměpisná šířka. Pro vzájemné porovnávání se používá tlak redukovaný na hladinu moře. Tento tlak je průměrně $1013,25 \text{ hPa}$ (tzv. normální atmosférický tlak).[4]

1.3 Vlhkost vzduchu

Vlhkost vzduchu je základní meteorologický prvek popisující množství vodní páry ve vzduchu. Vodní pára, která je soustředěná hlavně ve spodních vrstvách atmosféry, vzniká především vypařováním vodních ploch. Za dané teploty se množství vodní páry ve vzduchu nemůže zvětšovat neomezeně, ale jen po určitou hodnotu, při níž je dosaženo stavu nasycení vzduchu vodní parou. Případný přebytek vodní páry nad množství odpovídající stavu nasycení přejde kondenzací ve vodu nebo desublimací v led. Čím vyšší je teplota vzduchu, tím více páry je třeba k jeho nasycení.[4]

1.4 Rosný bod

Rosný bod je teplota, při níž se vzduch následkem izobarického ochlazování stane nasyceným, aniž by mu byla dodána vodní pára zvnějšku. Při poklesu teploty pod teplotu rosného bodu obvykle dochází ke kondenzaci vodní páry obsažené ve vzduchu a vzniká například rosa nebo mlha. Při poměrné vlhkosti menší než 100 % je teplota rosného bodu vždy nižší než teplota vzduchu. Rozdíl mezi teplotou vzduchu a teplotou rosného bodu, který se nazývá deficit teploty rosného bodu, je tím větší, čím je menší poměrná vlhkost.[4]

1.5 Sluneční svit

Délka slunečního svitu udává počet hodin za den, měsíc nebo rok, po které přímé sluneční záření dosahovalo zemského povrchu. Trvání slunečního svitu záleží na délce dne, na výskytu oblačnosti a mlh a na překážkách v okolí místa pozorování.[4]

1.6 Domácí meteostanice

Domácí meteostanice se stala nedílnou součástí většiny domácností jako nepostradatelný pomocník, bez kterého si mnoho uživatelů již nedovede představit smysluplné plánování dne, který chtějí strávit venku. Nicméně dnešní moderní meteostanice mají mnohem lepší vlastnosti a daleko přesnější odhad vývoje počasí než jejich předchůdkyně, které byly na trhu před několika lety a které stále „zdobí“ většinu domácností.

Dřívější typy dostupných meteostanic, kdy předpověď počasí byla tvořena pouze na základě naměřených hodnot venkovní teploty a vlhkosti, nahradily domácí meteostanice s vestavěným tlakoměrným senzorem. Tento senzor, ve spolupráci s řídicí elektronikou meteostanice a spolu s údaji o teplotě a vlhkosti, dokáže přenést na

displej meteostanice daleko přesnější prognózu budoucího vývoje počasí než dřívější domácí meteostanice. Navíc, jak tlakoměrné senzory, tak senzory teploty a vlhkosti, se posunula, co se týče přesnosti a spolehlivosti, o třídu výše, což umožnilo začít vyrábět nejen přesnější, ale vzhledem k masovému využití meteostanic i cenově výrazně dostupnější meteostanice.

Kvalitní domácí meteorologická stanice, jako zdroj lokální předpovědi počasí, je tedy dnes výrazně přesnější v předpovědi počasí než dříve a v kombinaci s globální předpovědí, např. z televize nebo internetu, je možné dosáhnout nebývalé přesnosti prognózy vývoje počasí v konkrétní lokalitě, kde je domácí meteorologická stanice umístěna.

V posledních letech také výrazně přibýlo zájemců o amatérskou meteorologii, kteří mají zájem o domácí a poloprofesionální meteostanice s možností připojení k počítači. Není divu, vždyť meteorologická stanice s připojením k počítači dokáže nejen přenést údaje o počasí do počítače, ale díky specializovaným programům je možné tyto údaje také řadit, zobrazovat v tabulkách a grafech a různým způsobem je vyhodnocovat přímo v počítači. A navíc není nutné, aby byla meteostanice připojena k počítači trvale - přesnou synchronizaci dat a jistění proti duplicitě údajů samozřejmě meteorologická stanice ve spolupráci s počítačem také zajišťuje. V počítači jsou k dispozici údaje, které naměří domácí meteostanice za několik uplynulých let.[2]

1.7 Domácí meteostanice s Raspberry Pi

Cílem této práce je vytvořit domácí meteostanici využívající jednodeskový počítač Raspberry Pi. Hlavní prioritou zvoleného počítače je komunikace s bezdrátovými moduly a zpracování signálů od jednotlivých senzorů připojených přímo k Raspberry Pi. Data z jednotlivých senzorů a bezdrátové části nejsou zpracovávána v aktuálním čase, nýbrž v pravidelných časových intervalech, které lze změnit nastavením vyčítací funkce v počítači Raspberry Pi. Meteostanice neobsahuje zobrazovací jednotku, proto není uvažováno se zpracováváním dat v reálném čase. V případě rozšíření meteostanice o zobrazovací prvek, lze zobrazovat aktuální fyzikální veličiny v reálném čase na zobrazovacím prvku.

Meteostanice je osazena moduly nRF24L01 pro bezdrátový přenos, díky kterým lze oddělit sensorovou a výpočetní část meteostanice. Sensorová část meteostanice je osazena Arduinem Nano, které se stará o komunikaci s Raspberry Pi a o přenos dat naměřených senzory.

Po zpracování dat z jednotlivých senzorů, připojených přímo k Raspberry Pi a bezdrátové části, jsou uložena do MySQL databáze na vzdáleném WWW serveru¹. Pro ukládání naměřených veličin byla zvolena MySQL databáze, která je součástí webového serveru. Na tomto serveru jsou pro uživatele meteostanice zobrazovány změřené veličiny v pravidelných časových intervalech, jímž zvoleným. Dále je zde graficky zobrazována podrobná denní statistika změřených veličin s možností zobrazení týdenní, měsíční či roční statistiky, minimální a maximální hodnota pro daný den v týdnu, výpis nejchladnějších a nejteplejších dní v roce, měsíci či dnu. Po přihlášení do administrace na straně serveru má uživatel k dispozici upravovat názvy jednotlivých měřených veličin, měnit jejich fyzikální jednotku, pořadí, ve kterém se mají veličiny zobrazovat na hlavní stránce serveru, měnit ikonu zobrazenou před danou veličinou, přiřadit veličinu k senzoru osazenou v meteostanici a smazat veličiny. Dále lze přidávat a odebírat senzory, kterými je osazena meteostanice.

Webová aplikace je realizována způsobem, aby byla uživatelsky nenáročná na ovládání a na hlavní stránce aplikace byly zobrazeny nejdůležitější údaje získané z meteostanice. Při změnách v administraci je kladen důraz na jednoduchost a srozumitelnost jednotlivých úprav. V aplikaci není řešena registrace jiných uživatelů, protože k přístupu do administrace postačuje jeden účet, přes který se dají realizovat veškeré změny v aplikaci. Aplikaci není třeba nijak uživatelsky omezovat. Všichni uživatelé, kteří navštíví daný webový server, mají stejná práva a mohou si zobrazovat veškeré statistiky a aktuální hodnoty veličin.

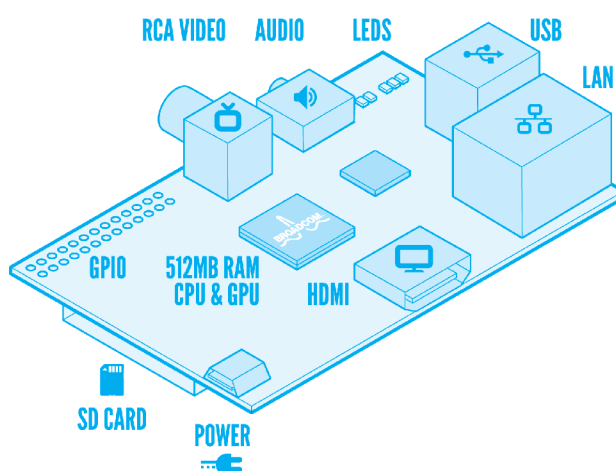
1.8 Webové služby s předpovědí počasí

- Český hydrometeorologický ústav - <http://www.chmi.cz/>
- Meteocentrum.cz - <http://www.meteocentrum.cz/>
- Meteopress - <http://www.meteopress.cz/>
- Meteoskop - <http://www.meteoskop.cz/>
- e-Počasí.cz - <http://www.e-pocasi.cz/>

¹<http://31.31.76.16/meteo/>

2 HARDWARE

Pro výrobu meteostanice byl zvolen jednodeskový počítač Raspberry Pi. Raspberry Pi se vyrábí ve dvou základních modelech, Model A a Model B. Pro účely meteostanice byl vybrán Model B, který má oproti základnímu Modelu A dvounásobnou operační paměť, dva USB konektory (pro snazší připojení externích periférií bez nutnosti využití USB rozbočovače) a LAN konektor pro přístup k místní LAN síti a internetu. Další rozdíly modelů jsou popsány v tabulce 2.1. Rozložení jednotlivých modulů, pinů a konektorů je zobrazeno na obrázku 2.1. Raspberry Pi byl především vybrán z důvodů malých rozměrů ($86 \times 54 \times 17$ mm), přirovnatelných k velikosti kreditní karty. Nevýhodou Raspberry Pi je, že neobsahuje hodiny reálného času, proto je nutné mít Raspberry Pi připojený k internetu, kvůli časové synchronizaci. Nastavení správného času je v případě meteostanice velice důležité a to z důvodu odebírání změřených veličin v daném časovém intervalu a zaznamenávání reálného času v okamžiku odebírání veličin. Časovou synchronizaci lze zařídit i externím připojením obvodu reálného času. Tato možnost je v tomto případě zbytečná, protože Raspberry Pi je stále připojen k internetu, aby mohlo probíhat odesílání dat na externí server.



Obr. 2.1: Raspberry Pi Model B.

Hlavní výhodou Raspberry Pi je, že oproti klasickému stolnímu počítači či notebooku, obsahuje specializované sběrnice pro připojení hardwaru. Toto rozšíření dělá s Raspberry Pi nejenom hračku, ale též nástroj pro řízení a monitorování. Raspberry Pi obsahuje tři základní rozhraní:

- **GPIO:** poskytuje vstupně výstupní piny, speciálně pak rozhraní UART, sběrnice I2C / SPI a zároveň slouží i k připojení rozšiřujících modulů. Moduly (shieldy) jsou hotové desky, které plní řadu dalších funkcí, kterými Raspberry Pi nedisponovalo. Díky GPIO můžeme připojit k Raspberry Pi velkou řadu senzorů, expandérů sběrnic a převodníků,
- **CSI camera interface:** slouží pro připojení specializované kamery přes rozhraní CSI,
- **DSI display interface:** slouží k připojení externího LCD displeje.

Tab. 2.1: Porovnání modelů Raspberry Pi

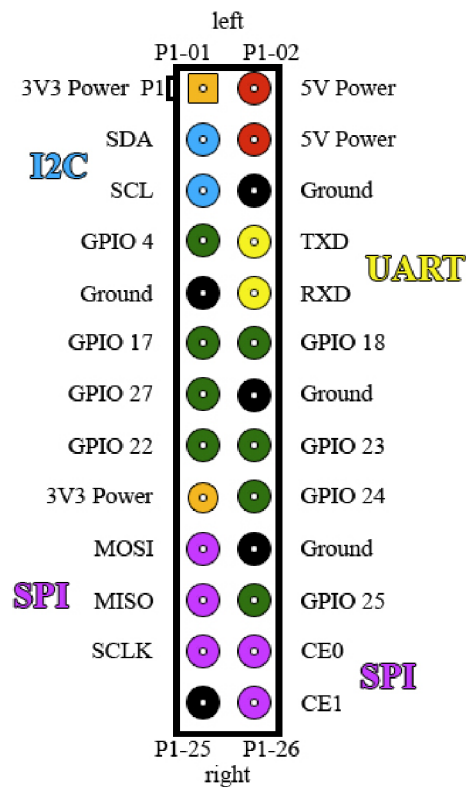
	Model A	Model B
čip	Broadcom BCM2835	Broadcom BCM2835
procesor	700 MHz ARM1176JZ-F	700 MHz ARM1176JZ-F
paměť	256 MB SDRAM	512 MB SDRAM
ethernet	None	10/100 Ethernet RJ45 jack
USB 2.0	Single USB Connector	Dual USB Connector
video výstup	HDMI, Composite RCA	HDMI, Composite RCA
audio výstup	3.5mm jack, HDMI	3.5mm jack, HDMI
datové úložiště	SD, MMC, SDIO card slot	SD, MMC, SDIO card slot
operační systém	Linux	Linux
rozměry	86 × 54 × 15 mm	86 × 54 × 17 mm

Pro správnou funkci meteostanice je využíváno rozhraní GPIO, ke kterému jsou přes sběrnici I2C připojeny senzory pro měření teploty a tlaku. Modul nRF24L01 pro bezdrátovou komunikaci je připojen přes sběrnici SPI.

2.1 Rozhraní GPIO

Rozhraní GPIO obsahuje celkem 26 pinů, z toho je standardně 8 GPIO pinů vstupně výstupních. Dále se zde nacházejí dva piny pro UART, dva piny pro I2C a šest pinů pro SPI. Rozhraní dále obsahuje dva výstupy s napětím 3,3 V a 5 V a zem. Nevýhodou tohoto rozhraní je, že se musí hlídat připojení jakéhokoliv pinu, protože jsou připojeny bez ochrany přímo na čip a ten pracuje s napětím nepřesahující 3,3 V. V případě zapojení na pin vyššího napětí než 3,3 V, by mohlo dojít ke zničení polovodičových součástí a srdce samotného Raspberry Pi. Proto je důležité si zapojení pečlivě zkontrolovat. Součástky, senzory a jiné obvody lze napájet vstupním napětím 5 V z rozhraní GPIO, ale při připojení výstupu na pin z daného prvku se musí výstupní napětí snížit na hranici pracovního napětí (3,3 V) logických obvodů

uvnitř Raspberry Pi. Struktura GPIO a rozložení jednotlivých pinů je zobrazena na obrázku 2.2.



Obr. 2.2: Rozhraní GPIO.

2.2 Arduino

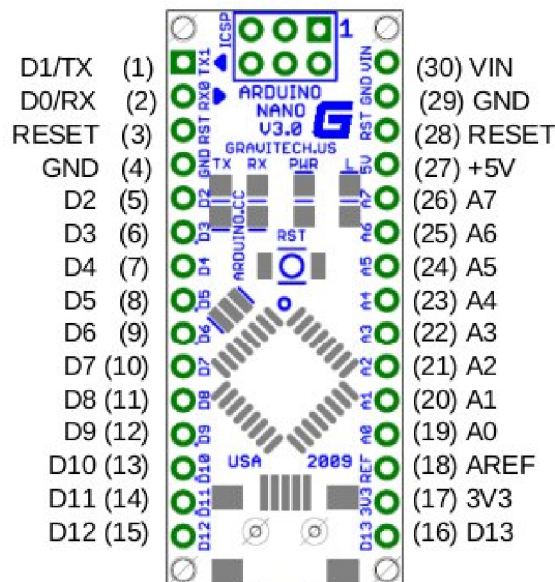
Arduino je open-source¹ platforma založená na mikrokontroléru ATMega od firmy Atmel a na grafickém vývojovém prostředí Wiring. Arduino lze využít pro snadný návrh a vývoj elektronických programovatelných zařízení. Každá deska obsahuje určitý počet vstupně/výstupních pinů, které jsou digitální nebo analogové. Desky obsahují několik SMD LED diod, resetovací tlačítko, konektory pro ICSP programování, napájecí konektor, oscilátor a obvod zprostředkovávající komunikaci po USB. Arduino se vyrábí ve více variantách:

- Arduino Uno
- Arduino Due
- Arduino Micro
- Arduino Mega

¹Počítačový software s otevřeným zdrojovým kódem. Otevřenost zde znamená, jak technickou dostupnost kódu, tak legální prohlížení a upravování kódu.

- Arduino Nano
- a další

Pro účely bezdrátové řídicí jednotky bylo vybráno Arduino Nano z důvodů malých rozměrů a stejnou funkčností jako ostatní desky větších rozměrů. Arduino Nano obsahuje mikrokontrolér Atmel ATmega328, jehož provozní napětí je stanoveno na 5 V. Obsahuje 14 digitálních vstupně/výstupních pinů, z toho 6 poskytuje PWM výstup a 8 analogových pinů. Jeho malé rozměry $43,2 \times 18,5$ mm dovolují značně minimalizovat bezdrátovou část meteostanice. Arduino Nano je napájeno z externích zdrojů (akumulátorů), kde je toto vstupní napětí omezeno na hodnoty 6-20 V, nebo přes mini USB kabel. Arduino Nano a popis jednotlivých pinů je zobrazeno na obrázku 2.3.



Obr. 2.3: Arduino Nano.

2.3 I2C sběrnice

Sběrnice I2C využívá pro komunikaci pouze dva vodiče, sériový hodinový (SCL) a sériový datový (SDA) kanál. To znamená, že se jedná o synchronizovaný přenos dat pouze v jednom směru (poloduplexní komunikace). V daném okamžiku existuje pouze jedno vysílající zařízení a libovolný počet zařízení (většinou jen jedno), která data přijímají. Každé zařízení, připojené na tuto sběrnici, je softwarově adresovatelné jednou unikátní adresou pro celý systém a v každou chvíli existuje jednoduchý vztah master/slave (řídicí/řízený) obvod. Masterem se stává obvod, jestliže zahájí přenos dat po sběrnici a generuje hodinový signál. V tomto čase jsou chápána

ostatní zařízení jako slave. Master může operovat jako vysílač či přijímač. Jde o pravou sběrnici typu multi-master se zabudovanou detekcí kolizí či více obvodů, které vysílají v jednom okamžiku. Počet zařízení, připojitelných na sběrnici, je omezen maximální kapacitancí sběrnice a počtem využitelných adres.[6]

2.4 SPI sběrnice

Sběrnice SPI je sériová externí sběrnice sloužící pro komunikaci (vzdálené propojení) dvou a více komunikujících uzlů. Obvykle jeden z komunikujících uzlů pracuje v režimu master, ostatní uzly pracují v režimu slave. Master obsahuje generátor hodinového signálu, který se rozvádí do všech zbývajících uzlů sběrnice, což umožňuje synchronní (navíc obousměrný) přenos dat. Hodinový signál je rozváděn vodičem s označením SCK. Kromě signálu s hodinovým impulsem jsou vodiče propojeny dvojicí vodičů pro obousměrný přenos dat. Tyto vodiče jsou označovány většinou MISO (master in, slave out) a MOSI (master out, slave in). Poslední vodič této sběrnice je označen CS (chip select), který se používá pro výběr aktivního uzlu sběrnice. Nevýhodou této sběrnice je především to, že pouze jeden uzel (zařízení) může pracovat v režimu master. Sběrnici SPI lze použít jenom na kratší vzdálenosti, což je dáno nutnou synchronizací hodinového signálu s přenášenými daty, tak i neexistujícím signálem typu ACK, kterým by se potvrdil příjem dat.[5]

2.5 Bezdrátová stanice

Bezdrátová stanice je realizována na desce plošných spojů o rozměrech 63×58 mm. Těmito rozměry je zaručena mobilita bezdrátové stanice a použití na libovolném místě uvnitř či vně objektu. Jako hlavní výpočetní jednotkou bezdrátové části bylo zvoleno Arduino Nano. Arduino zpracovává data z jednotlivých senzorů, které jsou připojeny přes datové sběrnice SPI, I2C a One-Wire. Dále upravuje zpracovaná data do vhodných formátů pro přenos a řídí bezdrátový přenos mezi Raspberry Pi a stanicí. Stanice je osazena modulem nRF24L01, který zprostředkovává bezdrátové spojení s jednotlivými senzory, které jsou popsány v kapitole 2.8. Z důvodu cirkulace vzduchu a vyšší přesnosti čidel pro měření vlhkosti je stanice zapouzdřena v krabičce s perforovanou přední stranou.

Schéma zapojení, předloha desky plošných spojů, osazovací plán pro spodní i vrchní stranu desky a seznam součástek je zobrazeno v příloze A. Deska plošných spojů disponuje čtyřmi konektory pro I2C sběrnici, dvěma konektory pro připojení teplotních čidel Dallas 18b20 a dvěma konektory pro připojení čidel vlhkosti DHT11, DHT22 nebo jejich kombinaci. Bezdrátovou stanicí lze ještě doplnit o dva libovolné

senzory komunikující přes sběrnici I2C, protože stávající stanice je osazena pouze dvěma senzory ze čtyř možných komunikujících přes tuto sběrnici.

2.6 Rozšiřující deska k Raspberry Pi

Pro lepší skladnost a mobilitu byla pro Raspberry Pi vyrobena deska plošných spojů o rozměrech 42×38 mm, která je připojena přes patičku ke GPIO konektoru a svými rozměry vyplňuje neobsazené místo nad základní deskou Raspberry Pi. Vyrobena deska byla konstruována takovým způsobem, aby se Raspberry Pi mohlo zapouzdřit do originální krabičky a všechny potřebné součásti v ní byly implementovány. Návrh desky s usazením do Raspberry Pi je zobrazen na obrázku B.4.

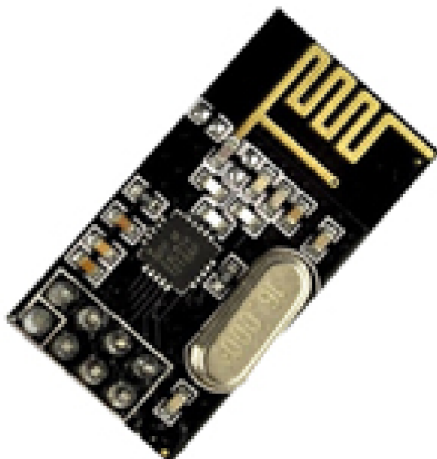
Zhotovená deska obsahuje piny pro připojení bezdrátového modulu nRF24L01, pomocí kterého Raspberry Pi komunikuje s ostatními bezdrátovými stanicemi, piny pro možné připojení teplotního a tlakového senzoru Bosch BMP180, senzoru vlhkosti DHT11 nebo DHT22 a senzoru Dallas 18b20 měřící teplotu. Vyvedeny byly také zbylé nepoužité GPIO piny, sběrnice UART a dvojice pinů 3,3V a zem. Schéma zapojení, předloha desky plošných spojů, osazovací plán pro spodní i vrchní stranu desky a seznam součástek je zobrazeno v příloze B.

2.7 Bezdrátový modul nRF24L01

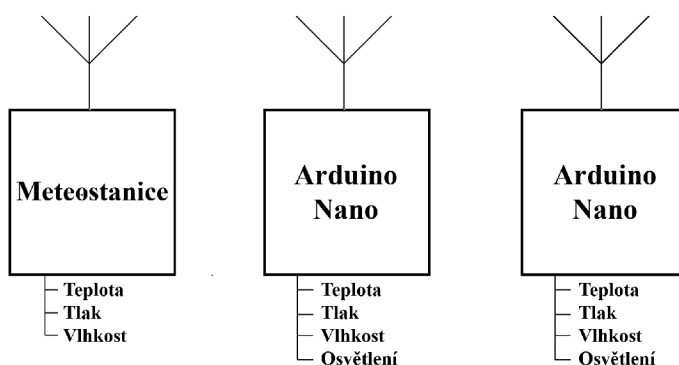
Bezdrátový modul nRF24L01, zobrazený na obrázku 2.4, je připojen k Raspberry Pi i Arduinu přes datovou sběrnici SPI. Každý modul obsahuje receiver i transmitter a lze jednotlivé moduly adresovat. Adresací jednotlivých modulů získáme možnost meteostanici rozšiřovat o další bezdrátové stanice a snímat meteorologické hodnoty z více míst v daném objektu současně, viz obrázek 2.5. Modul nRF24L01 pracuje v nelicencovaném pásmu 2,4 GHz s nastavitelnou přenosovou rychlostí (250 kbit/s, 1 a 2 Mbit/s). Bezdrátový modul disponuje nízkým proudovým odběrem a malými rozměry. Ve volném prostředí lze dosáhnout spolehlivého přenosu na vzdálenost až 100 m. V reálných podmínkách budovy je vzdálenost snížena na 30 m. Tato vzdálenost, uvnitř i vně budovy, je požadována za dostatečně vyhovující pro domácí meteostanici.

2.8 Senzory

V současné době je meteostanice osazena senzory pro měření teploty, tlaku, vlhkosti a osvětlení. Senzorem Bosch BMP180 pro měření teploty a tlaku, senzorem



Obr. 2.4: Bezdrátový modul nRF24L01.



Obr. 2.5: Blokový model meteostanice.

Dallas 18b20 pro měření teploty, senzorem DHT11 pro měření vlhkosti a teploty a senzorem BH1750 pro měření osvětlení. Většina senzorů obsahuje teplotní čidlo, ale k měření teploty je pro vyšší přesnost využíván senzor Bosch BMP180. Ostatní teplotní senzory jsou používány jako referenční.

2.8.1 Senzor Bosch BMP180

Senzor Bosch BMP180 zobrazený na obrázku 2.6 byl vybrán z důvodu malých rozměrů, zařazením do kategorie pro předpověď počasí a jeho malého proudového odběru. Napájecí napětí senzoru se pohybuje mezi 1,8-3,6 V, což umožňuje připojit senzor přímo na sběrnici I2C, přes kterou komunikuje. Udávaná absolutní přesnost senzoru pro měření tlaku je stanovena na ± 1 hPa a u měření teploty na ± 1 °C. Výhoda tohoto senzoru je v zobrazování teploty na desetinná místa a zobrazení tlaku v jednotkách pascalů.

Při připojení senzoru na sběrnici a vyčítání aktuálních hodnot byl použit ná-



Obr. 2.6: Senzor Bosch BMP180.

vod z katalogového listu senzoru. Zde je popsán postup od vyčtení kalibračních dat z E²PROM paměti senzoru, přes vzorce mezivýpočtů, až po konečné výpočty jednotlivých veličin pomocí kalibračních dat senzoru. Výsledný tlak vypočtený senzorem je brán jako absolutní, proto je nutné ho přepočítat na hladinu moře. Takto přepočtený tlak se uvádí ve všech meteorologických stanicích a počítá se s ním při stanovení předpovědi počasí. Tlak na hladinu moře je stanoven pomocí vzorce 2.1:

$$p_{\text{more}} = \frac{p_{\text{abs}} \times 9,80665 \times v}{287 \times (273 + t + \frac{v}{400})} + p_{\text{abs}}, \quad (2.1)$$

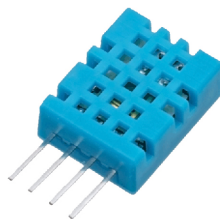
kde p_{abs} znázorňuje aktuální tlak [Pa], v přesnou nadmořskou výšku senzoru [m] a t aktuální venkovní teplotu [°C]. Pokud je senzor teploty uvnitř budovy, výsledky výpočtu budou nepřesné a hodnoty teploty se musí zjišťovat jiným způsobem.

2.8.2 Senzor DHT11 a DHT22

Senzor DHT11 měří vlhkost a teplotu. Jeho citlivost je stanovena na $\pm 1\%$ pro vlhkost a $\pm 1^\circ\text{C}$ pro teplotu. Přesnost tohoto senzoru je stanovena na $\pm 5\%$ pro vlhkost a $\pm 2^\circ\text{C}$ pro teplotu. Tento senzor má z rodiny DHT nejnižší citlivost a velkou nepřesnost a je zobrazen na obrázku 2.7. Přesnější senzor DHT22 pracuje s citlivostí $\pm 0,1\%$ pro vlhkost a $\pm 0,1^\circ\text{C}$ pro teplotu. Přesnost tohoto senzoru je stanovena na $\pm 2\%$ pro vlhkost a $\pm 0,5^\circ\text{C}$ pro teplotu. Pomocí těchto senzorů můžeme dopočítávat rosný bod, který stanovíme pomocí vzorce 2.2:

$$T_{\text{dp}} = \frac{c \ln\left(\frac{V}{100} \times e^{\frac{b \times T}{c+T}}\right)}{b - \ln\left(\frac{V}{100} \times e^{\frac{b \times T}{c+T}}\right)}, \quad (2.2)$$

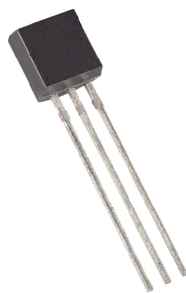
kde konstanta $b = 17,67$ a $c = 443,5^\circ\text{C}$. Proměnná V představuje relativní vlhkost (hodnota změřená vlhkoměrem) a T je teplota změřená ve $^\circ\text{C}$.



Obr. 2.7: Senzor DHT11.

2.8.3 Senzor Dallas 18b20

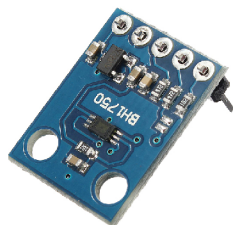
Jedná se o One-Wire senzor pro měření teploty s přesností $\pm 0,5^\circ\text{C}$ a citlivostí $\pm 0,5^\circ\text{C}$. Senzor Dallas 18b20 je zobrazen na obrázku 2.8



Obr. 2.8: Senzor Dallas 18b20.

2.8.4 Senzor BH1750

Senzor BH1750 byl vybrán pro měření denního osvětlení a grafického znázornění doby trvání dne. Výhodou tohoto senzoru jsou výstupní data, která se nemusí přepočítávat nebo jinak upravovat, protože výstupní hodnota je přímo v jednotkách luxech. Senzor BH1750 je zobrazen na obrázku 2.9.



Obr. 2.9: Senzor BH1750.

3 SOFTWARE

3.1 Raspberry Pi

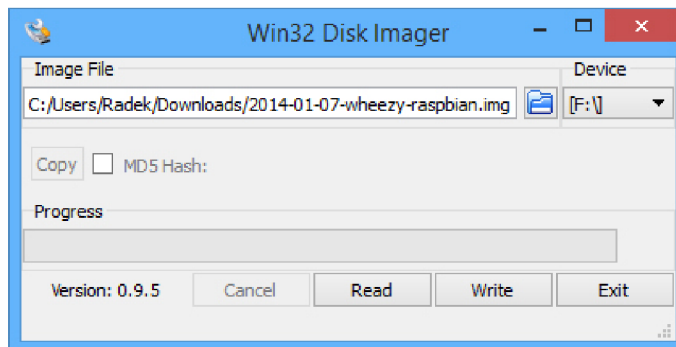
Pro Raspberry Pi byla vybrána oficiální verze operačního systému s názvem „Raspbian - Wheezy“ a to na základě kladných hodnocení a doporučení od uživatelů již používající tento systém. Existuje různá řada dalších operačních systémů, například „Pidora“, „Arch linux“ a další. Tyto systémy se dají zdarma stáhnout z oficiálních stránek¹ Raspberry Pi.

3.1.1 Instalace systému

Raspberry Pi je v oficiálním balení dodáván bez SD karty a napájecího kabelu. K napájení Raspberry Pi postačuje obyčejný micro USB kabel, který se připojí pouze k počítači, USB rozbočovači nebo k USB nabíječe od telefonu s výstupem 5 V. Pro instalaci operačního systému je zapotřebí koupit paměťovou kartu. Raspberry Pi podporuje několik základních druhů karet, viz tabulka 2.1. Pro instalaci systému, instalaci základních aplikací a ukládání malého množství dat lze využít paměťové karty o minimální velikosti 4 GB. V případě meteostanice byla zvolena paměťová SD karta o kapacitě 16 GB. Tato velikost byla zvolena z důvodu postačujícího místa po instalaci všech potřebných aplikací, uložených dat z meteostanice a také její přijatelná pořizovací cena. Stažená distribuce operačního systému je zabalena v archivu zip, proto se musí před samotnou instalací rozbalit a tím je vytvořen soubor s názvem „2014-01-07-wheezy-raspbian.img“. K instalaci operačního systému byl využit program „Win32 Disk Imager“, pomocí kterého byl systém vypálen na SD kartu, viz obrázek 3.1. Pomocí tohoto programu je možné provést totální zálohu operačního systému včetně kompletního nastavení a všech souborů. Před prvním spuštěním je zapotřebí k Raspberry Pi připojit klávesnici, myš a zobrazovací jednotku (monitor, televize). Po ukončení instalace stačí kartu připojit do Raspberry Pi a po zapnutí napájení se systém sám spustí.

Při prvním spuštění systému Raspbian - Wheezy se zobrazí jednoduché menu pro základní konfiguraci systému, viz obrázek 3.2. Menu obsahuje položky pro nastavení hesla, rozložení klávesnice, nastavení časové zóny, zapnutí/vypnutí grafického režimu a další. Důležitou možností v tomto menu je povolení SSH, přes které se bude Raspberry Pi později vzdáleně ovládat. Při dalších spuštěních systému se

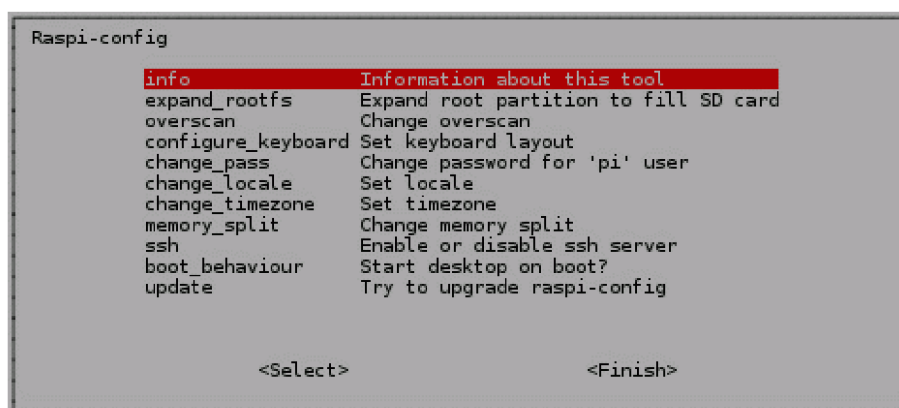
¹<http://www.raspberrypi.org/downloads>



Obr. 3.1: Program Win32 Disk Imager.

toto menu nezobrazuje, ale lze ho vyvolat příkazem:

```
sudo raspi-config.
```



Obr. 3.2: Menu pro základní konfiguraci systému.

Po prvním spuštění byly od Raspberry Pi odpojeny veškeré periférie. Pouze byl ponechán připojený napájecí a ethernetový kabel. Veškeré další operace jsou prováděny přes vzdálený přístup. Pro vzdálený přístup je využit program „PuTTY“, který komunikuje s Raspberry Pi přes SSH² protokol. K této komunikaci je zapotřebí znát IP adresu Raspberry Pi, kterou lze zjistit po prvním spuštění příkazem:

```
ifconfig
```

nebo na routeru, ke kterému je Raspberry Pi připojeno.[7]

3.1.2 Nastavení systému

Přes vzdálený přístup bylo na Raspberry Pi nainstalováno vzdálené ovládání plochy programem VNC. Toto ovládání je výhodné při složitějších pracích a úpravách

²Přihlašovací údaje pro systém Raspbian - Wheezy jsou login: pi a password: raspberry.

delších kódů přímo na ploše Raspberry Pi. Aby bylo možné plně komunikovat a pracovat s konektorem GPIO, je zapotřebí nainstalovat dané ovladače. Nejdříve je nutné zakomentovat vešteré řádky v souboru `/etc/modprobe.d/raspi-blacklist.conf`. To lze udělat za pomoci terminálu příkazem:

```
sudo nano /etc/modprobe.d/raspi-blacklist.conf.
```

Dále se nainstaluje jazyk Python a podpora pro SMBUS příkazy zadané v terminálu:

```
sudo apt-get update
```

```
sudo apt-get install python-dev
```

```
sudo apt-get install python-smbus.
```

Automatické spouštění modulu I2C při startu Raspberry Pi se nastaví vložením řádku s textem `i2c-dev` do souboru `/etc/modules`. Text se vloží na konec souboru, který je otevřen prostřednictvím terminálu příkazem:

```
sudo nano /etc/modules
```

a soubor se následně uloží. K instalaci nejnovějšího ovladače pro GPIO je zapotřebí zjistit poslední verzi ovladače na oficiálních stránkách³. Dle aktuální verze ovladače se upraví a zadají do terminálu tyto příkazy:

```
wget ODKAZ NA OVLADAČ
```

```
sudo dpkg -i CESTA KE STAŽENÉMU OVLADAČI.
```

Po instalaci všech výše uvedených ovladačů je zapotřebí Raspberry Pi restartovat a po restartování lze s GPIO konektorem plně pracovat.[7]

3.1.3 Programová část

Raspberry Pi bylo zvoleno jako hlavní výpočetní část celé meteostanice. Je zde spuštěný program, který se stará o komunikaci s bezdrátovou částí, vyčítání dat z připojených senzorů a komunikaci s MySQL databází webového serveru, na kterém se zobrazují změřené hodnoty. Programovací jazyk pro hlavní program meteostanice byl vybrán Python pro jeho jednoduchost, srozumitelnost a velkou škálu dostupných knihoven k zvoleným senzorům.

Hlavní program zajišťuje cyklickou smyčku v pravidelných intervalech nastavených uživatelem. Tyto intervaly udávají dobu, za kterou se vyčítají data z jednotlivých senzorů bezdrátové části i přímo připojených k Raspberry Pi. Interval lze

³<https://code.google.com/p/raspberry-gpio-python/downloads/list>

nastavovat v jednotkách sekund a tím se dostává velká škála možností nastavení vyčítací doby. Pro účely meteostanice byla doba stanovena na 300 s (5 minut), kdy za tuto dobu nedochází k výrazným změnám teploty, tlaku a dalších měřených veličin. K hlavnímu programu jsou připojeny tři moduly s názvy `funkce.py`, `ClassMySQL.py` a `ClassStatistika.py`. Modul `funkce.py` obsahuje veškeré funkce volané hlavním programem, například pro nastavení doby vyčítání, přepočítání hodnot ze senzoru DHT11 na rosný bod, uložení dat do souboru, získání dat z bezdrátové stanice a další potřebné funkce pro chod programu. Knihovna `ClassMySQL.py` obsahuje třídu `mysql`, která byla napsána z důvodu připojení Raspberry Pi k externí MySQL databázi na webovém serveru a ke zjednodušení zadávání SQL dotazů v kódu hlavního programu. Třída obsahuje všechny potřebné funkce pro práci s MySQL databází, například „Select“, „Read“, „Update“, „Insert“, „Delete“ a funkci, pro zjištění počtu řádků v tabulce. Knihovna `ClassStatistika.py` obsahuje třídu s názvem `statistika`, která počítá statistiky z aktuálních naměřených hodnot a ukládá je do MySQL databáze na webovém serveru. Tato třída obsahuje funkci pro určení minimální/maximální teploty pro daný den, zaznamenává rekordy naměřené od začátku spuštění meteostanice a zaznamenává čas východu a západu slunce.

Vyčítání dat z bezdrátové části se provádí pomocí externího skriptu popsaného v kapitole 3.1.4. Tento skript se spouští prostřednictvím hlavního programu pomocí funkce `RunCommand()`. Pomocí této funkce:

```
command = '/home/pi/meteostanice/meteo'
def RunCommand(command):
    r = subprocess.Popen(['sudo', command], stdout=subprocess.
        PIPE, stderr=subprocess.PIPE).communicate()[0]
    return string.split(r, ", ")
```

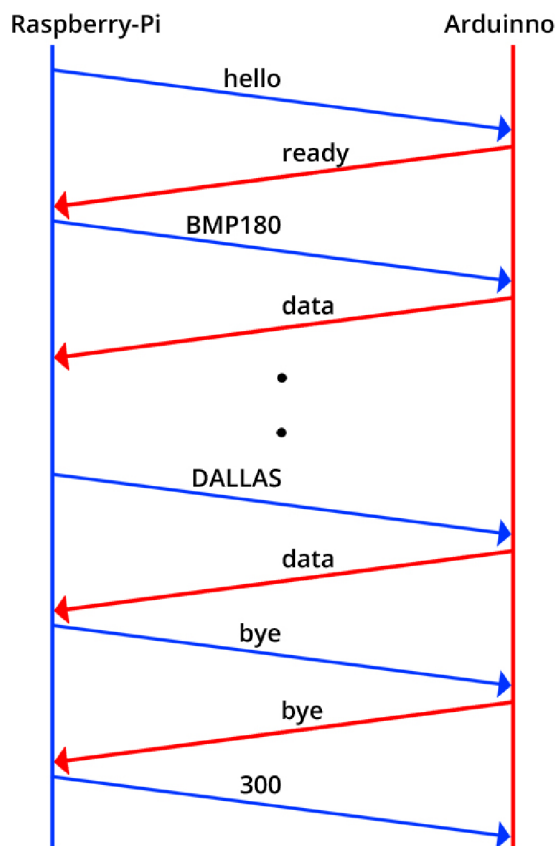
se spustí skript s názvem `meteo`, který získá data z jednotlivých senzorů bezdrátové části a posléze je vypíše. Tento výpis je danou funkcí detekován a předán do hlavního programu, kde se převede na hodnoty pro dané senzory.

Po převedení hodnot ze senzorů v pravidelném intervalu se hodnoty zpracují do vhodného formátu pro uložení do databáze, provede se připojení k databázi pomocí knihovny `mysql.py` a pomocí vhodné funkce z dané knihovny („Insert“) se do databáze uloží. Tento postup vyžaduje nepřetržité připojení Raspberry Pi k internetu. V případě nenavázání spojení s MySQL databází nebo výpadku internetu hlavní program tento stav detekuje a výsledná zpracovaná data v podobě SQL dotazu ukládá do souboru s názvem `values.txt`. Po opětovném navázání spojení s databází se provedou jednotlivé dotazy ze souboru v tom pořadí, ve kterém byly do něj ukládány. Po zapsání všech dat do databáze dojde k jejímu odpojení a vyčkávání na

další dobu k vyčítání dat.

3.1.4 Komunikace s bezdrátovou stanicí

Z důvodu absence knihoven pro modul nRF24L01 v jazyku Python, byla komunikace s bezdrátovou stanicí napsána v jazyku C++. Napsaný skript pro komunikaci s Arduinem je blokově znázorněn na obrázku 3.3. Komunikace probíhá způsobem dotaz/odpověď, kde Raspberry Pi řídí tuto komunikaci a vysílá dotazy k Arduinu, to následně na dotazy odpovídá. Po spuštění skriptu vysílá Raspberry Pi dotaz k Arduinu `hello`. Pokud je Arduino připraveno na komunikaci, odpoví `ready`, popřípadě nepošle žádnou odpověď. Neobdrží-li Raspberry Pi žádnou odpověď do určité časové doby, dotaz `hello` se opět opakuje. Získáním kladné odpovědi `ready` se začne Raspberry Pi dotazovat na jednotlivé senzory připojené k Arduinu a Arduino zasílá Raspberry Pi data získaná z daného senzoru. Po získání všech dat od sensorů, připojených k Arduinu Raspberry Pi, ukončuje komunikaci dotazem `bye`. Arduino odpoví stejným dotazem a čeká na odpověď od Raspberry Pi, která mu stanoví, za jaký čas nastane další dotaz `hello`. Arduino se v tomto čase nastaví do režimu snížené spotřeby.



Obr. 3.3: Schéma komunikace mezi Raspberry Pi a Arduinem.

3.2 Arduino

Program pro Arduino je napsaný v jazyku C++ a jeho hlavním cílem je vyčítání dat z jednotlivých senzorů a komunikace s Raspberry Pi. Program vyčkává na dotazy od Raspberry Pi a v případě dotazu na daný senzor je volána funkce, která zajišťuje vyčtení dat z daného senzoru. Vyčtená data je nutné upravit pro přenos převedením do formátu `char`, který je přenášen pomocí modulů `nRF24L01`. Po přenesení všech dat, zísťaných od senzorů, obdrží Arduino zprávu, za jaký čas proběhne další komunikace. V tomto čase se Arduino přepne do režimu nízké spotřeby.

3.3 Vytvoření a nastavení MySQL databáze

Nově vytvářenou databázi lze pojmenovat libovolným jménem a její porovnávání nastavit na `utf8_bin`. Základní konfiguraci databáze a tabulek je možné importovat z příloženého souboru s názvem `databaze.sql` ve složce `Databáze`. Konfiguraci databáze je možno provést ručně, kde databáze musí obsahovat pro správné spuštění webu tyto tabulky:

- `rekordy`,
- `sensors`,
- `users`,
- `values`,
- `veliciny`.

Nově vytvořené tabulky a jednotlivé pole v tabulkách je potřeba přesně pojmenovat, jinak dotazy k databázi nebudou funkční. Veškeré vytvořené tabulky musí obsahovat pole `id`, které je nastaveno jako `AUTO_INCREMENT`. Toto nastavení zaručí, že s přidáním nového záznamu se pole `id` zvětší o jedničku oproti záznamu předchozímu. Pole `id` bude pro každý záznam v tabulce jedinečné.

Po vytvoření databáze a všech tabulek, potřebných ke správné funkci, je nutné upravit konfigurační soubor v souborovém systému webové aplikace s názvem `config.php`. Tento soubor obsahuje nastavení přístupových údajů k připojení webové aplikace k databázi. Dále bylo nutné upravit na Raspberry Pi konfiguraci přístupových údajů v modulu s názvem `ClassMysql.py`, který se stará o připojení k databázi na webovém serveru. Dokončením těchto úprav byla konfigurace databáze, webové aplikace a Raspberry Pi hotova.

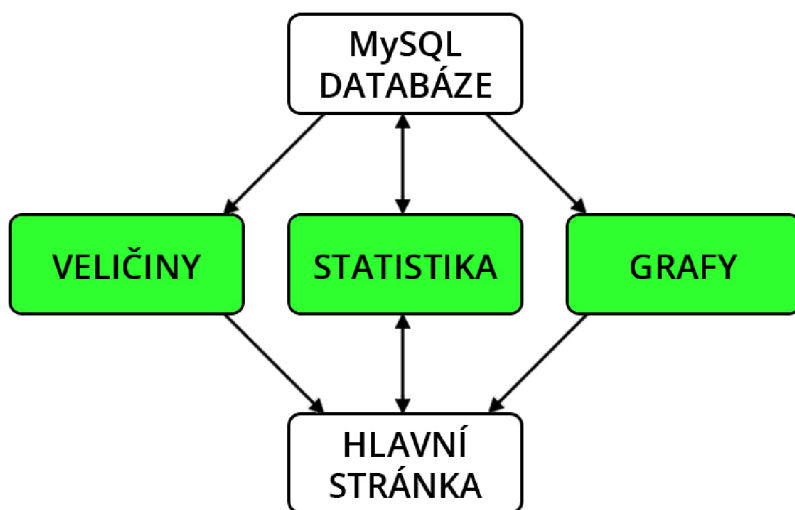
3.4 Webová aplikace

Webová aplikace na straně serveru je psaná v jazyku PHP a obsahuje několik užitečných jQuery pluginů pro zobrazování grafů. Součástí serveru je i MySQL databáze, která se využívá pro ukládání dat přijatých z Raspberry Pi a nastavení stránky. Webové stránky jsou dostupné na adrese <http://31.31.76.16/meteo/> a screenshoty z hlavní stránky aplikace jsou zobrazeny v příloze C. Webová stránka je automaticky obnovována každých 5 minut (doba vyčítací periody), čímž docílíme zobrazení vždy aktuálních hodnot.

Software webové aplikace je rozdělen do 3 hlavních tříd:

- **Veličiny:** třída zobrazuje aktuální naměřené hodnoty,
- **Statistika:** třída sloužící k zobrazení textových statistik a k úpravám MySQL databáze,
- **Grafy:** třída vykresluje grafické průběhy jednotlivých naměřených hodnot a statistiky uložené v MySQL databázi.

Architektura webové aplikace je zobrazena na obrázku 3.4 a tyto hlavní třídy jsou vyznačeny zelenou barvou.



Obr. 3.4: Architektura webové aplikace.

3.4.1 Veličiny

Touto třídou je zajištěn výpis aktuálních zaznamenaných hodnot na hlavní stránce. Tato funkce funguje na principu zjištění posledního záznamu v tabulce `values`, kam se ukládají hodnoty změřené senzory. Po získání hodnot z posledního řádku se výsledné hodnoty zobrazí na hlavní stránce v pořadí, které je dáno tabulkou

veličiny. V této tabulce jsou specifikovány základní údaje pro danou veličinu: název veličiny, jednotka, obrázek zobrazovaný před hodnotou, pořadí, v kterém se bude zobrazovat na hlavní obrazovce a senzor zaznamenávající danou hodnotu. Tato třída nám dále zajišťuje výpis data a času posledního nahraného souboru na server.

3.4.2 Statistika

Třída statistika má svojí hlavní funkci v administraci webové aplikace, kde při přidání nového senzoru vytvoří novou tabulku s názvem `statistika_` + název senzoru a přidá nový sloupeček s názvem senzoru do tabulky `values`. Do této tabulky se následně ukládají data zpracovaná v Raspberry Pi. Při smazání a přejmenování senzoru se provede tatáž změna s danou tabulkou a sloupečkem v tabulce `values`.

Třída dále umožňuje výpis tabulky s minimálními a maximálními hodnotami pro danou veličinu a zobrazení času, kdy tyto hodnoty byly naměřeny. Pro větší přehlednost je tabulka zobrazována v týdenním intervalu s možností porovnání hodnot. Další možností třídy je zobrazení tabulky průměrných hodnot pro daný den. Tabulka zobrazuje průměrné hodnoty po 6 hodinových intervalech (ráno, dopoledne, odpoledne, večer) a průměrnou denní hodnotu.

3.4.3 Grafy

Pomocí této třídy jsou zobrazovány grafické průběhy různých statistik. Na hlavní stránce webové aplikace je uvedena statistika posledních dvaceti naměřených hodnot: pro teplotu, tlak, vlhkost a osvětlení. Hlavní stránka je na obrázku C.1. Stránka „Denní statistiky“ ukazuje graf denních průměrných hodinových hodnot pro senzory, osazené v meteostanici, a umožňuje vybrat den v roce pro náhled dané statistiky. Stránka s touto statistikou je zobrazena na obrázku C.2. „Měsíční statistiky“ vykazují minimální a maximální hodnoty pro každý den v měsíci s možností výběru měsíce a senzoru, viz obrázek C.3. Tyto grafy jsou realizovány pomocí jQuery pluginů, které jsou zdarma a dostupné ve veliké škále variant.

4 VÝROBA METEOSTANICE, TESTOVÁNÍ A CELKOVÝ CENOVÝ ROZPOČET

V této kapitole jsou popsány jednotlivé kroky, ve kterých byla meteostanice vyráběna a testována. Je zde uveden celkový cenový rozpočet, za který lze meteostanici realizovat. Výsledná cena je porovnána s ostatními meteostanicemi na českém trhu ve stejné funkční kategorii.

4.1 Výroba meteostanice a testování

První verze meteostanice byla realizována na nepájivém poli se senzorem TC74, který komunikuje přes I2C sběrnici. Tímto senzorem byla měřena teplota a testováno nastavení GPIO konektoru a I2C sběrnice. Po úspěšném testování nastavení systému pro práci se všemi funkcemi GPIO konektoru začal být vyvíjen hlavní program, který se stará o funkčnost celé meteostanice. V této fázi výroby program obsahoval pouze vyčítací smyčku, která se opakovala v pravidelných intervalech, a výpis hodnot senzoru do terminálu. Nepájivé pole bylo doplněno o nový senzor Bosch BMP180 měřící tlak a teplotu. Hlavní program byl rozšířen o funkci pro tento senzor a výsledné naměřené hodnoty se ukládaly do souboru a byly odesílány na webový server přes FTP protokol.

Webová aplikace začala být vyvíjena již v první fázi projektu. Hlavní strana aplikace obsahovala pouze zobrazení aktuálních naměřených hodnot a čas poslední aktualizace. Z důvodu dynamického zobrazování a přidávání měřených veličin na hlavní stranu aplikace, vytváření nových tabulek v MySQL databázi, přidání nového senzoru a provázání nového senzoru s měřenou veličinou, zobrazenou na hlavní straně aplikace, byla vyvinuta administrace webové aplikace již v této fázi. Aplikace byla doplněna o tabulkové statistiky průměrných, minimálních a maximálních hodnot. Tabulkové statistiky byly nahrazeny pro lepší přehlednost grafickými, kde v jednom grafu jsou zobrazeny stejné veličiny měřené různými senzory, viz obrázek C.1. Grafické statistiky byly rozšířeny o možnost zobrazení posledních dvaceti naměřených hodnot s možností volby měřené veličiny. Dále o denní průměrné hodinové hodnoty a graf minimálních a maximálních denních hodnot pro celý měsíc.

Posíláním dat na webový server prostřednictvím FTP protokolu zatěžovalo webové stránky při zpracování většího obsahu dat na serveru, a proto byl tento způsob odesílání označen za nevyhovující. Pro odstranění této zátěže byl použit modul pro hlavní program, který zajišťuje připojení přímo k MySQL databázi na webovém serveru. Touto změnou byly přesunuty veškeré úkony k ukládání změřených

dat do databáze a výpočtů jednotlivých statistik přímo do Raspberry Pi. Webové stránky nemusí provádět žádné výpočty, pouze zobrazují data uložená v databázi. Tato úprava minimalizovala odezvu serveru při jakékoliv aktualizaci stránky.

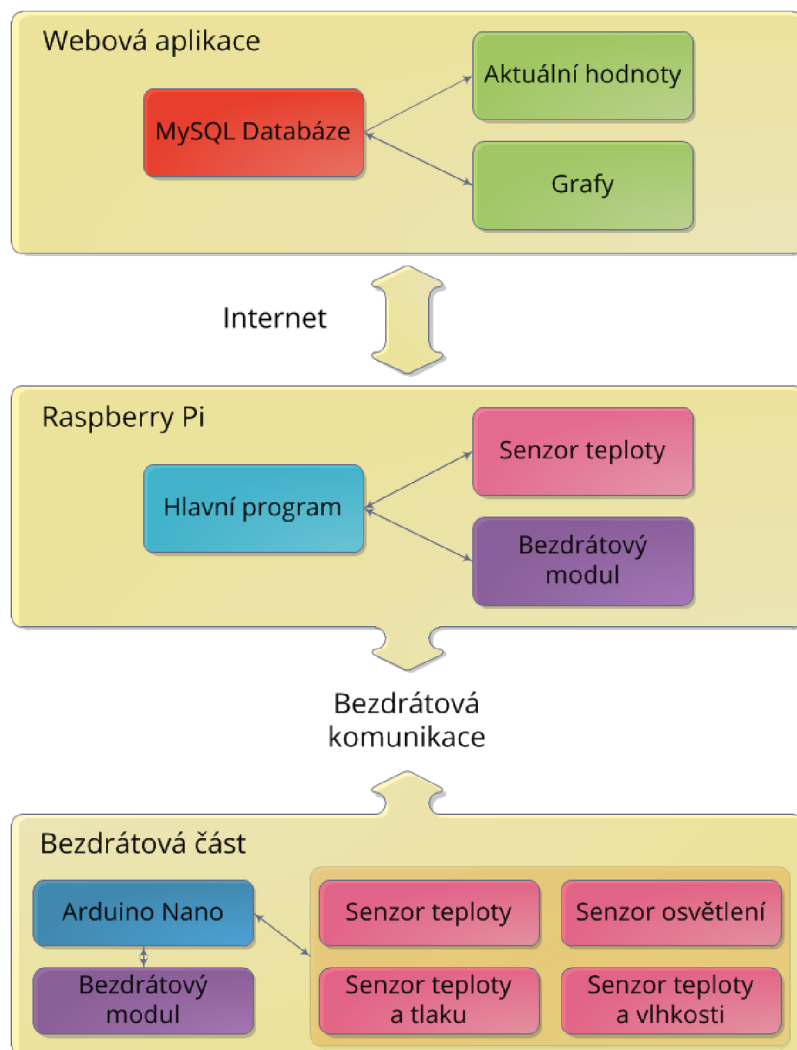
Meteostanice byla rozšířena třemi senzory (Dallas 18b20, DHT11, BH1750) a byl odebrán testovací senzor TC74 pro svoji nepřesnost. Přidané senzory byly umístěny na nepájivé pole a propojeny s Raspberry Pi. Nepájivá deska byla přesunuta vně budovy, kde probíhalo měření reálných meteorologických hodnot. Meteostanice je umístěna v Klárovém poli v Brně, kde změřené hodnoty byly porovnávány s nejbližší meteorologickou stanicí¹ v dané lokalitě a meteostanicí na Kravý hoře². Porovnávané hodnoty teplot, vlhkosti a tlaku se oproti hodnotám meteostanice na Kravý hoře lišily řádově pro teplotu $\pm 2^\circ\text{C}$, vlhkost $\pm 3\%$ a tlak $\pm 3\text{ hPa}$. Tyto rozdíly jsou dány velikou vzdáleností (vzdušnou čarou přibližně 2,4 km) a rozdílnou nadmořskou výškou obou meteostanic. Oproti těmto nepřesným výsledkům, které jsou dány rozdílnou lokalitou, byly hodnoty porovnány s meteostanicí v Králově poli. Po tomto porovnání byla stanovena chyba pro teplotu $\pm 0,5^\circ\text{C}$, vlhkost $\pm 2\%$ a tlak $\pm 1\text{ hPa}$. Tyto stanovené chyby spadají do udávaných absolutních přesností senzoru a hodnoty změřené meteostanicí lze považovat za reálné.

Po úspěšném otestování meteostanice v reálných podmínkách byly vyrobeny dvě desky plošných spojů. První deska je určena pro bezdrátovou část meteostanice, která je osazena senzory Bosch BMP180, DHT11, Dallas 18b20 a BH1750. Hlavní řídicí jednotkou bezdrátové části je zvoleno Arduino Nano, které komunikuje s druhou vyrobenou deskou prostřednictvím bezdrátových modulů nRF24L01. Druhá deska je přímo připojena k Raspberry Pi a zprostředkovává komunikaci s bezdrátovou částí. Obě desky plošných spojů jsou zapouzdřeny v krabičkách vhodných pro použití dané desky. Posledním testem byla stanovena maximální vzdálenost mezi Raspberry Pi a bezdrátovou částí, která je stanovena na 20 m uvnitř objektu. Po překročení této vzdálenosti nastávají chyby při přenosu a po překročení 30 m komunikace zaniká.

Vyrobená meteostanice a její funkčnost je blokově znázorněna na obrázku 4.1. Blokové schéma zobrazuje hlavní bloky nutné ke spolehlivé funkčnosti meteostanice a znázorňuje komunikaci mezi nimi.

¹<http://www.see.cz/meteo/index.php>

²http://www.in-pocasi.cz/meteostanice/stanice.php?stanice=brno_k



Obr. 4.1: Blokové schéma celé soustavy meteostanice.

4.2 Celkový cenový rozpočet

Jednotlivé senzory a přídatné moduly byly vybírány s ohledem na nízké ceny a přijatelné přesnosti pro funkci meteostanice. Toto zboží bylo zakoupeno na internetových stránkách <http://farnell.com/> a <http://www.ebay.com/>. Výsledný cenový rozpočet na výrobu meteostanice je uveden v tabulce 4.1. Nejvyšší položkou tohoto seznamu je samotné Raspberry Pi, které se stará o správnou funkčnost celé meteostanice a komunikaci s webovým serverem přes internet. Výsledná cena meteostanice se může zdát vysoká, ale porovnáním s ostatními komerčními meteostanicemi na českém trhu ji lze považovat za konkurenci schopnou. Komerční meteostanice v této cenové kategorii obsahují stejné měřené meteorologické hodnoty nebo navíc měří velikost dešťových srážek či směr a velikost větru. Tyto meteostanice obsahují také zobrazovací jednotku s aktuálními hodnotami. Vyrobená meteostanice zobra-

zovací prvek neobsahuje (lze ho doplnit), ale oproti všem komerčním meteostanicím v této cenové kategorii umožňuje zobrazovat data na webovém serveru, rozšiřovat meteostanici o nové senzory a další bezdrátové části. Cena za rozšíření meteostanice o další bezdrátovou část je uvedena v tabulce 4.2.

Tab. 4.1: Celkový cenový rozpočet pro výrobu meteostanice.

Název součástky	Počet kusů	Cena
Raspberry Pi	1	869 Kč
Micro SDHC 16GB Class 10 s adaptérem	1	220 Kč
Senzor Bosch BMP180	1	62 Kč
Senzor DHT11	1	35 Kč
Senzor Dallas 18b20	2	124 Kč
Senzor BH1750	1	42 Kč
Bezdrátový modul nRF24L01	2	46 Kč
Arduino Nano V3.0	1	130 Kč
Výsledná cena		1528 Kč

Tab. 4.2: Cenový rozpočet pro bezdrátovou část.

Název součástky	Počet kusů	Cena
Senzor Bosch BMP180	1	62 Kč
Senzor DHT11	1	35 Kč
Senzor Dallas 18b20	1	62 Kč
Senzor BH1750	1	42 Kč
Bezdrátový modul nRF24L01	1	30 Kč
Arduino Nano V3.0	1	130 Kč
Výsledná cena		361 Kč

5 ZÁVĚR

Cílem bakalářské práce bylo navrhnout a vyrobit domácí meteostanici využívající jednodeskový počítač Raspberry Pi, který bude hlavní řídicí jednotkou celé meteostanice. K meteostanici vytvořit bezdrátovou část s měřením teploty, tlaku a vlhkosti.

Veškeré cíle bakalářské práce byly úspěšně splněny. Meteostanice byla rozšířena o bezdrátovou část, která zpracovává základní meteorologické údaje pro teplotu, tlak a vlhkost. Tento modul lze rozšířit o další senzory. K meteostanici je možné připojit více než jednu bezdrátovou část, což dělá z meteostanice užitečný nástroj pro měření meteorologických hodnot na více místech v daném objektu. Hodnoty naměřené bezdrátovou částí jsou přeneseny do Raspberry Pi, kde se upravují do vhodných formátů a ukládají do MySQL databáze na externím webovém serveru. Na webovém serveru si může uživatel prohlédnout aktuální změřené hodnoty a zobrazovat různé grafické průběhy pro všechny měřené meteorologické údaje.

Meteostanice byla porovnána s okolními meteostanicemi v její lokalitě. Rozdíly porovnaných meteorologických údajů spadaly do udávaných absolutních přesností senzorů. S těmito výsledky lze hodnoty naměřené meteostanicí považovat za přesné. Vyrobená meteostanice je tedy srovnatelná s ostatními meteostanicemi dostupnými na českém trhu v dané cenové a funkční kategorii.

LITERATURA

- [1] Co je meteorologie. *Meteorologická stanice Maruška - Hostýnské vrchy* [online]. 2006 [cit. 2014-01-01]. Dostupné z URL: <<http://maruska.ordoz.com/meteorologie/meteorologie>>.
- [2] Meteostanice - Meteorologická stanice. *Www.deramax.cz - praktická elektronika* [online]. 2010 [cit. 2014-01-01]. Dostupné z URL: <<http://www.deramax.cz/domaci-meteostanice/c-928/>>.
- [3] Teplota vzduchu. *ZEMĚPIS - informace o České republice a celém světě - Geografický server* [online]. 2008 [cit. 2014-01-01]. Dostupné z URL: <<http://www.zemepis.com/teplota.php>>.
- [4] Encyklopedie meteorologie a klimatologie - Meteocentrum.cz. *Meteocentrum.cz - předpověď počasí podrobně, počasí aktuálně* [online]. 2007 [cit. 2014-01-01]. Dostupné z URL: <<http://www.meteocentrum.cz/encyklopedie>>.
- [5] TIŠNOVSKÝ, Pavel. Externí sériové sběrnice SPI a I2C. In: *Root.cz - informace nejen ze světa Linuxu* [online]. 30.12.2008 [cit. 2014-01-01]. Dostupné z URL: <<http://www.root.cz/clanky/externi-seriove-sbernice-spi-a-i2c/>>.
- [6] PRAX, Jakub. *Využití sběrnice I2C pro komunikaci s externím zařízením*. Brno, 2007. Dostupné z URL: <http://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=8760/>. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně.
- [7] Moje "Astro stránky". *Raspberry Pi* [online]. 2014, 18.5.2014 [cit. 2014-05-28]. Dostupné z URL: <<http://www.astromik.org/malymenu/menuraspi.htm>>.

SEZNAM SYMBOLŮ, VELIČIN A ZKRATEK

SD Secure Digital

SSH Secure Shell

I2C Inter-Integrated Circuit

DPS Deska plošných spojů

LAN Local area network

USB Universal Serial Bus

UART Universal Asynchronous Receiver/Transmitter

SPI Serial peripheral interface

WWW World Wide Web

ČHMÚ Český hydrometeorologický ústav

GPIO General-purpose input/output

E²PROM Electrically erasable programmable read-only memory

FTP File transfer protokol

ACK Acknowledge

LED Light emitting diode

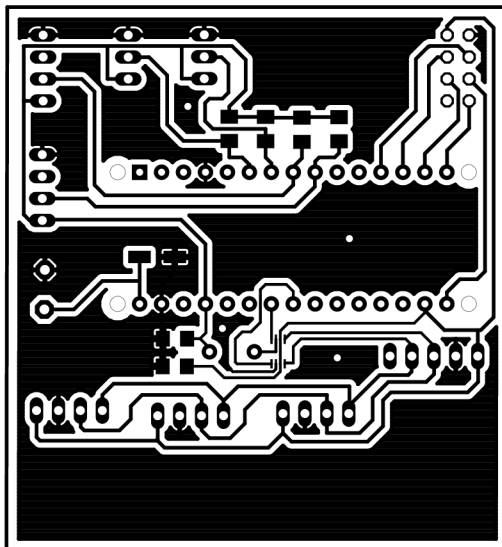
SMD Surface mount device

ICSP In circuit serial programming

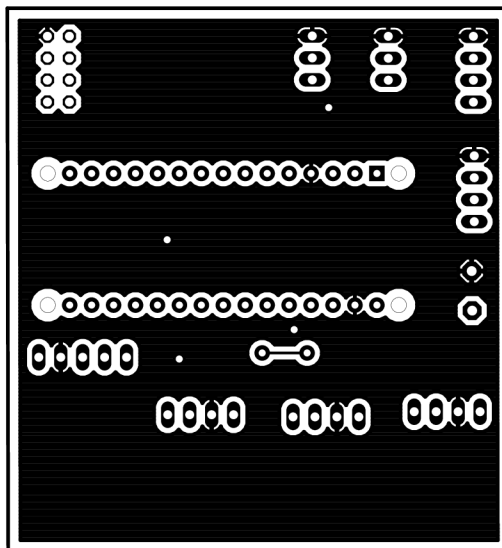
SEZNAM PŘÍLOH

A	Bezdrátová část	41
B	Rozšiřující deska k Raspberry Pi	45
C	Screenshoty webové aplikace	48
D	Shrnutí instalace meteostanice	51
E	Obsah CD	52

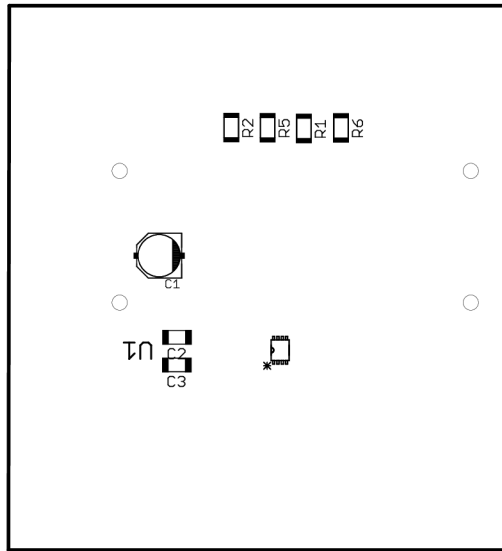
A BEZDRÁTOVÁ ČÁST



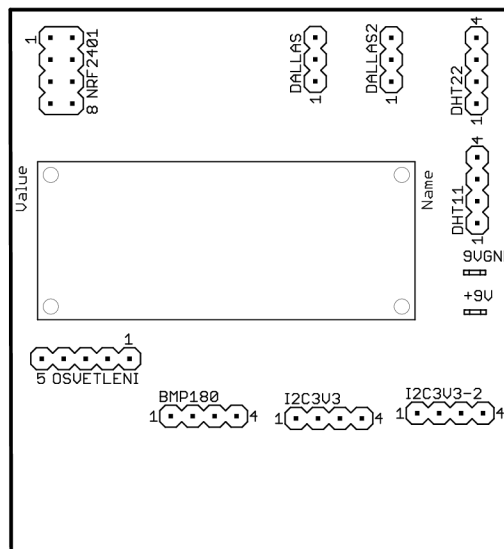
Obr. A.1: Předloha desky plošných spojů spodní strana.



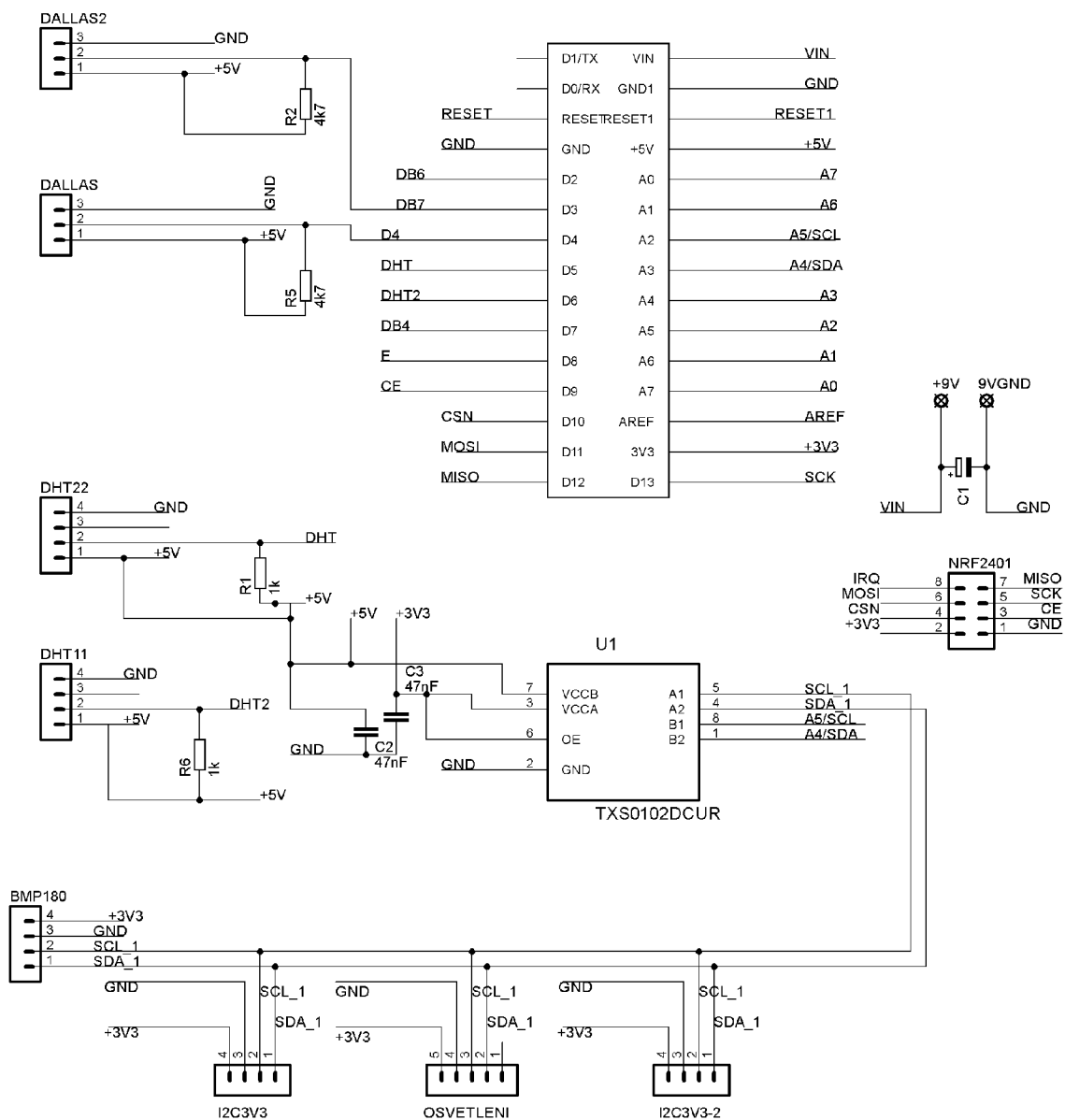
Obr. A.2: Předloha desky plošných spojů vrchní strana.



Obr. A.3: Osazovací plán spodní strany desky plošných spojů.



Obr. A.4: Osazovací plán vrchní strany desky plošných spojů.

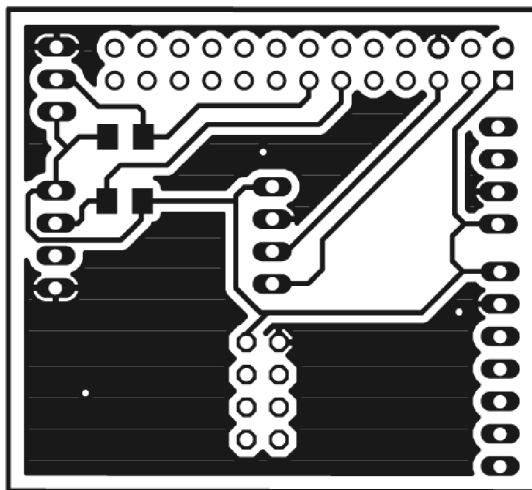


Obr. A.5: Schéma zapojení bezdrátové části meteostanice.

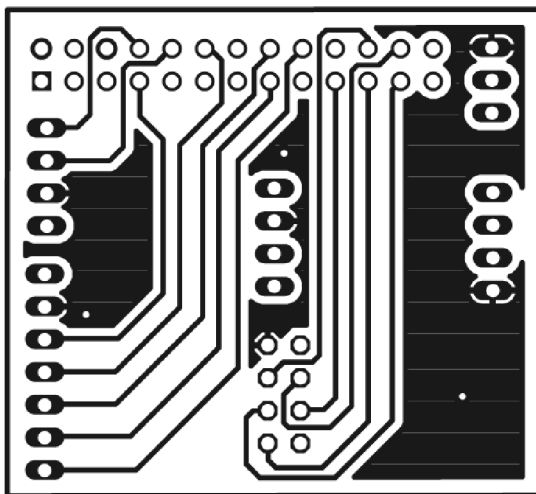
Tab. A.1: Seznam součástek pro bezdrátovou část.

Počet	Hodnota	Pouzdro	Reference	Popis
2	47nF	C1206	C2, C3	SMD Kondenzátor
2	18b20	MA03-1	DALLAS, DALLAS2	Dutinková lišta
5		MA04-1	BMP180, DHT11,DHT22, I2C3V3,I2C3V3-2	Dutinková lišta
1		MA04-2	NRF2401	Dutinková lišta
1		MA05-1	OSVETLENI	Dutinková lišta
2	1k	M1206	R1, R6	SMD Rezistor
2	4k7	M1206	R2, R5	SMD Rezistor
1	ARDUINO-NANO	PDIP-32	ARDUINO	Arduino Nano 3.0
1	TXS0102-DCUR	SOP50P310-X90-8N	U1	Převodník 5/3,3V

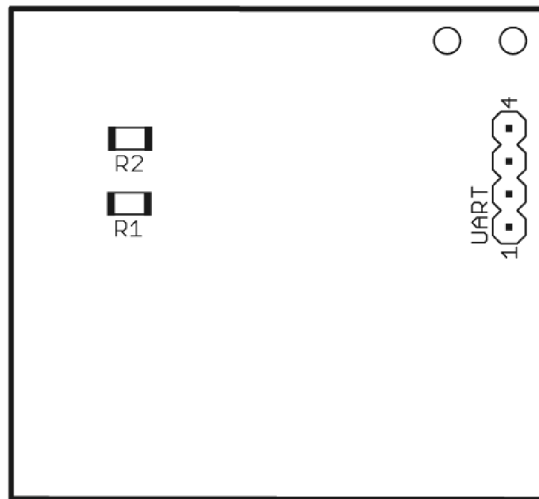
B ROZŠIŘUJÍCÍ DESKA K RASPBERRY PI



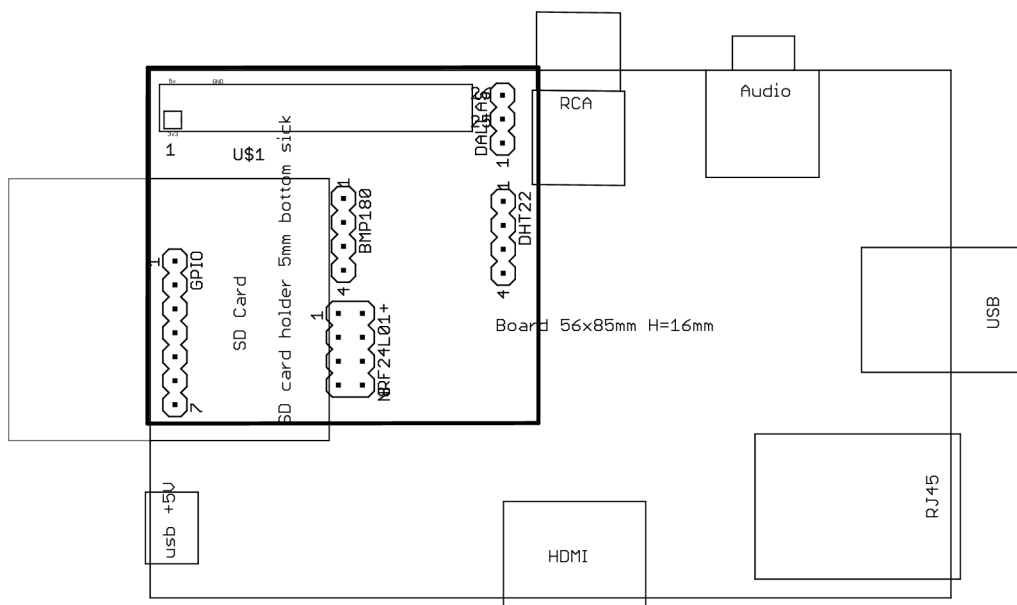
Obr. B.1: Předloha desky plošných spojů spodní strana.



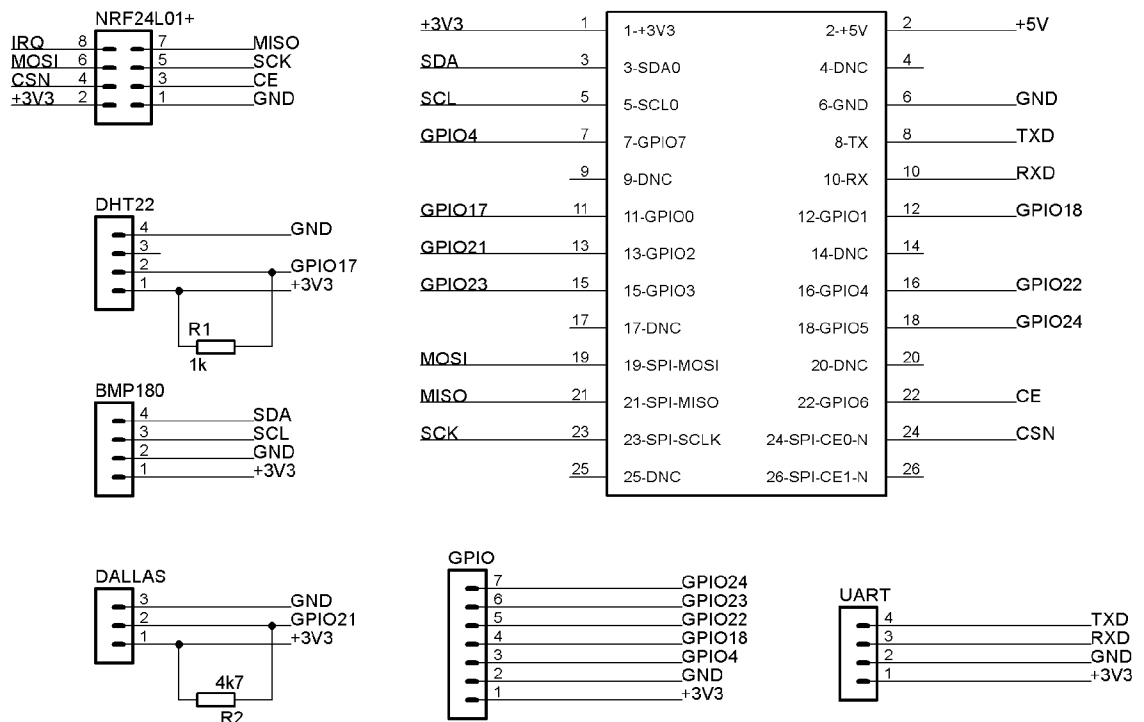
Obr. B.2: Předloha desky plošných spojů vrchní strana.



Obr. B.3: Osazovací plán spodní strany desky plošných spojů.



Obr. B.4: Osazovací plán vrchní strany desky plošných spojů.

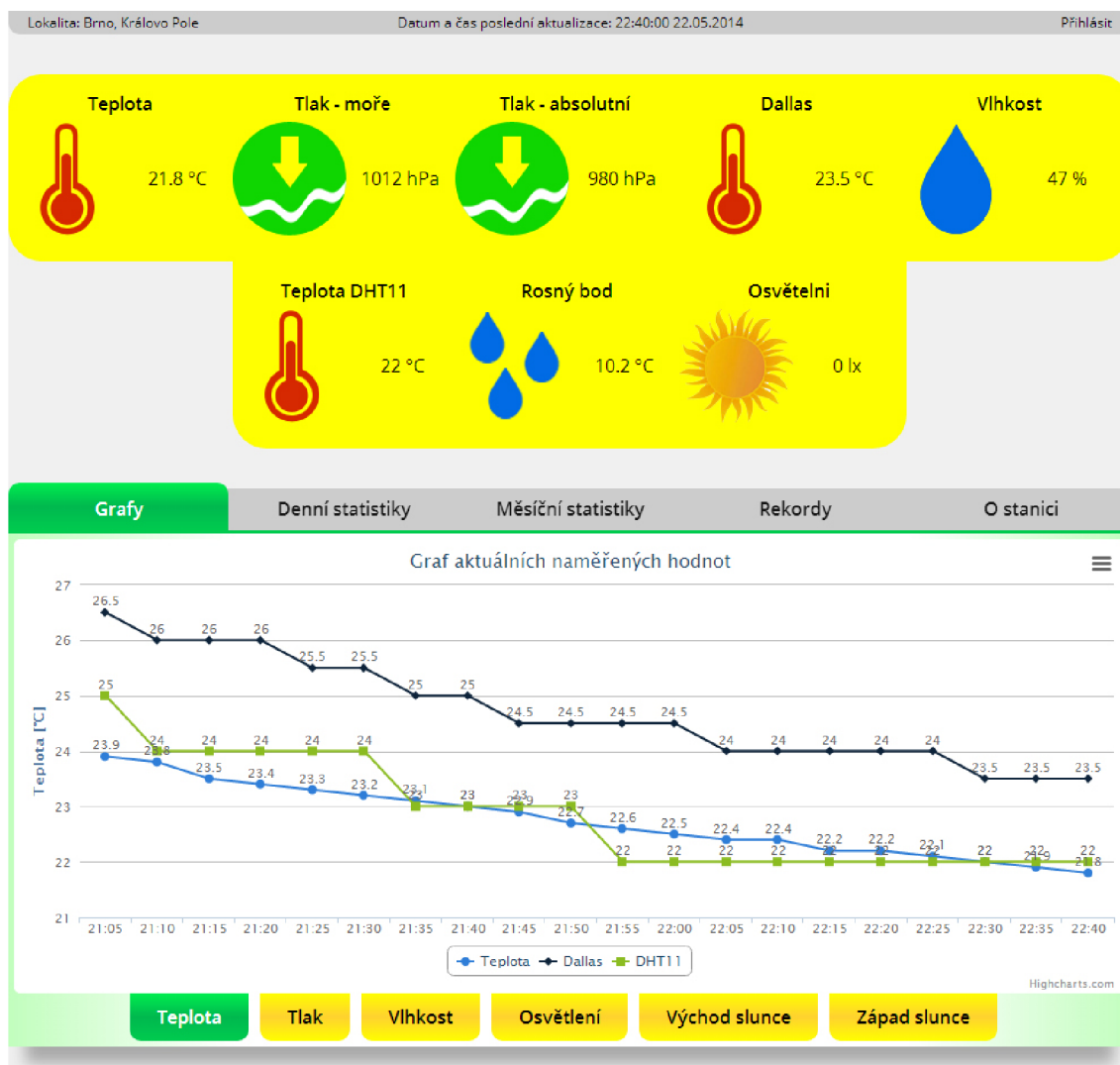


Obr. B.5: Schéma zapojení rozšiřující desky k Raspberry Pi.

Tab. B.1: Seznam součástek pro rozšiřující desku k Raspberry Pi.

Počet	Hodnota	Pouzdro	Reference	Popis
1		MA03-1	DALLAS	Dutinková lišta
3		MA04-1	BMP180, DHT22, UART	Dutinková lišta
1		MA04-2	NRF24L01+	Dutinková lišta
1		MA07-1	GPIO	Dutinková lišta
1	1k	M1206	R1	SMD Rezistor
1	4k7	M1206	R2	SMD Rezistor
1	Raspberry Pi	Raspberry Pi	RASPI	Raspberry Pi GPIO konektor

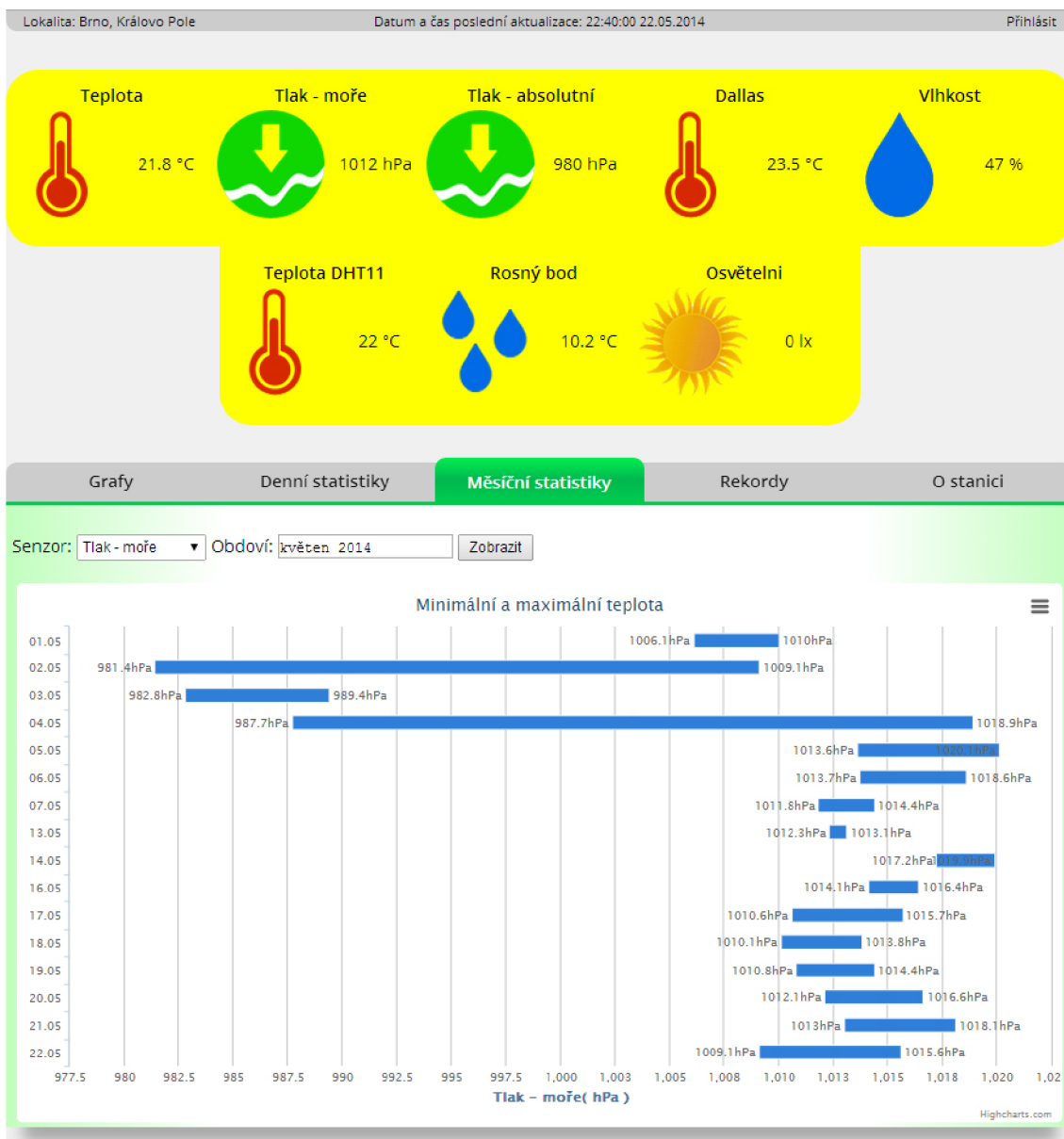
C SCREENSHOTY WEBOVÉ APLIKACE



Obr. C.1: Screenshot hlavní stránky webové aplikace s grafickým průběhem posledních dvaceti naměřených hodnot pro teplotní senzory.



Obr. C.2: Screenshot stránky s denními průměrnými hodinovými hodnotami pro senzor tlaku.



Obr. C.3: Screenshot stránky s měsíčními statistikami, které zobrazují minimální a maximální tlak přepočtený na hladinu moře pro každý den v měsíci.

D SHRNUTÍ INSTALACE METEOSTANICE

1. Instalace systému Raspbian - Wheezy, viz kapitola 3.1.1.
2. Nastavení systému Raspberry Pi pro práci s GPIO konektorem, viz kapitola 3.1.2.
3. Zkopírování obsahu složky `Raspberry_Pi` na přiloženém CD do adresáře `/home/pi/`.
4. Spuštění příkazu, popsaného v souboru `readme.txt`, ve zkopírované složce `/home/pi/meteostanice`.
5. Stažení a instalace softwaru (Arduino IDE) pro komunikaci s Arduinem Nano ze stránek <http://arduino.cc/en/Main/Software>.
6. V nastavení nainstalovaného programu zvolit desku Arduino Nano (Tools->Board->Arduino Nano w/ ATmega328) a příslušný port, ke kterému je deska připojena (Tools->Serial Port).
7. Otevření přiloženého programu ze složky Arduino a posléze nahrání do Arduina Nano.
8. Vytvoření nové databáze, viz kapitola 3.3.
9. Importování konfigurace databáze a tabulek ze složky Databáze.
10. Zkopírování obsahu složky Webová aplikace do hlavního adresáře webového serveru.
11. Úprava konfiguračního souboru `config.php` v hlavním adresáři webového serveru.
12. Úprava konfiguračních údajů k přístupu do vytvořené databáze v modulu `ClassMysql.py` (`/home/pi/meteostanice/stanice/`) na Raspberry Pi.
13. Nastavená a nakonfigurovaná meteostanice se spouští příkaz:

```
sudo python /home/pi/meteostanice/stanice/run.py.
```

Program po spuštění běží v nekonečné smyčce, periodicky vyčítá data a zapisuje je do MySQL databáze. Takto je možné jej spouštět ihned po startu systému. Dále je možné jej jednoduše upravit jen pro jedno čtení/zápis a spouštět periodicky pomocí CRONu.

E OBSAH CD

- Elektronická verze bakalářské práce - **xsprin03.pdf**
- Zdrojové kódy webové aplikace - ve složce **Webová aplikace**
- Základní konfigurační soubor databáze pro správnou funkci webové aplikace
- ve složce **Databáze**
- Zdrojové kódy hlavního programu na Raspberry Pi - ve složce **Raspberry_Pi**
- Zdrojový kód pro bezdrátovou část - ve složce **Arduino**
- Návrh desky plošných spojů pro Raspberry Pi - ve složce **Deska_Raspberry_Pi**
- Návrh desky plošných spojů pro bezdrátovou část - ve složce **Deska_Arduino**