

Univerzita Hradec Králové
Přírodovědecká fakulta
Katedra fyziky

Domácí meteorologická stanice

Bakalářská práce

Autor: Irena Pařízková
Studijní program: (33) B1701 Fyzika
Studijní obor: Fyzikálně – technická měření a výpočetní technika
Vedoucí práce: RNDr. Daniel Jezbera

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracovala pod vedením vedoucího bakalářské práce RNDr. Daniela Jezbery samostatně a uvedla jsem všechny použité prameny a literaturu.

V Hradci Králové dne 7. května 2016

Poděkování:

Touto cestou bych chtěla poděkovat vedoucímu práce RNDr. Danielu Jezberovi za podnětné a cenné rady, které mi při zpracování bakalářské práce poskytl. Dále bych ráda poděkovala svému synovi Tomáši Pařízkovi za technickou podporu při sestavení meteostanice.

Anotace

PAŘÍZKOVÁ, Irena. *Domácí meteorologická stanice*. Hradec Králové: Přírodovědecká fakulta Univerzity Hradec Králové, 2016. Bakalářská práce

Předmětem této bakalářské práce je navrhnout, sestavit a vyzkoušet jednoduchou domácí meteorologickou stanicí na bázi systému Raspberry a programovacího jazyka Python. Stanice bude obsahovat senzor teploty a atmosférického tlaku. Teoretická část bude obsahovat základy meteorologie a meteorologických měření, stručný popis systému Raspberry a principy měření venkovní teploty a barometrického tlaku. Součástí práce bude testovací měření na této meteorologické stanici, po dobu dvou měsíců.

Klíčová slova:

Meteorologická stanice, teplota ovzduší, atmosférický tlak, měření teploty, měření barometrického tlaku, Raspberry Pi

Annotation

PAŘÍZKOVÁ, Irena. *Home Weather Station*. Hradec Králové: Faculty of Science, University of Hradec Králové, 2016. Bachelor Thesis.

The subject of this thesis is to suggest, build up and try simple homemade weather station based on Raspberry system and programming language called Python. The weather base will contain sensors of temperature and atmospheric pressure. The theoretical part will include essentials of meteorology and meteorological measurements, brief description of Raspberry system and principles of measuring outside temperature and barometric pressure. The bachelor thesis will also include test measurements by this weather base for the period of two months.

Keywords

Weather station, air temperature, barometric pressure, measuring of temperature and barometric pressure, Raspberry Pi

Obsah

| | |
|---|----|
| Úvod..... | 8 |
| 1 Vzduch..... | 9 |
| 1.1 Pojem vzduchu v historii..... | 9 |
| 1.2 Vzduchové hmoty | 9 |
| 1.3 Meteorologický prvek | 12 |
| 1.4 Tlak | 12 |
| 1.4.1 Tíhová síla a zrychlení | 12 |
| 1.4.2 Barometrická rovnice | 13 |
| 1.4.3 Synoptické mapy | 14 |
| 1.4.4 Coriolisova síla..... | 20 |
| 1.4.5 Měření tlaku | 21 |
| 1.4.6 Tlakoměry | 23 |
| 1.4.7 Jednotky..... | 24 |
| 1.5 Teplota..... | 27 |
| 1.5.1 Měření teploty – historie | 27 |
| 1.5.2 Teploměry | 28 |
| 1.5.3 Stupnice a jednotky | 31 |
| 1.5.4 Měření v meteorologické praxi | 34 |
| 2 Metodika měření..... | 36 |
| 2.1 Synchronnost časů měření..... | 36 |
| 2.2 Umístění stanice | 36 |
| 2.3 Senzory..... | 37 |
| 2.4 Meteorologická budka..... | 37 |
| 2.5 Kalibrace | 38 |
| 3 Domácí meteorologická stanice | 39 |
| 3.1 Raspberry Pi B+ | 39 |

| | | |
|-----|--|----|
| 3.2 | Senzor pro měření barometrického tlaku a teploty BMP180..... | 42 |
| 3.3 | Sestavení meteorologické stanice | 43 |
| 3.4 | Script | 44 |
| 3.5 | Databáze MySQL..... | 47 |
| 3.6 | Server Synology DS213j..... | 47 |
| 4 | Zpracování dat | 49 |
| 4.1 | Popis měření..... | 49 |
| 4.2 | Měření tlaku | 51 |
| 4.3 | Měření teploty | 58 |
| | Závěr | 69 |
| | Seznam použité literatury..... | 70 |
| | Seznam ilustrací | 73 |
| | Seznam tabulek | 74 |
| | Seznam grafů..... | 75 |
| | Seznam příloh | 77 |
| | Příloha č. 1 | 78 |

Úvod

Počasí je každý den jiné, při dlouhodobějším sledování si můžeme všimnout určitých pravidelností. Právě dlouhodobé pravidelnosti v systému počasí spoluvytvářejí podnebí v daných oblastech. Je prastarou lidskou touhou předvídat změny. Trpělivé dlouhodobé pozorování zákonitostí přírody nás naučilo, jak změny v počasí předpovídat. Pozorování a měření lokálního počasí rozšiřuje naše znalosti o nejbližším okolí.

Současná meteorologická měření pomocí precizních kalibrovaných měřidel přináší přesné výsledky. Tématem mé práce je otázka, je-li člověk schopen pomocí jednoduchého zařízení s nekalibrovanými senzory dosáhnout alespoň srovnatelných výsledků měření.

1 Vzduch

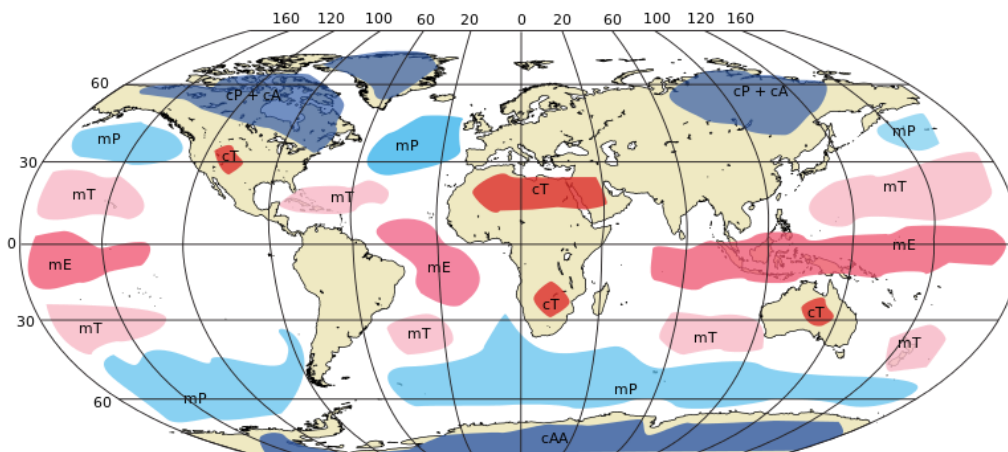
1.1 Pojem vzduchu v historii

Vzduch byl ve starověku chápán jako jeden ze čtyř živlů – země, voda, vzduch a oheň. Vše ostatní se odvozovalo z vlastností těchto živlů. V první knize o počasí „Meteorologii“ Aristoteles popsal vzduch jako dým vydechovaný Zemí. Velmi studený vzduch podle něho vydechují severské krajiny. Po nahromadění pak vane jako severní vítr. Naopak horký vzduch pochází z dechu jižních zemí[2].

1.2 Vzduchové hmoty

Již v první polovině 19. století si německý fyzik a meteorolog Heinrich Wilhelm Dove (1803–1879) vytvořil představu o vzduchových hmotách. Za zakladatele meteorologie vzduchových hmot je však považován anglický meteorolog a námořní důstojník Robert FitzRoy (1805–1865), který studoval vlastnosti polárního a tropického vzduchu. Teorii polární fronty oddělující obě vzduchové masy rozpracoval norský fyzik a meteorolog Vilhelm Bjerknes (1862–1951). Bjerknes v roce 1917 založil v Bergenu Geofyzikální institut a také zřídil v Norsku systém meteorologických stanic. Pomocí dat získaných z dlouhodobého měření objevil se svým týmem existenci vzduchových hmot oddělených frontami, následně zveřejnil Teorii vzniku a zániku front[2].

Původně byl jako „polární“ označován všechn vzduch na severní straně rozhraní. Až v roce 1928 švédský meteorolog Tor Bergeron (1891–1977) zavedl pojem arktické vzduchové hmoty. Pojmenování polárního vzduchu se zúžilo na mírné zeměpisné šířky[2].



Obrázek 1: Rozložení oblastí formování vzduchových hmot
(A-arktická, AA-antarktická, P-polární, T-tropická, E-ekvatoriální,
c-kontinentální, m-maritimní)

Zdroj:[19]

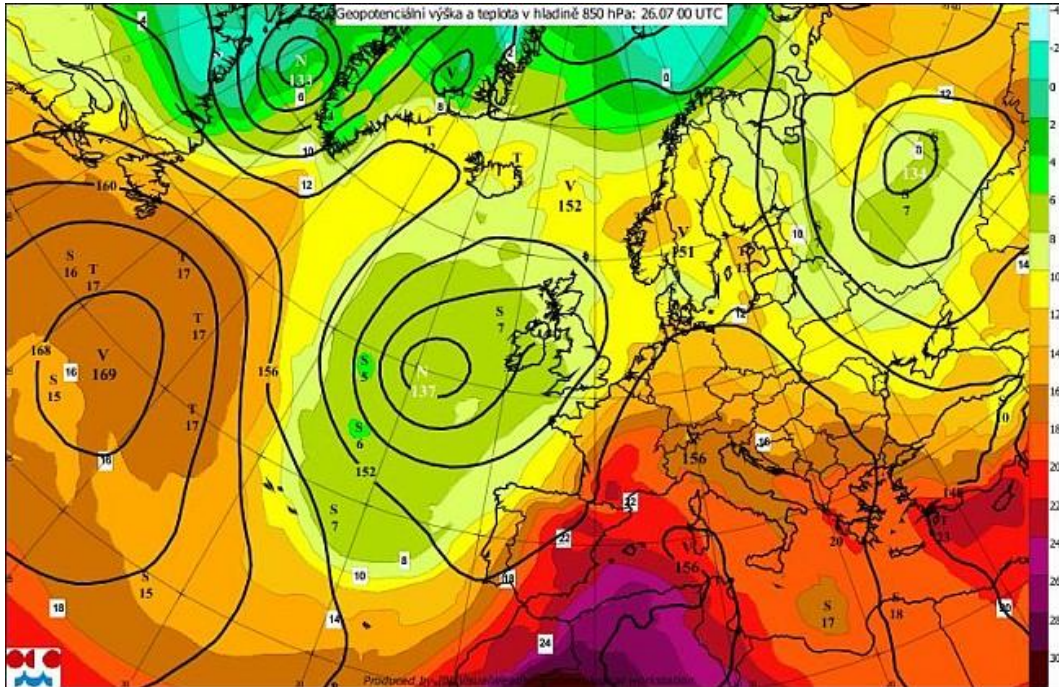
Zemská atmosféra je tvořena směsí plynů. Je neviditelnou, přesto dobře pociťovanou složkou životního prostředí. Člověk i bez měřicích přístrojů pociťuje rozdíly teplot nebo vítr.

V meteorologii se pod pojmem vzduch obvykle rozumí *vzduchové hmoty*. Jedná se o rozsáhlé objemy vzduchu v troposféře, která v oblasti rovníku dosahuje do výše 18 km, v mírných šířkách 11 km a u pólů 9 km. Vzdušné hmoty se vyznačují specifickými vlastnostmi jako je teplota, vlhkost nebo tlak. Tyto poměrně homogenní masy jsou navzájem odděleny *atmosférickými frontami*. Při přechodu fronty se hodnoty meteorologických prvků skokově mění v důsledku rozdílu fyzikálních vlastností vzduchových hmot[8].

Typicky velké homogenní vzduchové hmoty vznikají nad rozsáhlými stejnorodými zemskými povrchy, jako jsou povrchy oceánů nebo rozlehlé části souše, kde vzduch setrvává dostatečně dlouho pod vlivem určitého režimu slunečního záření[7].

Při přesunu v rámci všeobecné cirkulace atmosféry vzduchová masa mění své původní vlastnosti podle nového prostředí. Mezi nejpomaleji měnící se vlastnosti vzduchové hmoty patří teplota, měrná vlhkost vzduchu a viditelnost.

Tyto charakteristiky ukazující na místo původu se nazývají konzervativní vlastnosti vzduchové hmoty[7].



Obrázek 2: Atmosférické vzduchové hmoty

Zdroj:[20]

Vzduchové hmoty dělíme podle termodynamického nebo geografického hlediska. Z pohledu termodynamického se jedná o teplé, studené a místní nebo také stabilní a instabilní vzduchové masy. Teplé vzduchové hmoty proudí nad chladnější povrch, než je oblast jejich původu, a studené naopak nad teplejší povrch. Místní vzduchová masa setrvává v oblasti, s níž je v termodynamické rovnováze. Rozdělení na stabilní a instabilní vzduchové hmoty úzce souvisí s vrstvením v nižší troposféře[8].

Vzduchové hmoty jsou nositeli charakteru počasí a určují celkový ráz podnebí v dané oblasti.

1.3 Meteorologický prvek

Meteorologický prvek je fyzikální veličina charakterizující stav atmosféry[10].

Mezi nejdůležitější meteorologické prvky patří tlak vzduchu, teplota vzduchu, vlhkost vzduchu, sluneční záření – svit, směr a rychlost větru, oblačnost, atmosférické srážky, ale patří sem i výpar, radioaktivita atmosféry apod. Souhrn hodnot všech meteorologických prvků udává charakter počasí. K měření jednotlivých prvků slouží meteorologické přístroje[10].

1.4 Tlak

V roce 1613 italský astronom a fyzik Galileo Galilei (1564–1642) jako první odhadl hmotnost vzduchu. Prohlásil, že voda je 460krát těžší než vzduch. Ve skutečnosti je voda těžší 816krát[5].

Atmosférický tlak je síla vyvolaná tíhou vzduchového sloupce sahajícího až k horní hranici atmosféry.

Tlak vzduchu je jedním ze základních meteorologických prvků. Nejvíce je ovlivňován teplotou vzduchu, obsahem vodních par a nadmořskou výškou. V případě těžšího chladnějšího vzduchu ubývá tlak směrem vzhůru rychleji, naopak v případě lehčího teplejšího vzduchu ubývá tlak směrem vzhůru pomaleji. Nesmíme zanedbat ani zeměpisnou šířku související se změnou tíhového zrychlení.

1.4.1 Tíhová síla a zrychlení

Výsledná tíhová síla obecně nesměruje do středu Země. Úhel mezi gravitační a odstředivou silou je spojen se zeměpisnou šířkou. Zeměpisnou šířkou je také podmíněna tíhová síla, a to co do velikosti i směru.

Tíhová síla tělesům uděluje tíhové zrychlení. V naší zeměpisné šířce je hodnota tíhového zrychlení $g = 9,81 \text{ ms}^{-2}$.

1.4.2 Barometrická rovnice

Se vzrůstající nadmořskou výškou atmosférický tlak vzduchu klesá. Konkrétně do výšky 700 m n. m. je měřitelný pokles o 1 hPa každých 8 m. Vzhledem ke značné stlačitelnosti plynů nemůže být barometrický tlak lineární funkcí výšky, jako tomu je u hydrostatického tlaku. Pokud se hustota mění s tlakem podle Boyleova-Mariottova zákona, je možné v atmosféře vymezit vrstvu vzduchu s hustotou ρ , nacházející se ve výšce h . Základní rovnice statiky ovzduší vychází ze vztahu platného pro hydrostatický tlak[12].

Základní rovnice statiky ovzduší je dána vzorcem:

$$dp = -\rho \cdot g \cdot dh \tag{1}$$

kde

- ρ je hustota ovzduší
- g je gravitační zrychlení ($9,81 \text{ ms}^{-2}$)
- dh je změna výšky od zemského povrchu
- dp výsledná změna tlaku

Dle Boyleova-Mariottova zákona platí při stálé teplotě vztah:

$$\rho = \frac{\rho_0}{p_0} \cdot p \tag{2}$$

kde

- ρ_0 je známá základní hustota
- p_0 je známý základní tlak
- p je tlak

Po dosazení dostaneme vztah:

$$\frac{dp}{p} = -\frac{\rho_0}{p_0} \cdot g \cdot dh$$

(3)

po vyřešení této diferenciální rovnice a následné úpravě získáme vztah:

$$p = p_0 \cdot e^{-\frac{\rho_0 \cdot g \cdot \Delta h}{p_0}}$$

(4)

kde

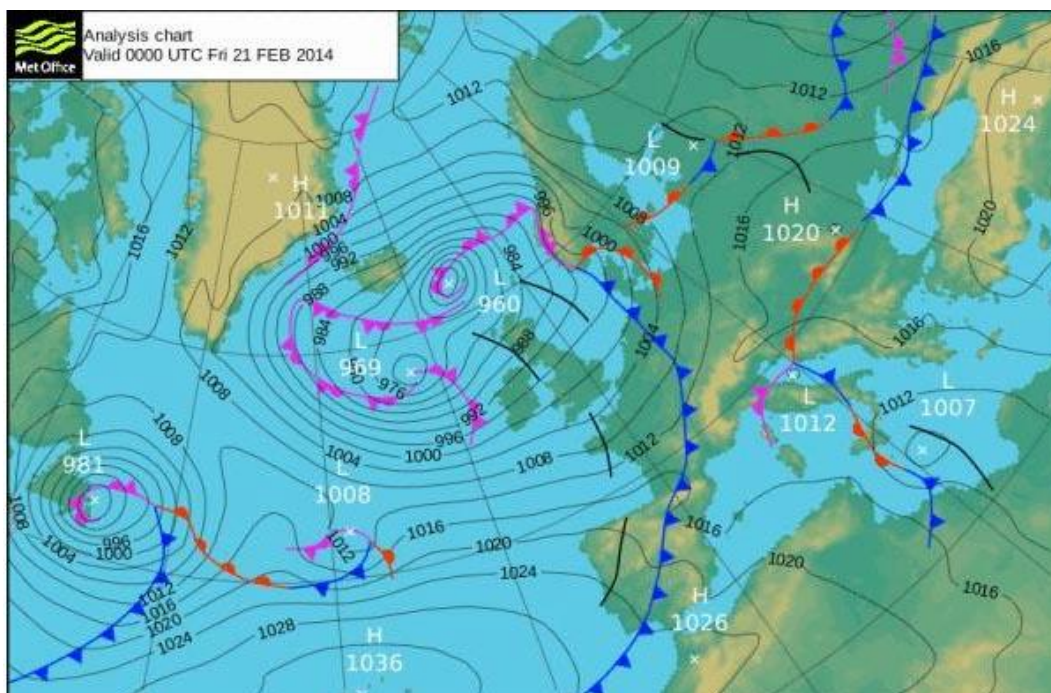
Δh je změna nadmořské výšky od výšky o tlaku p_0

Tento vztah bývá označován jako barometrická rovnice[12].

Pro možnost srovnání údajů tlaku vzduchu naměřených ve stanicích s různou nadmořskou výškou je nutné, pomocí barometrické rovnice, hodnoty tlaku přepočítat na tlak na hladině moře. Tato korekce je závislá na venkovní teplotě vzduchu.

1.4.3 Synoptické mapy

Synoptické mapy zobrazují tlakové útvary (tlakové výše, níže, hřebeny a brázdy), atmosférické fronty (okluzní, teplé nebo studené) a rychlost větru[6].



Obrázek 3: Synoptická mapa

Zdroj: [21]

Rozdělení tlaku vzduchu je na synoptických mapách znázorněno pomocí *izobar*, čar spojujících místa se stejným atmosférickým tlakem. Dále se na mapách zakreslují pro předpovědní účely *izalobary* - čáry se stejnou tlakovou tendencí, tedy změnou tlaku vzduchu za poslední 3 hodiny.

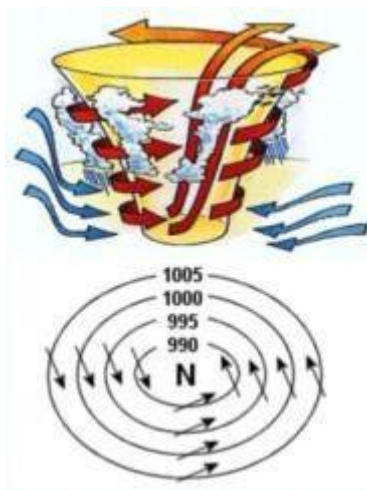
Tlaková pole – izobary jsou zobrazeny černými čarami. Hodnoty izobar jsou uváděny v hektopascalech. Písmenem „N“ je označován nízký tlak, písmenem „V“ vysoký tlak. Modré čáry zobrazují studené fronty, červené teplé fronty. Fialově jsou znázorněny okluzní fronty, tedy rozhraní mezi studenou a teplou vzduchovou hmotou[1].

1. Směr větru

Směr větru je znázorňován žlutými šipkami. Délka šipky je úměrná síle větru.

2. **Tlaková níže**

Tlaková níže je jedním z tlakových útvarů v atmosféře Země. Na synoptické mapě je znázorněna alespoň jednou uzavřenou izobarou jako oblast s nižším tlakem vzduchu. Směrem do jejího středu se atmosférický tlak snižuje a obvykle se zvyšují *horizontální tlakové gradienty*[1].



Obrázek 4: Tlaková níže

Zdroj: [22]

Horizontální tlakový gradient je určen změnou tlaku připadající na určitou vzdálenost. V meteorologii má velký význam právě horizontální složka tlakového gradientu, protože dává vznik proudění vzduchu. Na synoptických mapách je nejvyšší gradient v místě zahuštění izobar[1].

Místo s nejnižším tlakem, tedy střed tlakové níže, se na synoptických mapách označuje v češtině písmenem „N“ – níže, v angličtině „L“ – low a v němčině „T“ – tief.

Rychlost přesunu i velikost tlakové níže je proměnlivá. Průměr útvaru se proto pohybuje od několika set do několika tisíc kilometrů. Střed tlakové níže se obvykle přesouvá rychlostí 40–50 km/h, tedy zhruba 1 000 km/den. Rekordně nejnižší tlak 870,0 hPa byl naměřen během supertajfunu Tip 480 km západně od ostrova Guam v Tichém oceánu 12. 10. 1979. V Čechách je rekordní hodnotou 970,1 hPa naměřených 2. 12. 1976 v Hradci Králové[13].

Protože ve středu tlakové níže je nejnižší atmosférický tlak, směřuje proudění vzduchu z místa vyššího tlaku na okraji do místa nižšího tlaku ve středu útvaru. Proudění vzduchu není přímočaré, působením zemské rotace se spirálovitě stáčí na severní polokouli proti směru hodinových ručiček a na jižní polokouli naopak (viz kapitola 1.4.3 Coriolisova síla).

Vzduch sbíhající se do středu tlakové níže nakonec v centru útvaru vystoupá nahoru. Tento přesun vzdušných mas postupně vede ke kondenzaci vodních par. S tlakovou níží proto obvykle převažuje oblačné počasí se srážkami a silnějším větrem. Charakter počasí v takových nížích je závislý na vývojovém stadiu útvaru, místu původu a ročním období. V letním období tlaková níže přináší ochlazení, v zimě naopak oteplení.

Pokud v ohnisku útvaru klesá tlak, jedná se o stadium *prohlubování tlakové níže*, naopak stoupá-li ve středu níže tlak, mluvíme o *vyplňování tlakové níže* končícím jejím zánikem. Protějškem tlakové níže je *tlaková výše*.

S tlakovou níží je spojeno převážně „nepěkné“ počasí, které je nebezpečné zvláště pro lodní a leteckou dopravu, proto je i dnes v centru zvýšeného zájmu. Prvním, kdo podal úplný ucelený popis dějů v místě tlakové níže, byl roku 1828 německý fyzik a meteorolog Heinrich Wilhelm Dove (1803–1879). Termín *cyklóna* byl poprvé použit anglickým vědcem a námořním kapitánem Henrym Piddingtonem (1797–1858) ve 40. letech 19. století jako označení pro všechny atmosférické poruchy, v nichž vzduch cirkuluje. K dalšímu výzkumu tlakových níží významně přispěl i první profesor klimatologie a meteorologie na Karlo Ferdinandově univerzitě v Praze, meteorolog, astronom a geograf František Augustin (1846–1908), který založil rozsáhlou síť meteorologických stanic v Čechách, srážkoměrnou síť v Praze a observatoř na Petříně[4].

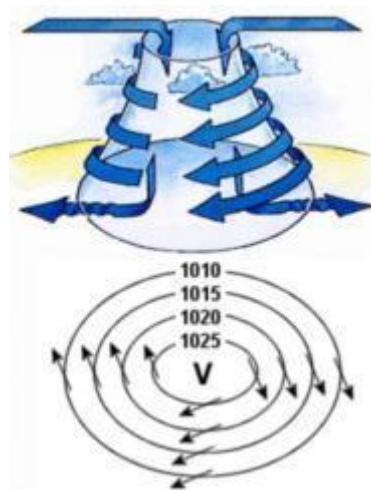
3. Výšková tlaková níže

Jedná se o tlakovou níží ve vyšší vrstvě atmosféry, zaznamenanou pouze na výškových povětrnostních mapách, na přízemní mapě v dané lokalitě zcela chybí. V některých případech je dokonce tlak vzduchu naměřený při zemi značně

nadnormální. Právě výškové tlakové níže jsou příčinou, proč i při naměřeném poměrně vysokém tlaku nemusí být vždy pěkné počasí[8].

4. **Tlaková výše**

Tlaková výše je jedním z tlakových útvarů v atmosféře, který bývá vyznačen v synoptických mapách uzavřenou izobarou. V povětrnostních mapách je v češtině označen písmenem „V“ – výše, v angličtině a němčině písmenem „H“ – high nebo hoch. Tlaková výše je nazývána *anticyklóna*.



Obrázek 5: Tlaková výše

Zdroj: [22]

Tlakové výše pokrývají větší část Země než tlakové níže. Pohyb tlakové výše je mnohem pomalejší, než je tomu u níže. Po vytvoření zůstávají často stacionární i několik dní.

Rekordně nejvyšší tlak 1083,8 hPa byl naměřen v Rusku na Sibiři 23.12.1968 při teplotě -46 °C. Ve střední Evropě je rekordní hodnotou 1055,4 hPa naměřených 24.1.1907 v Hurbanovu nedaleko Komárna. Normální tlak na hladině moře při normálním tíhovém zrychlení na 45 ° severní šířky je 1013,25 hPa[13].

Typický pro anticyklónu je sestupný pohyb vzduchu ve volné troposféře, při kterém se vzduch otepluje a vysušuje. Děj probíhá adiabaticky, tedy

bez výměny tepla s okolím. V blízkosti země má proudění vzduchu v anticyklóně směr od centra s vysokým tlakem k okrajům s nižším tlakem. Proudění vzduchu není přímočaré, působením zemské rotace se spirálovitě stáčí na severní polokouli po směru hodinových ručiček a na jižní polokouli naopak. Do prostoru odtékajícího vzduchu sestupuje nový vzduch z výšky.

Pro tlakovou výši typické jasné, minimálně oblačné a jen málo větrné počasí je způsobeno právě sestupným prouděním vzduchu. Charakteristické pro tlakovou výši jsou velké rozdíly teploty vzduchu ve dne a v noci. Počasí v tlakové výši je závislé na jejím vývojovém stadiu, na lokalitě a na ročním období.

V letním období přináší anticyklóna obvykle slunečné počasí a oteplení, protože během dne dochází k intenzivnímu ohřevu zemského povrchu. Za jasných nocí však dochází k rychlému ochlazení zemského povrchu, to vede k výraznému poklesu ranních teplot, tvorbě rosy nebo slabých ranních mlh.

V zimních měsících přináší tlaková výše chladné mrazivé počasí a celkové ochlazení. V přízemních vrstvách dochází díky silnějšímu vyzařování zemského povrchu k *inverzím* teplot, kdy teplota vzduchu v dolní vrstvě atmosféry s výškou neklesá, ale stoupá. Potom se vytváří nízká vrstevnatá oblačnost nebo celodenní mlha, která zapříčiní v nižších polohách sychravý ráz počasí. Rozdíl denních a nočních teplot je v tomto případě minimální.

Pokud ve středu tlakové výše atmosférický tlak stoupá, pak mluvíme o *mohutnění tlakové výše*, tedy o fázi rozvoje. V okamžiku, kdy atmosférický tlak v centru výše začne klesat, jedná se o *slábnutí tlakové výše* končící jejím zánikem.

Anticyklónám byla zpočátku věnována menší pozornost, protože nejsou spjaty se špatným počasím pro námořní dopravu. Označení „anticyclone“ bylo použito až zhruba 20 let po pojmenování cyklóny. Termín poprvé použil roku 1871 anglický vědec činný v mnoha oborech Francis Galton (1822–1911). Pojmenování poukazuje na charakter počasí opačný tlakovým nížím. V Čechách se výzkumem tlakových výší zabýval počátkem 20. století meteorolog a ředitel univerzitního meteorologického ústavu Stanislav Hanzlík (1878–1956). V roce 1907 publikoval svou první práci „O studených a teplých anticyklonách“ a v roce

1912 publikoval druhou práci, tentokrát o cyklónách „Prostorové rozdělení meteorologických prvků v cyklónách“[4].

5. *Fronty*

Setkají-li se dvě vzduchové hmoty, nesplynou spolu, protože mají odlišnou teplotu a hustotu. Namísto smíchání obou mas podklouzne hustší vzduch pod řidší a nadzvedne jej od zemského povrchu. Rozhraní mezi dvěma vzduchovými masami je nazýváno *frontou*. Fronty mají své pojmenování podle vzduchu, který jde za frontou. Při studené frontě je teplý vzduch nahrazen studeným, při teplé frontě je tomu naopak[3].

1.4.4 Coriolisova síla

Jedná se o uchylující sílu zemské rotace, která ovlivňuje vodorovné proudění vzduchu na zeměkouli. Tato síla se uplatňuje ve vztažné soustavě pevně spjaté s rotující Zemí. Příčinu tohoto jevu objevil francouzský matematik a strojní inženýr Gustave-Gaspard de Coriolis (1792–1843) v roce 1835[9].



Obrázek 6: Coriolisova síla

Zdroj: [23]

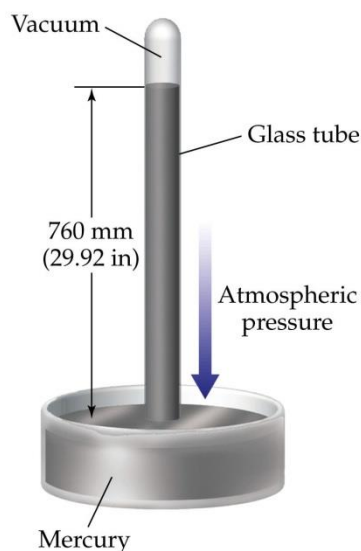
Coriolisova síla je přímo úměrná zeměpisné šířce a rychlosti pohybu vzdušných hmot. Na rovníku je tato síla nulová, na pólech je její velikost nejvyšší. Působí vždy kolmo na pohyb vzduchu, dráhu pohybu uchyluje na jižní polokouli doleva a na severní polokouli doprava. Právě Coriolisova síla způsobuje zpomalení vyrovnávání vodorovných tlakových rozdílů v ovzduší. Posun vzdušných mas má spirálovitý charakter vždy ve směru tlakového gradientu (spádu), to umožňuje existenci tlakových útvarů, jako jsou tlakové výše a tlakové níže.

Důsledek Coriolisovy síly je popsán Buys-Ballotovým zákonem. Pokud stojíme na severní polokouli tváří proti větru, pak se tlaková níže nachází po naší pravé straně, pokud se nacházíme na jižní polokouli, pak je tomu opačně. Pravidlo vychází z proudění větru po izobarických čarách kolem tlakových výší a níží.

Zákon je pojmenován po nizozemském geologovi, meteorologovi a admirálovi Christophu Buys-Ballotovi (1814–1890), který jej jako první empiricky ověřil. Buys-Ballot byl jedním z prvních, kdo viděl potřebu mezinárodní spolupráce v meteorologii, v roce 1873 se stal prvním předsedou Mezinárodní meteorologické organizace, která je předchůdkyní dnešní Světové meteorologické organizace (WMO).

1.4.5 Měření tlaku

Představu o tlaku vzduchu měl již Aristoteles. Působení této síly na uzavřený rtuťový sloupec objevil roku 1643 italský matematik a fyzik Evangelista Torricelli (1608–1647). Torricelli provedl první zdařilý experiment, kterým bylo prokázáno působení tlaku vzduchu. Torricelli si také povšiml, že tlak vzduchu se během času mění – hladina rtuti ve válci klesala a znovu stoupala. Díky experimentu si uvědomil, že tímto způsobem je možné tlak vzduchu měřit. Sestrojení prvního tlakoměru je připisováno italskému fyzikovi a Torricelliho příteli Vincenzu Vivianimu. Tímto způsobem vznikl první tlakoměr se skutečným vzduchoprázdnem, tzv. Torricelliho prázdnotou. [11]



Obrázek 7: Torricelliho pokus

Zdroj: [24]

Správnost Torricelliho názoru o ubývání tlaku vzduchu s nadmořskou výškou prokázal roku 1648 francouzský matematik, teolog a fyzik Blaise Pascal (1623–1662) se svým švagrem Périerem. Experiment založený na přesných srovnávacích měřeních s Torricelliho trubicí byl proveden na hoře Puy de Dome (1 465 m n. m.) a v Clermontu (470 m n. m.). Pascal jako první spočítal celkovou hmotnost atmosféry Země, která podle něho činila $8,23 \cdot 10^{18}$ liber $\approx 4 \cdot 10^{18}$ kg. Dnes je pro hmotnost atmosféry uváděna hodnota $5,1 \cdot 10^{18}$ kg. Pascalův výpočet se od dnešních odhadů řádově neliší.

Německý fyzik, vědec a vynálezce Otto von Guericke (1602–1686) roku 1660 předpověděl na základě výrazně silného poklesu tlaku blížící se vichřici[2].

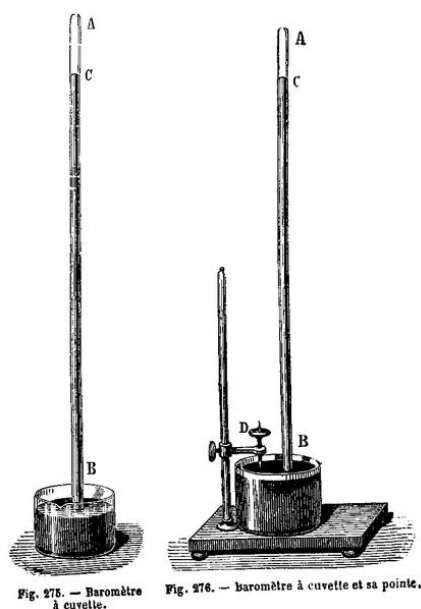
Anglický astronom Edmund Halley (1656–1742) roku 1685 vyslovil myšlenku, že přibývá-li výška řadou aritmetickou, ubývá tlak a hustota vzduchu řadou geometrickou. Tato věta se stala základem barometrického vzorce[1.4.2][2].

Pravidelná meteorologická měření byla v Čechách zahájena v roce 1752 v Praze na Klementinské hvězdárně. Toto měření pokračuje dodnes. Prvních 33 let měření teploty a tlaku vzduchu je neúplných a mnohdy byla prováděna odhadem, proto se za počátek považuje až rok 1775[4].

1.4.6 Tlakoměry

1. *Rtuťový barometr*

Tlakoměr je zařízení používané pro měření tlaku vzduchu. Základní rtuťové barometry jsou založeny na principu Torricelliho pokusu (viz Obrázek 7: Torricelliho pokus). Tlak vzduchu je v rovnováze s tíhou rtuťového sloupce. Stupnice je obvykle členěna po 0,1 mm dílcích. U takto získaných hodnot tlaku je nutná korekce na teplotu rtuti 0 °C a normální tíhové zrychlení. K zaznamenání změn tlaku vzduchu v čase se využívají barografy.



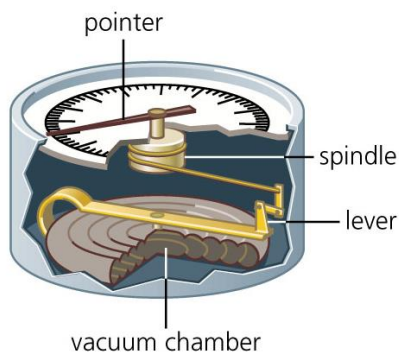
Obrázek 8: Torricelliho rtuťový barometr

Zdroj: [25]

2. *Aneroid*

První aneroid – pérový tlakoměr sestavil francouzský vynálezce a mechanik Lucien Vidie (1805–1866). Principem je tenkostěnná uvnitř vzduchoprázdná kovová krabička, tzv. Vidieho dóza, která se působením atmosférického tlaku deformuje. Míra deformace se přenáší na ručičku ukazující velikost atmosférického tlaku na stupnici. Práce s aneroidem byla oproti práci se

rtuťovým tlakoměrem podstatně jednodušší. Přístroj je menší, uzavřený a odolnější. Nehrozí únik toxické rtuti[11].



Obrázek 9: Aneroid

Zdroj: [26]

1.4.7 Jednotky

Vyjádření tlaku v jednotkách je rozmanité. Volba jednotek závisí na velikosti měřeného tlaku a na tom, je-li způsoben tíží nebo vnější silou, vždy se však jedná o jednotku vyjádřenou jednotkovou silou působící kolmo na jednotkovou plochu[11].

Barometry vyráběné v současnosti mívají často dvě stupnice, jednu v dříve používaných torrech a druhou v milibarech nebo hektopascalech.

1. *Bar*

Bar je vedlejší jednotkou tlaku v soustavě SI. Tato jednotka byla určena především k měření barometrického tlaku. Pojmenování jednotky bar navrhli v roce 1902 Helland-Hausen a Sandström na návrh Th. W. Richardse, a to převodem:

$$1 \text{ bar} = 10^6 \text{ dyn} \cdot \text{cm}^{-2} \quad (5)$$

Jednotkou tlaku v absolutní soustavě je síla 1 dynu ($\text{dyn} = \text{g} \cdot \text{cm} \cdot \text{s}^{-2}$), jež působí kolmo na plochu 1 cm^2 . Tlak jednoho baru je číselně roven jednomu

megadynu působícímu kolmo na plochu 1 cm^2 . Absolutní jednotkou síly je taková síla, která hmotě 1 g udělí zrychlení 1 cm s^{-2} . Této jednotce říkáme dyn. V metrické soustavě je jednotkou síly taková síla, která hmotě 1 kg udělí zrychlení 1 m s^{-2} [11].

Stálý mezinárodní meteorologický výbor přijal roku 1913 usnesení, podle kterého se měly údaje o stavu ovzduší uvádět v milibarech anebo v milimetrech sloupce kapalinové náplně barometru s náležitou redukcí.

Jeden bar odpovídá přibližně starší jednotce tlaku jedné atmosféry. Jedna atmosféra odpovídá přibližně normálnímu atmosférickému tlaku na hladině moře.

Jedna tisícina baru se označuje jako milibar, ten je číselně roven jednomu hektopascalu.

$$1 \text{ bar} = 10^5 \text{ Pa} \Rightarrow 1 \text{ mbar} = 1 \text{ hPa} = 100 \text{ Pa} \quad (6)$$

2. *Torr*

Torr je starší jednotkou hydrostatického tlaku nazvanou podle italského přírodovědce J. E. Torricelliho (1608–1647). Tlak 1 torr je číselně roven hydrostatickému tlaku vyvolanému 1 mm sloupcem rtuti. Jednotka torr byla roku 1980 zrušena a nahrazena jednotkou soustavy SI – pascal (Pa)[11].

$$1 \text{ torr} = 1 \text{ mm Hg} \approx 133,322 \text{ Pa} \quad (7)$$

Přesnější převod jednotek v torrech na jednotky v pascalech je dán definicí fyzikální atmosféry, jež byla původně definována jako 760 mm Hg a nyní je definována jako $101\,325 \text{ Pa}$.

$$1 \text{ torr} = \frac{101325}{760} \text{ Pa} \approx 133,322368 \dots \text{ Pa} \quad (8)$$

3. *Pascal*

Pascal je jednotkou tlaku v soustavě SI, udává velikost síly působící na jednotkovou plochu 1 m^2 . Jednotka nese jméno po francouzském fyzikovi a matematikovi Blaise Pascalovi (1623–1662). V meteorologii se obvykle atmosférický tlak měří v hektopascalech (hPa)[11].

V minulosti se také používala jednotka pièze, které odpovídá 1 kPa.

Převod mezi hPa a mb je

$$1 \text{ hPa} = 100 \text{ Pa} = 1 \text{ mb} \quad (9)$$

Pascal je odvozená jednotka ze soustavy SI a jeho rozměr je

$$1 \text{ Pa} = \frac{N}{\text{m}^2} = \frac{kg}{\text{m} \cdot \text{s}^2} \quad (10)$$

1.5 Teplota

Teplota je mírou, jak rychle se molekuly pohybují. Teplo je souhrnná energie všech pohybujících se molekul. Částice se neustále srážejí s různou silou a v náhodném směru, z čehož plyne i náhodnost okamžité polohy molekul. U studeného vzduchu je průměrná střední molekulová vzdálenost i rychlost kmitání molekul nižší. Molekuly jsou více nahuštěny, jejich kinetická energie je malá, proto je studený vzduch hustší než vzduch teplý, proto teplý vzduch stoupá nahoru[11].

Teplota vzduchu je meteorologickým prvkem vypovídajícím o tepelném stavu ovzduší. V meteorologii se teplotou vzduchu rozumí hodnota měřená v meteorologické budce přibližně ve výšce 2 m nad zemským povrchem s přesností na desetiny stupně. Místo měření je nutné zvolit s ohledem na minimalizaci vlivů okolí. Okolní předměty mohou velmi výrazně ovlivnit naměřené hodnoty. Pro předpověď počasí je obvykle udávána teplota vzduchu pro místa položená 400 m n. m.

Obor zabývající se měřením teploty se nazývá *termometrie*. Změnou teploty se mění i fyzikální vlastnosti hmoty. Tohoto jevu využíváme při měření teploty. Teploměr musí být v tepelné rovnováze s okolním vzduchem.

1.5.1 Měření teploty – historie

Myšlenkou měření teploty se zabýval již v druhém století před naším letopočtem matematik a konstruktér válečných strojů Filón Byzantský. První přístroj ke zjištění tepelných stavů – vzduchový termoskop – sestrojil v prvním století před naším letopočtem Herón Alexandrijský. Herónovy spisy studoval i italský přírodovědec Galileo Galilei (1564–1642), podle nich také přístroj sestrojil. Zdokonalení přístroje přinesl německý jezuita a vědec Gaspar Schott (1608–1666), který použil uzavřený systém s dvěma baňkami spojenými na koncích pomocí trubice tvaru U naplněné kapalinou. Jednalo se o rozdílový teploměr se vzduchem jako teploměrnou látkou. V roce 1631 francouzský lékař Jean Rey použil jako indikační látku vodu v otevřené baňce. První teploměr

tvarem podobný dnešním sestavil v roce 1641 Galileův žák, toskánský vévoda Ferdinand II. Tento teploměr byl naplněn lihem, sice se podobal dnešním teploměrům, ale stupnice byly libovolné, údaje se navzájem velmi lišily. Od roku 1720 se teploměry plnily rtutí[2].



Obrázek 10: Termoskop

Zdroj:[27]

1.5.2 Teploměry

Zařízením měřícím teplotu je teploměr. Jedná se o významově matoucí výraz, z čistě jazykového hlediska by člověk čekal, že teploměrem se měří teplo, to se však měří pomocí kalorimetru. Teploměry jsou i součástí mnoha dalších měřicích zařízení sloužících k měření jiných meteorologických prvků, jako je tomu i v případě psychrometru určeného ke stanovení vlhkosti vzduchu.

Většina teploměrů pracuje na principu tepelné roztažnosti jednotlivých látek. K měření využíváme dilatační, odporové a termoelektrické teploměry.

1. Dilatační teploměry

Dilatační teploměry využívají změny objemu látek se stoupající teplotou. Naměřené hodnoty zobrazují přímo či nepřímo. Dilatační teploměry jsou děleny podle použité teploměrné látky na kapalinové, plynové nebo teploměry využívající roztažnosti pevných látek.

Kapalinový teploměr

V těchto teploměrech se k měření teploty využívá teplotní objemové roztažnosti teploměrné kapaliny. Teploměr se skládá z rezervoáru s kapilárou a stupnice. S vyšší teplotou teploměrné médium (rtuť, líh) mění svůj objem a stoupá v kapiláře. Použitá kapalina by měla být neprůhledná pro usnadnění odečítání měřených hodnot. Citlivost kapilárových teploměrů roste s objemem rezervoáru a menším poloměrem kapiláry. Toto měření má přesnost na desetiny stupně[11].

Jako teploměrné médium se v minulosti nejčastěji používala rtuť. Při rozbití teploměru však hrozilo nebezpečí vdechnutí toxických par uvolněných z rozlité rtuti a následné poškození dýchacích cest nebo otrava, z těchto důvodů od roku 2009 nesmí být rtuťové teploměry uváděny na trh. Dnes se nejčastěji kapilára teploměru plní galiem nebo obarveným lihem.

Plynové teploměry

Plynové teploměry využívají teplotní roztažnosti plynu, například dusíku, vodíku či helia, jímž je naplněno měřicí tělísko tvořící citlivou část stonku. Tlak plynu je převeden na výchylku ručky prostřednictvím mechanismu podobného jako u manometru s Bourdonovým perem. Plynový teploměr má vysokou přesnost a je odolný vůči mechanickým rázům i otřesům[11].

Teploměry využívající roztažnosti pevných látek

Teplotní délková roztažnost je fyzikální jev, při kterém se délka tělesa zahřátého o určitou teplotu zvětší v daném směru o určitou délku.

Bimetalový teploměr tento princip využívá. Teploměr obsahuje pásek složený ze dvou kovů s různými teplotními součiniteli délkové roztažnosti. Změnou teploty se pásek ohýbá a pohyb se následně přenáší na ručku přístroje[11].

2. Teploměry využívající elektrické jevy

Odporové teploměry

Měření využívá závislost elektrického odporu vodiče na teplotě. Zásadní součástí u tohoto typu teploměru je *termistor*.

Termistor je elektrotechnická součástka, jejíž elektrický odpor je závislý na teplotě. Termistory mají velký vnitřní odpor, odpor přívodních vodičů je proto zanedbatelný. Tyto součástky se vyrábějí z oxidů různých kovů, např. Mn, Co, Ni, Cu, Ti, U aj. Oxid je rozemlet na velmi jemný prášek a s příměsí a pojidly za vysokého tlaku a teploty (přes 1000 °C) slisován na žádaný tvar. Termistory pracují pouze s malými proudy. Jedná se velmi citlivý měřicí senzor[11].

Termoelektrické teploměry

Termoelektrické teploměry k měření teploty využívají termoelektrický jev, při kterém je pohyb elektronů jako nositelů elektrického proudu významným způsobem ovlivněn teplotou. Termoelektrický jev popisuje proces přímé přeměny rozdílu teplot na rozhraní dvou kovů na elektrické napětí[11].

Polovodičové teploměry

U polovodičových odporových teploměrů stejně jako u kovových odporových teploměrů dochází s měnící se teplotou ke změně elektrického

odporu. Jedná se o závislost charakteristik polovodičového prvku (napětí přechodu P-N, zesilovací činitel) na teplotě. Polovodičové teploměry dělíme na monokrystalické a termistory, ty pak dále dělíme na pozistory a negastory[11].

Monokrystalické teploměry se využívají zejména při měření extrémně nízkých teplot, kde je využito jejich velké citlivosti. Nejčastěji se k výrobě čidla používá germanium, křemík a indium.

Termistory se podle vlastností rozdělují na pozistory, u kterých se vzrůstající teplotou roste hodnota odporu, a na negastory, u nichž hodnota odporu se vzrůstající teplotou klesá. Na rozdíl od kovových odporových teploměrů mají podstatně vyšší teplotní koeficient, a to až 50x.

3. Kalibrace teploměrů

Digitální teploměry patří mezi Elektronická pracovní měřidla a jejich kalibrace a ověřování přesnosti je prováděno dle zákona č. 505/1990 Sb., o metrologii.

1.5.3 Stupnice a jednotky

Pro získání jednotných výsledků měření bylo nutné stanovit společné měřítko všech výsledků, jednotnou teplotní stupnici nezávislou na použitém měřidle.

Jeden z prvních pokusů o stanovení stupnice provedla v 16. století Akademie ve Florencii. Vědci použili spirálovitě stočenou trubičku rozdělenou na 300–400 totožných dílků.

Lineárním vkládáním hodnot mezi dvě pevně dané teploty bylo zavedeno mnoho stupnic, např. teplota rtuťová, lihová, platinová, které se od sebe lišily s přibývajícím vzdáleností měřené teploty od zvolených referenčních teplotních bodů.

1. **Kelvinova stupnice**

Kelvinova teplotní stupnice byla navržena v polovině 19. století. Britský fyzik William Thomson, známý také jako Lord Kelvin, vytvořil stupnici, ke které se váží dva referenční body, prvním je 0 K teplota rovná absolutní nule a druhým je 273,16 K teplota trojného bodu vody. Kelvinova teplotní stupnice je používána pro určování termodynamické teploty[11].

2. **Réaumurova stupnice**

Réaumurova teplotní stupnice byla navržena okolo roku 1730 francouzským vědcem René de Réaumurem (1683–1757). Stupnice vznikla 12 let před vytvořením stupnice Celsiovy, ve své době byla velmi rozšířená a používala se až do 20. století.

Teplotu mrznutí vody Réaumur označil číslem 0, přírůstek teploty o 1 °R odpovídal zvýšení objemu 80% lihu v lihovém teploměru o 1/1000. Teplota 80 °R je bodem varu vody při normálním atmosférickém tlaku 1013,25 hPa.

$$R = \frac{4}{5} \cdot C \quad (11)$$

$$R = \frac{4(F-32)}{9} \quad (12)$$

$$R = \frac{4(K-273,15)}{5} \quad (13)$$

kde

- K je teplota v Kelvinech
- F je teplota ve stupních Fahrenheita
- C je teplota ve stupních Celsia
- R je teplota ve stupních Réaumura

3. **Fahrenheitova stupnice**

Stupnici určil německý fyzik Gabriel Fahrenheit (1686–1736), který vycházel ze dvou základních referenčních bodů. Nejnižší teploty, jež se mu podařilo dosáhnout smícháním chloridu amonného (NH_4Cl), vody a ledu. Druhým referenčním bodem určil normální teplotu lidského těla 98 °F. V dnešní

době za referenční body považujeme 32 °F pro bod mrznutí vody a 212 °F bod varu vody. Rozdíl těchto dvou bodů je 180 stupňů, proto jeden stupeň Fahrenheita je roven 5/9 kelvinu nebo Celsiova stupně.

V dnešní době se Fahrenheitova stupnice nejvíce uplatňuje v USA.

Přepočítání na jiné jednotky:

$$F = \frac{9K}{5} - 459,67 \quad (14)$$

$$F = \frac{9C}{5} + 32 \quad (15)$$

$$F = \frac{9R}{4} + 32 \quad (16)$$

kde

- K je teplota v Kelvinech
- F je teplota ve stupních Fahrenheita
- C je teplota ve stupních Celsia
- R je teplota ve stupních Réaumura

4. **Celsiova stupnice**

V současné době je nejpoužívanější stupnicí Celsiova stupnice, která byla vytvořena roku 1742 švédským geodetem a matematikem Andresem Celsiem (1701–1744). Nejdříve byla škála oproti dnešní opačná: 100 °C – teplota tání ledu a 0 °C – teplota bodu varu vody (obojí při normálním tlaku vzduchu 1013,25 hPa). Tuto stupnici později převrátil švédský přírodovědec a lékař Carl Linné (1707–1778), proto je dnes 0 °C bodem tání ledu a 100 °C bodem varu. V minulosti byl Celsiův stupeň určen jako jedna setina rozdílu teplot mezi bodem tání ledu a bodem varu vody. Dnes je Celsiův stupeň odvozen pomocí trojného bodu vody, jemuž je přiřazena teplota 0,01 °C. Absolutní velikost jednoho dílku Celsiovy teplotní stupnice je rovna 1 K.

Přepočet na jiné jednotky

$$C = (F - 32) \cdot \frac{5}{9} \quad (17)$$

$$C = K + 273,15^\circ \quad (18)$$

$$C = \frac{5}{4} \cdot R \quad (19)$$

kde

- K je teplota v Kelvinech
- F je teplota ve stupních Fahrenheita
- C je teplota ve stupních Celsia
- R je teplota ve stupních Réaumura

5. *Dohoda o způsobu měření teplot*

Mezinárodní výbor pro míry a váhy (BIPM) vydal v roce 1887 dohodu o způsobu měření teplot. Tato dohoda vycházela ze stodílkové stupnice vodíkového teploměru se dvěma pevnými teplotami. Byly to teplota tání ledu (0 °C) a teplota varu destilované vody (100 °C) při normálním atmosférickém tlaku 1013,25 hPa.

1.5.4 Měření v meteorologické praxi

Na meteorologických stanicích se zjišťuje aktuální denní teplota. Z naměřených dat se určuje denní maximální a minimální teplota. Dále je měřeno i přízemní minimum. Průměrná denní teplota je stanovena z 3 měření během dne, a to v 7, 14 a 21 hodin v tzv. „mannheimských hodinách“. Teplota naměřená ve 21 hodin má nejvyšší váhu.

Vzorec pro výpočet průměrné denní teploty:

$$t_d = \frac{t_7 + t_{14} + 2 \cdot t_{21}}{4} \quad (20)$$

Asi nejstarším zaznamenaným souvislým měřením teploty vzduchu jsou záznamy z let 1654–1670 v Pise a ve Florencii v Itálii.

Pravidelná meteorologická měření teploty byla v Čechách zahájena v roce 1752 v Praze na Klementinské hvězdárně. Toto měření pokračuje dodnes. Prvních 33 let měření teploty vzduchu je neúplných, proto se za počátek považuje až rok 1775[4].

Ve 30. letech 20. století začali meteorologové a klimatologové věnovat zvýšenou pozornost kolísání klimatu, proto vzrostl zájem o dlouhodobá historická měření jako např. klementinská.

2 Metodika měření

Návod pro pozorovatele automatizovaných meteorologických stanic vydaný Českým hydrometeorologickým ústavem v roce 2014 slouží k synchronizaci podmínek měření a k lepší srovnatelnosti dat z různých meteorologických stanic rozmístěných po celé ČR[14].

2.1 Synchronnost časů měření

Měření a záznam meteorologických prvků musí být kontinuální, operativní poskytování dat je v hodinových intervalech s doplněním o desetiminutová měření. Pravidelná měření se provádějí v klimatologických termínech 07, 14 a 21 místního středního slunečního času a v 08, 15 a 22 v době platnosti středoevropského letního času[14].

V současnosti je používán pro synchronizaci měření světový čas Universal Time Coordinated – *koordinovaný světový čas*, nahrazující od roku 1986 dříve užívaný Greenwich Mean Time – Greenwichský čas. Ve většině evropských států je používán *Středoevropský čas*, který je stanoven jako Koordinovaný světový čas + 1 hodina. V letním období je zaváděn středoevropský letní čas, který je stanoven jako Koordinovaný světový čas + 2 hodiny. V České republice je používán středoevropský čas, tedy střední sluneční čas 15. poledníku východní délky. Místní střední sluneční čas na našem území je stanoven korekcí tohoto středoevropského času. Úprava činí 4 minuty na 1 ° zeměpisné délky, pro stanice nacházející se na východ od 15. poledníku je nutný odečet od středoevropského času, pro stanice nacházející se na západ se příslušný počet minut přičítá[14].

2.2 Umístění stanice

Meteorologickou stanicí je zařízení sloužící pro měření meteorologických prvků. Meteorologických stanic je více druhů, na typické stanici jsou prováděna měření teploty vzduchu, vlhkosti vzduchu, atmosférického tlaku, rychlosti

a směru větru, množství vodních srážek, množství napadaného sněhu. Kromě kalibrovaných meteorologických stanic používaných meteorology je meteorologickou stanicí nazýváno i menší zařízení měřící různé meteorologické jevy.

Kvalitu měřených dat velmi ovlivňuje umístění meteorologické stanice. Vybrané místo by nemělo být v bezprostřední blízkosti staveb nebo vysokých stromů. Doporučené rozměry pozemku pro umístění meteorologické stanice jsou min. 20 x 20 m. Pokud je stanice umístěna v zástavbě, musí být v dostatečné vzdálenosti od všech překážek. Terén pozemku by měl být rovný a pokrytý nízkým trávníkem. Trávník musí být udržován ve výšce cca 5 cm, posečenou travu je nutné z pozemku odstranit. Asfaltové či dlážděné povrchy by do naměřených dat vnesly chybu[14].

2.3 Senzory

Tlakoměry: V síti Českého hydrometeorologického ústavu se obvykle používají digitální barometry PTB řady 220 nebo 330. Měřicí jednotka je senzor Vaisala Barocap (kapacitní čidlo absolutního tlaku vzduchu na bázi křemíku[14].

Teploměry: Pro snímání teploty a vlhkosti vzduchu se používá senzor umístěný na rameni stožáru, krytý před přímými povětrnostními vlivy ve výšce 2 m nad povrchem země. V síti Českého hydrometeorologického ústavu se obvykle používají senzory řady HMP (Vaisala), starší řada HMP35D nebo HMP45D, nebo novější HMP155. Sonda má pevnou konstrukci, senzor je chráněn filtrem poskytujícím maximální ochranu proti vodě, prachu a nečistotám[14].

2.4 Meteorologická budka

Meteorologická budka je bílá dřevěná či plastová skříňka s dvojitými žaluziovými stěnami, dvojitou střechou a perforovaným dnem zajišťujícím přirozenou ventilaci přístrojů. Je nutné dvířka meteorologické budky orientovat

na sever. Výšky pro osazení přístrojů musí být dodrženy např. teploměrné senzory by měly být ve výšce 2 m nad povrchem. Dřevěná budka by měla být celá z venkovní i vnitřní strany natřena bílým lesklým lakem. Při horší viditelnosti je povoleno osvětlovat vnitřek budky při odečítání naměřených hodnot pouze kapesní svítilnou[14].

2.5 Kalibrace

Přípustná chyba pro měřidla teploty vzduchu používaná Českým hydrometeorologickým ústavem je $\pm 0,02$ °C a pro měřidla atmosférického tlaku je přípustná chyba $\pm 0,01$ %. Pro oba typy měřidel v celém rozsahu[14].

Meteorologické přístroje i senzory musí mít platnou kalibraci, která zaručuje srovnatelné měření na všech stanicích v síti Českého hydrometeorologického ústavu[14].

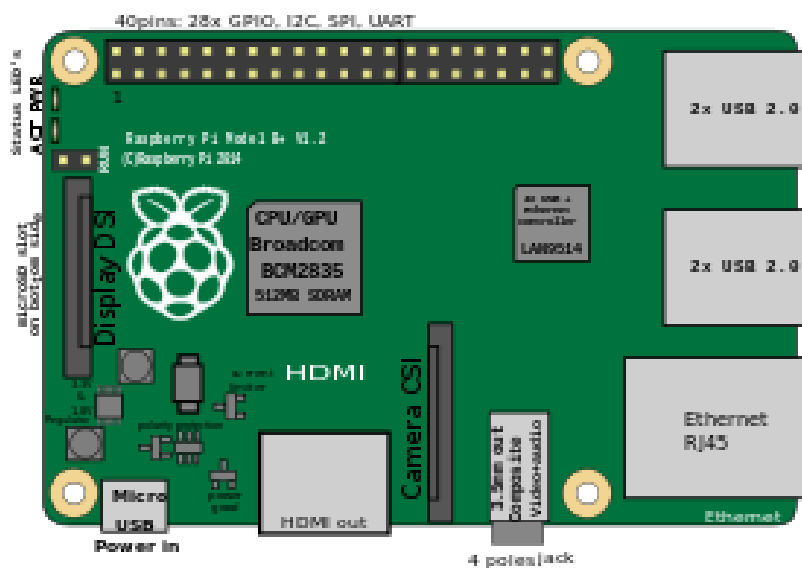
3 Domácí meteorologická stanice

Domácí meteorologická stanice je sestavena z mikropočítače Raspberry Pi B+ a senzoru BMP180. Raspberry Pi B+ bylo vybráno pro svou nízkou cenu a vysokou variabilitu využitelnosti. Data jsou uložena v MySQL databázi na NASu (Network Attached Storage) Synology DS213j. Databáze MySQL byla vybrána, protože je jako jediná podporována použitým serverem.

3.1 Raspberry Pi B+

První typ Raspberry Pi byl zkonstruován v roce 2012 britskou nadací Raspberry Pi Foundation s vizí podpořit výuku informatiky ve školství. Studenti se mohli seznámit s řízením různých zařízení pomocí počítače. Raspberry Pi je svým výkonem srovnatelné se slabším stolním počítačem. Jeho součástí je HDMI vývod pro monitor, pomocí USB je možné připojit myš nebo klávesnici. Raspberry Pi je možné použít i jako multimediální přehrávač hudby či videa nebo pro přístup k Internetu. Bylo již vyvinuto několik generací Raspberry Pi lišících se možným použitím i výkonem.

Raspberry Pi B+ byl na trh uveden v červenci roku 2014.

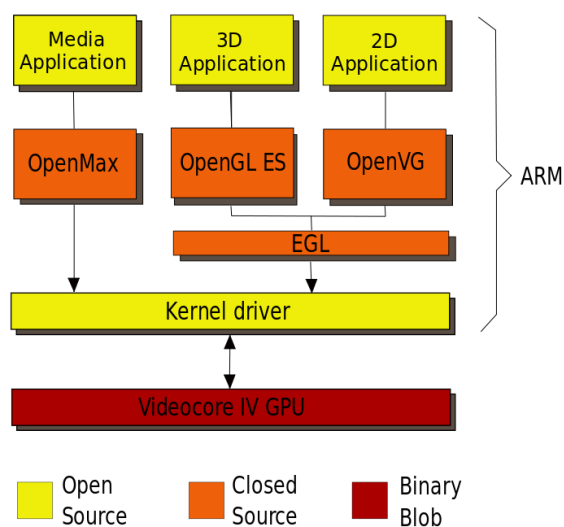


Obrázek 11: Raspberry Pi B+

Zdroj: [16]

Raspberry Pi má operační systém Raspbian. Jedná se o operační systém na bázi Linuxu, jenž využívá unixové jádro a respektuje příslušné standardy Single UNIX Specification a POSIX. Operačním systémem Raspberry Pi mohou být např. různé distribuce Linuxu, ale i Windows 10 IoT Core od firmy Microsoft.

Použitý mikroprocesor patří mezi ARM. Architektura těchto mikroprocesorů se nejčastěji uplatňuje v menších zařízeních, jako jsou telefony a tablety nebo ve vestavěných systémech jako jsou routery či pevné disky. Velkou výhodou je nízká spotřeba energie i při vysokém výpočetním výkonu. Nízkopříkonové procesory nepotřebují složité a relativně nespolehlivé chlazení. První mikroprocesor s architekturou ARM byl zkonstruován již v roce 1984, o 23 let později byla tato architektura již zastoupena v 98 % z více než jedné miliardy každoročně prodaných mobilních telefonů[15].



Obrázek 12: Schéma ARM

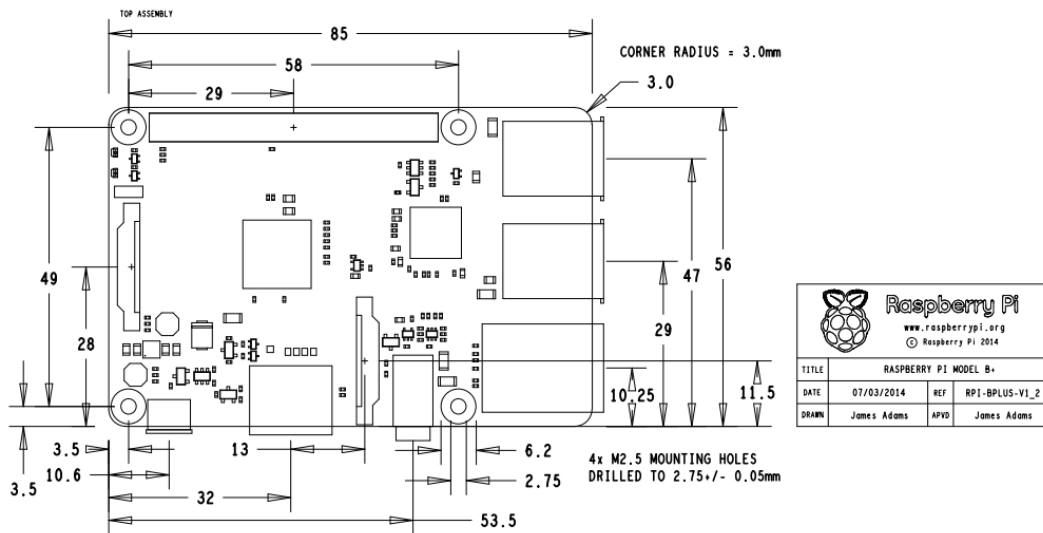
Zdroj: [16]

Parametry použitého Raspberry Pi model B+

| | |
|----------------|--|
| CPU | ARM1176JZF-S (700 MHz) |
| Memory (SDRAM) | 512 MB (sdílené s GPU) |
| Konektivita | 4 x USB 2.0 24 x GPIO HDMI Micro USB (pro napájení) RJ-45 (10/100 Mbit/s Ethernet) Slot na SD kartu |
| Zdroj | 600 mA (3.0 W) |
| Velikost | 85.60 mm × 56.5 mm (3.370 in × 2.224 in) |
| Váha | 45 g (1.6 oz) |

Tabulka 1: Parametry Raspberry Pi model B+

Zdroj:[16]



Obrázek 13: Schéma Raspberry Pi B+

Zdroj: [28]

3.2 Senzor pro měření barometrického tlaku a teploty BMP180

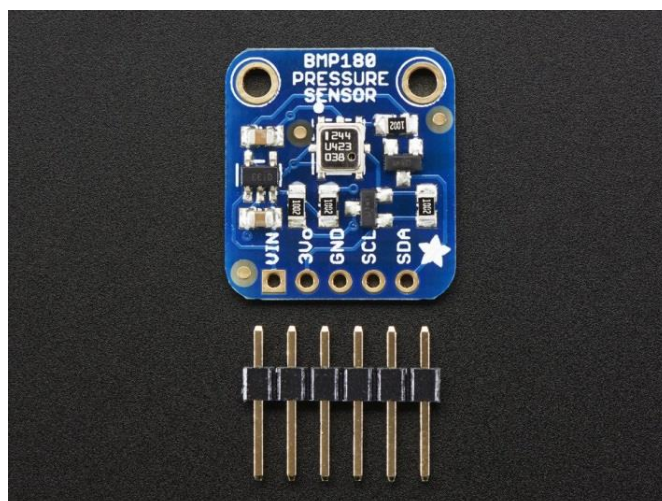
Senzor BMP180 byl vyvinut firmou Bosch. Jedná se o jeden z mála senzorů s nízkou pořizovací cenou a poměrně vysokou přesností naměřených dat. Senzor je schopen měřit teplotu, barometrický tlak a změny tlaku, ze kterých je možné určit změnu nadmořské výšky. Atmosférický tlak může být použit jako jednoduchý prediktor počasí, sledujeme-li tlakové systémy[17].

Parametry použitého senzoru BMP180

| | |
|-------------------------|----------------------------------|
| Měření tlaku - rozsah | 300 - 1100 hPa |
| Měření nadmořské výšky | 500 m - 9000 m nad hladinou moře |
| Přesnost měření tlaku | 0.03hPa / 0.25m |
| Měření teploty - rozsah | -40 až +85°C |
| Přesnost měření teploty | ± 2°C |

Tabulka 2: Parametry senzoru BMP180

Zdroj:[17]

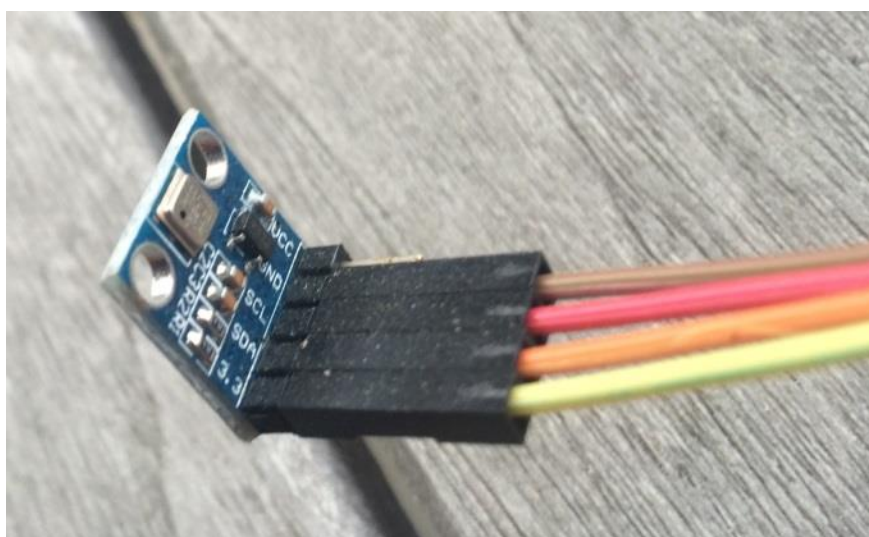


Obrázek 14: Senzor BMP180

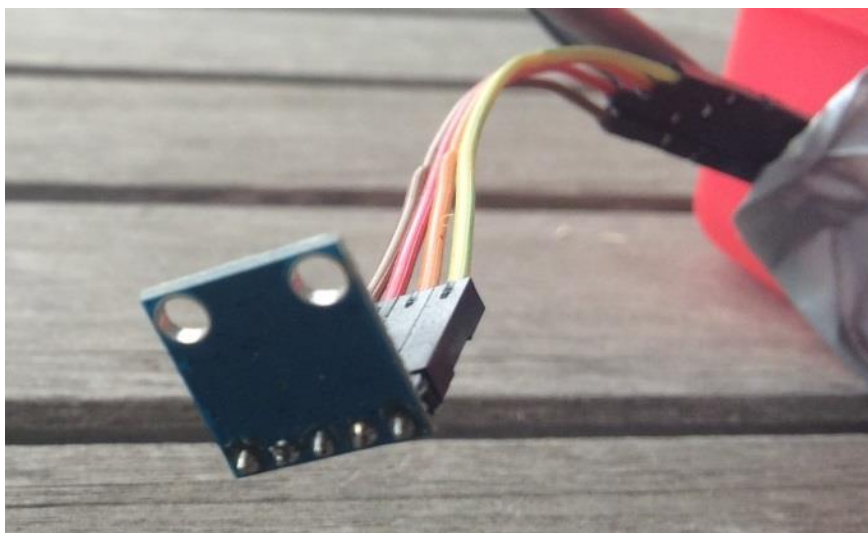
Zdroj: [17]

3.3 Sestavení meteorologické stanice

Na senzor BMP180 byly připájeny oboustranné kolíky, které byly propojeny pomocí vodičů s mikropočítačem Raspberry Pi B+.



Obrázek 15: Zapojení senzoru BMP180



Obrázek 16: Zapojení senzoru BMP180

Raspberry je uloženo v antistatickém obalu. Proti změnám teplot je chráněno polystyrenem v umělohmotné krabici. Celý systém je instalován ve výšce 1,5 metru nad povrchem země na místě chráněném před deštěm.

3.4 Script

Pro Raspberry byl napsán script ve scriptovacím jazyce Python. Script po 10 minutách získává data ze senzoru BMP180 a z api internetového portálu forecast.io. Tato data se ukládají na server Synology DS231j. Data z api internetového portálu byla využívána pouze pro porovnávání, v bakalářské práci nejsou využita. Při výskytu chyby script dosadí za chybějící hodnotu číslo -200.

Ve scriptu není zohledněn přechod k středoevropskému letnímu času 27.3.2016, toto je řešeno až ve vlastním zpracování dat.

Popis scriptu:

| Řádek | Činnost |
|---------|--|
| 1.3 | Přidání knihovny pro komunikaci se senzorem |
| 4.12 | Přidání referencí |
| 15 - 57 | Hlavní funkce |
| 59 | Volání hlavní funkce při prvním spuštění |
| Řádek | Části hlavní funkce |
| 18 | Stážení informací o počasí z api forecast.io |
| 19 - 21 | Roztřídění stažených dat z internetu |
| 23 - 24 | Hodnota pro případ chyby |
| 28 - 30 | Získání teploty CPU |
| 32 | Hodnota pro případ chyby |
| 36 - 38 | Získání dat ze senzoru |
| 40 - 42 | Hodnota pro případ chyby |
| 46 - 54 | Odeslání dat na MySQL server |
| 55 | Rekurzivně zavolá funkci za 600 s |

Tabulka 3: Popis scriptu

```

1  #!/usr/bin/python
2  import Adafruit_BMP.BMP085 as BMP085
3  sensor = BMP085.BMP085()
4  #!/usr/bin/python
5  import MySQLdb
6  import time
7  import os
8  from pprint import pprint
9  import json
10 import requests
11 import threading
12 import thread
13
14
15 def f():
16     #Forecast IO API
17     try:
18         r =
19             requests.get('https://api.forecast.io/forecast/eb1a583f1097d28b055f4c9fcc2718f
20                 b/50.174621.02015.849055?units=si')
21         j = json.loads(r.text)
22         owmt = float(j['currently']['temperature'])
23         owmp = float(j['currently']['pressure'])
24     except:
25         owmt = -200
26         owmp = -200
27
28     #CPU temp
29     try:
30         cmd = '/opt/vc/bin/vcgencmd measure temp'
31         line = os.popen(cmd).readline().strip()
32         cpu = int(float(line.split('=')[1].split('"')[0]))
33     except:
34         cpu = -200
35
36     #Main temps
37     try:
38         t = '{0:0.2f}'.format(sensor.read_temperature())
39         p = float('{0:0.2f}'.format(sensor.read_pressure()))/100
40         sp = float('{0:0.2f}'.format(sensor.read_sealevel_pressure()))/100
41     except:
42         t = -200
43         p = -200
44         sp = -200
45
46     #Mysql insert
47     try:
48         db = MySQLdb.connect(host="10.0.0.3",
49                             user="raspberry",
50                             passwd="JMjTLfj4KbKKV7B",
51                             db="weather")
52
53         cur = db.cursor()
54         cur.execute("INSERT INTO `weather`.`dataNew` (`id`, `time`, `temperature`,
55             `pressure`, `pressureSea`, `cpuTemperature`, `temperature2`, `pressure2`)
56             VALUES
57             (NULL, '"+time.strftime('%Y-%m-%d %H:%M:%S')+"', '"+str(t)+"', '"+str(p)+"',
58             '"+str(sp)+"', '"+str(cpu)+"', '"+str(owmt)+"', '"+str(owmp)+"'")
59         db.commit()
60         db.close()
61         threading.Timer(600, f).start()
62     except:
63
64 f()


```

Obrázek 17: Script

3.5 Databáze MySQL

MySQL je multiplatformní databází, s níž komunikace probíhá prostřednictvím jazyka SQL. MySQL je snadno implementovatelná na MS Windows, Linux i jiné operační systémy. Jedná se o volně šiřitelný software s vysokým výkonem.

Databáze MySQL je optimalizovaná na vysokou rychlost s jednodušším způsobem zálohování. V posledních letech je MySQL databáze doplňována o další rozšíření možností.

| # | Název | Typ | Porovnávání | Vlastnosti | Nulový | Výchozí | Další |
|--------------------------|--|----------|-------------|------------|--------|---------|----------------|
| <input type="checkbox"/> | 1 id  | int(11) | | | Ne | Žádná | AUTO_INCREMENT |
| <input type="checkbox"/> | 2 time | datetime | | | Ne | Žádná | |
| <input type="checkbox"/> | 3 temperature | double | | | Ne | Žádná | |
| <input type="checkbox"/> | 4 pressure | double | | | Ne | Žádná | |
| <input type="checkbox"/> | 5 pressureSea | double | | | Ne | Žádná | |
| <input type="checkbox"/> | 6 cpuTemperature | int(11) | | | Ne | Žádná | |
| <input type="checkbox"/> | 7 temperature2 | double | | | Ne | Žádná | |
| <input type="checkbox"/> | 8 pressure2 | double | | | Ne | Žádná | |

Tabulka 4: Struktura tabulky dat v databázi

Na server byla nainstalována služba MySQL, ve které byla vytvořena databáze obsahující jednu tabulku s výše uvedenou strukturou. V databázi jsou uložena data ze senzoru BMP180 a data z api forecast.io s příslušnými časy a ID.

3.6 Server Synology DS213j

Server Synology DS213j je two-bay NAS (Network Attached Storage) nabízející ukládání, sdílení a zabezpečení souborů, ale také umožňuje instalaci služeb pomocí pluginů např. MySQL nebo Apache server.

| parametry modelu | Synology DS213j |
|----------------------------|---------------------------------------|
| - procesor | 1,2 GHz, Marvell Armada 370 |
| - paměť RAM | 512 MB |
| - paměť flash | neuvádí |
| - porty vpředu vzadu | -- 2 × USB 2.0 |
| - počet disků pole RAID | 2 single, JBOD, RAID 0, RAID 1, SHR |
| - maximální velikost disků | 8 TIB (2 × 4 TIB) |
| - souborový systém | EXT4, EXT3, FAT, NTFS, HFS+ |
| - síťové rozhraní | 1 × Gigabit (RJ45) |
| - síťové protokoly | AFP, NFS, FTP, iSCSI, SMB |
| - firmware | DSM 4.3-3810 |
| - čeština | ano |
| - rozměry (v × š × h) | 165 × 100 × 225,5 mm |

Tabulka 5: Parametry serveru Synology DS213j

Zdroj: [18]

4 Zpracování dat

4.1 Popis měření

Meteorologická stanice skládající se z Raspberry Pi B+ a senzoru BMP180 byla umístěna na zastřešené terase na Novém Hradci Králové (50.1755739N, 15.8493328E) ve výšce 1,5 m nad dlážděným povrchem a 1,5 m pod střechou [Obrázek 19].

Stanice byla uvedena do provozu na konci listopadu 2015. Zimní měsíce byly pro měření vybrány záměrně pro velké teplotní rozdíly. Měření původně mělo probíhat v průběhu ledna a února 2016. Z důvodu výpadku v naměřených datech v únoru, v době mé nepřítomnosti, jsem nakonec ke srovnání s daty získanými od Českého hydrometeorologického ústavu použila data za měsíce leden a březen 2016.

Český hydrometeorologický ústav provádí své měření na Novém Hradci Králové (50.1774942N, 15.8390436E). Místa měření jsou od sebe vzdálena cca 800 m a jsou ve srovnatelné nadmořské výšce. Kvalitu naměřených dat na domácí meteostanici negativně ovlivňuje nevhodné umístění v těsné blízkosti domu, což je dobře vidět na naměřených datech teploty.

Naměřená data, spolu s daty poskytnutými z ČHMÚ, jsou uložena na CD, které je přílohou bakalářské práce. V následujících kapitolách jsou uvedeny pouze zpracované hodnoty.



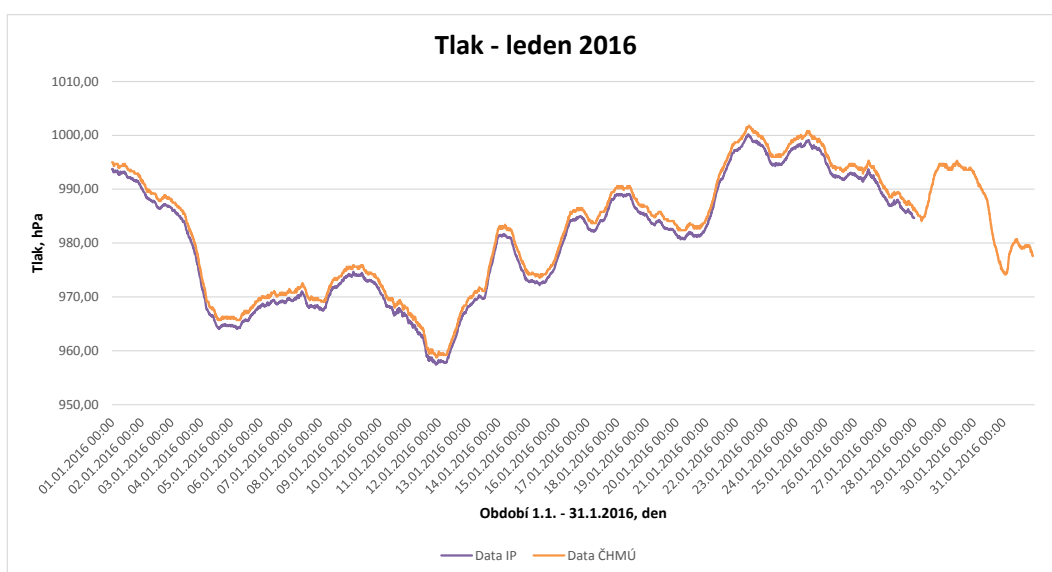
Obrázek 18: Zapojení Raspberry Pi B+



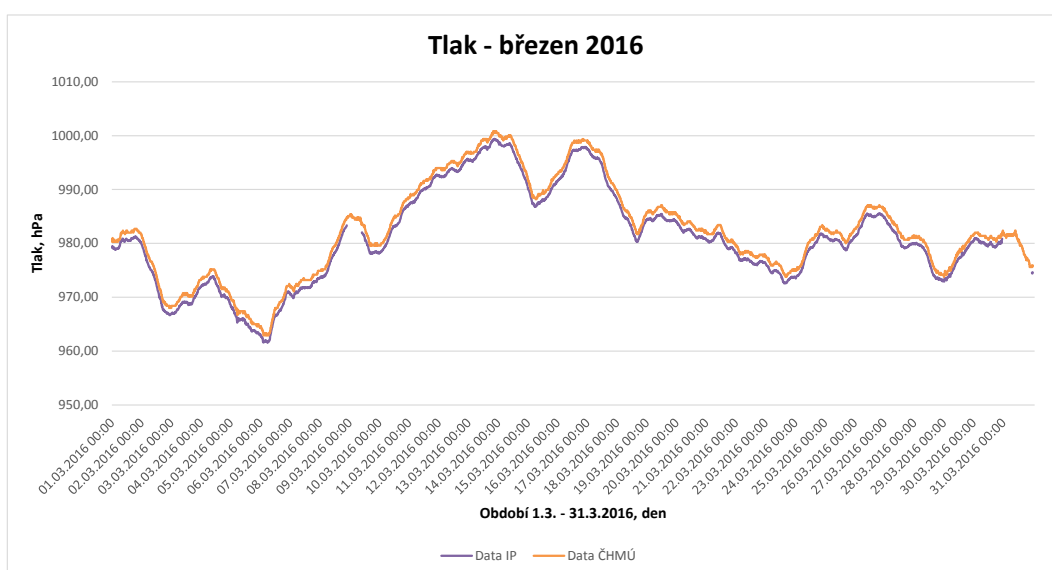
Obrázek 19: Umístění meteostanice

4.2 Měření tlaku

Z grafů č.1 a č.2 je jasně vidět, že hodnoty barometrického tlaku naměřené na domácí meteostanici téměř dokonale kopírují hodnoty naměřené ČHMÚ. V období 28.1.-31.1, 9.3. a 31.3.2016 došlo k výpadku měření, proto grafy obsahují pouze hodnoty poskytnuté z ČHMÚ.

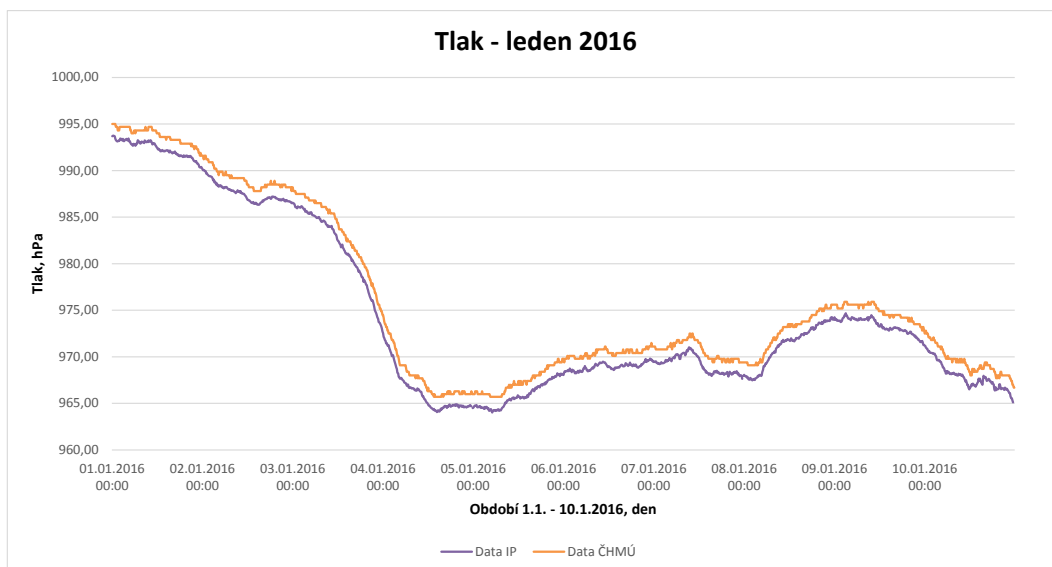


Graf 1: Barometrický tlak 1.1.-31.1.2016

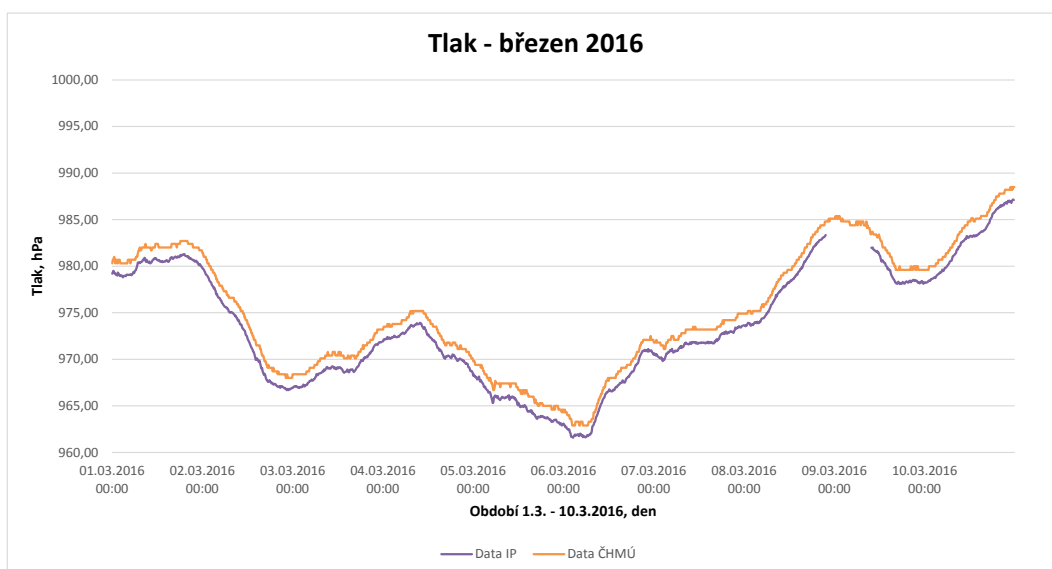


Graf 2: Barometrický tlak 1.3.-31.3.2016

Grafy č.3 a č.4 jsou uvedeny pro lepší rozlišení výsledků. Jedná se o srovnání naměřených dat tlaku v rozmezí dvou vybraných desetidenních intervalů.

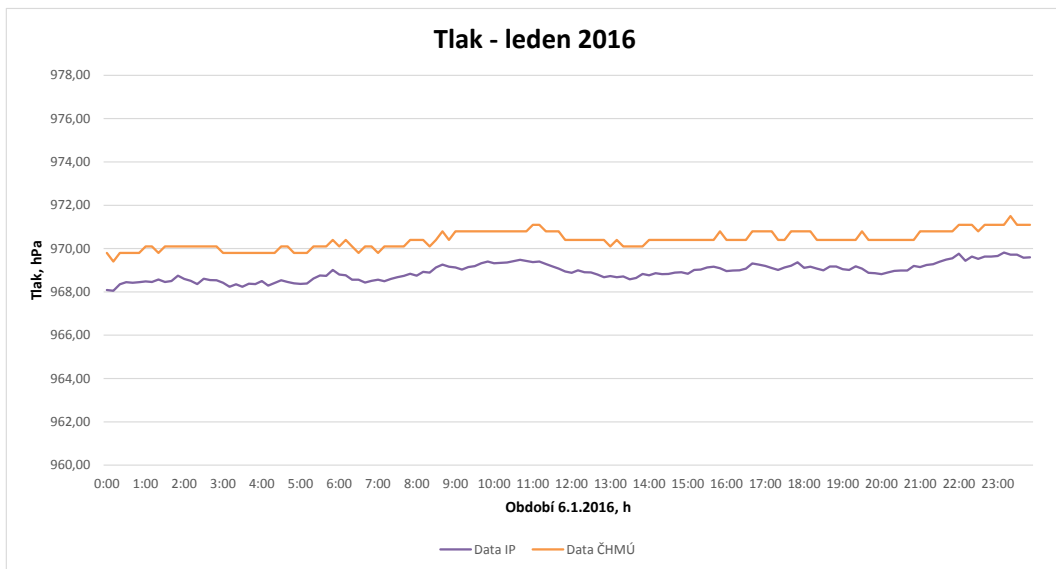


Graf 3: Barometrický tlak 1.1.-31.1.2016

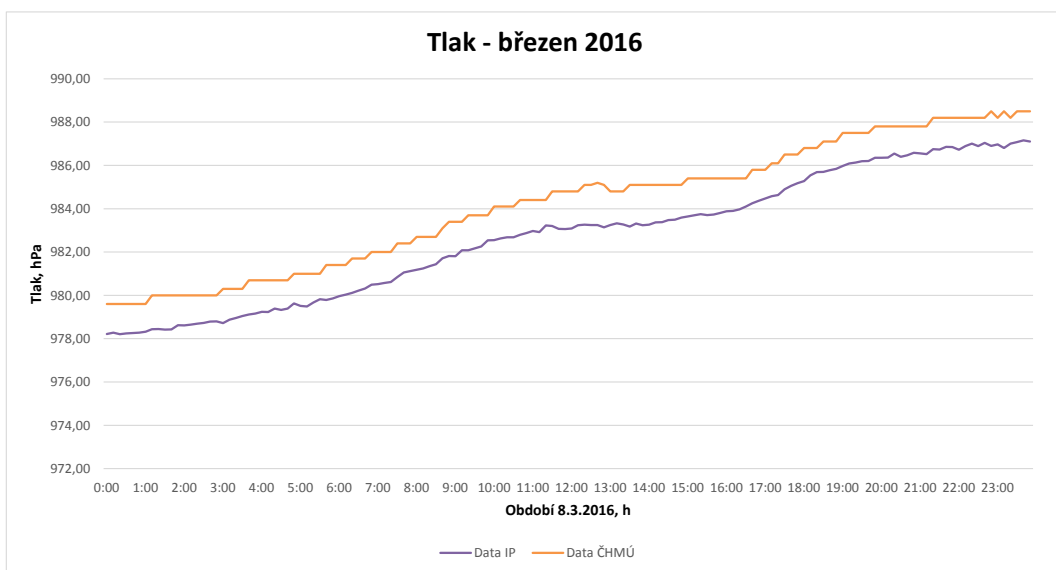


Graf 4: Barometrický tlak 1.3.-31.3.2016

Na grafech č.5 a č.6 je detailní srovnání jednodenních dat naměřených na mé meteostanici a dat získaných od ČHMÚ. Na těchto grafech, ale i na předcházejících grafech, je dobře patrné, že naměřené hodnoty velmi dobře odpovídají hodnotám z ČHMÚ. Hodnoty naměřené domácí meteostanicí jsou poněkud nižší a zdá se, že rozdíl je po celou dobu konstantní. Z toho lze usoudit, že se jedná o systematickou chybu a nejspíše o špatnou kalibraci u mnou použitého senzoru atmosférického tlaku.

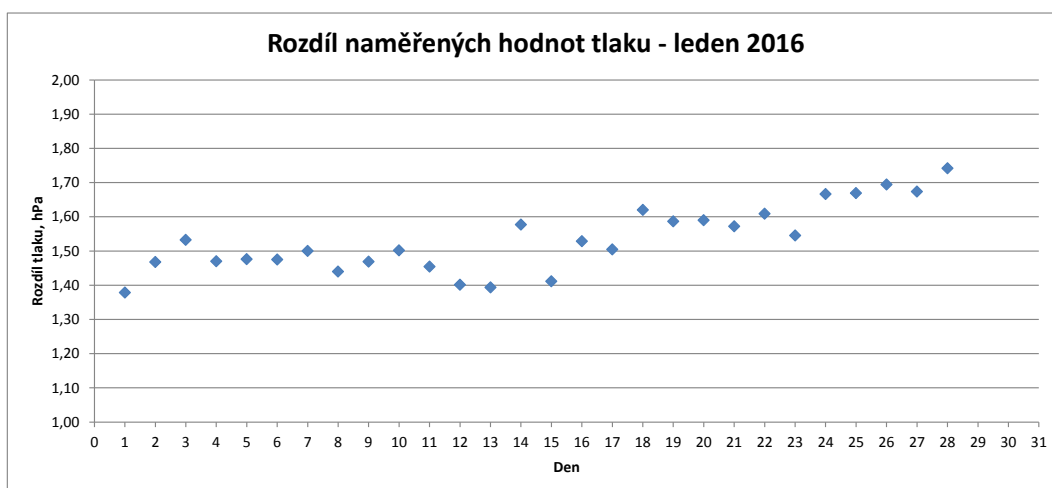


Graf 5: Barometrický tlak 6.1.2016

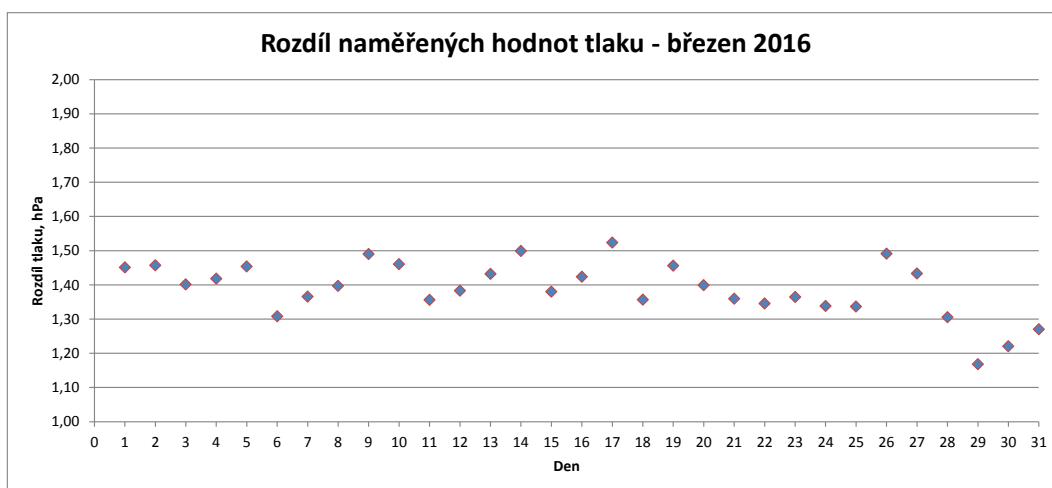


Graf 6: Barometrický tlak 8.3.2016

Pro lepší posouzení rozdílů u měření atmosférického tlaku jsou v grafech č.7 a č.8 uvedeny průměrné denní rozdíly hodnot tlaku. Rozdíly hodnot během ledna a března, jak zde vidíme, se pohybují okolo 1,4 hPa. Při běžné hodnotě kolem 1000 hPa je tento rozdíl takřka zanedbatelný. U hodnot za měsíc březen je vidět, že tyto rozdíly se pohybovaly náhodně kolem střední hodnoty, u hodnot za leden se zdá, že trend byl vzestupný, ale rozdíl je zanedbatelný.

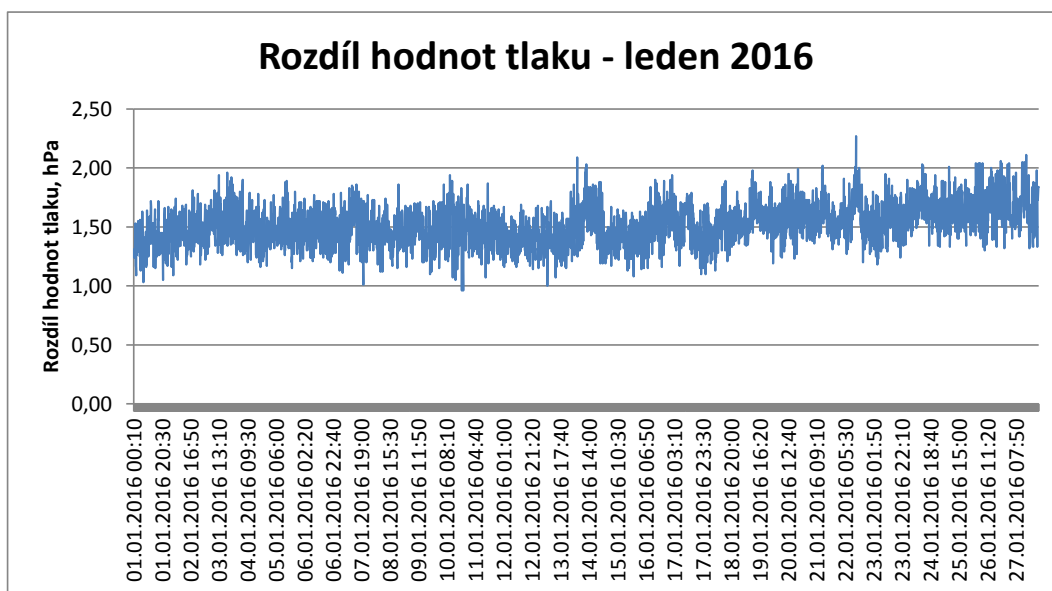


Graf 7: Rozdíl naměřených hodnot tlaku – leden 2016

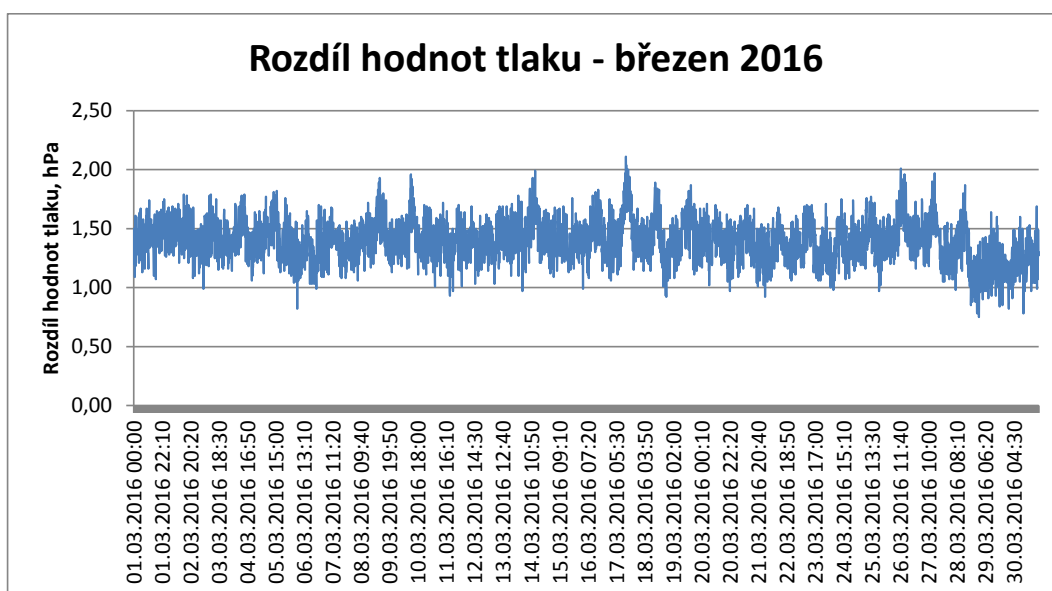


Graf 8: Rozdíl naměřených hodnot tlaku – březen 2016

Na grafech č.9 a č.10 je vidět rozdíl mezi naměřenými daty na mé meteostanici a daty získanými od ČHMÚ. Průměrné měsíční rozdíly za leden byly 1,52 hPa a za březen 1,39 hPa. Vysoká míra korelace mezi naměřenými daty vypovídá o poměrně dobrých výsledcích měření.

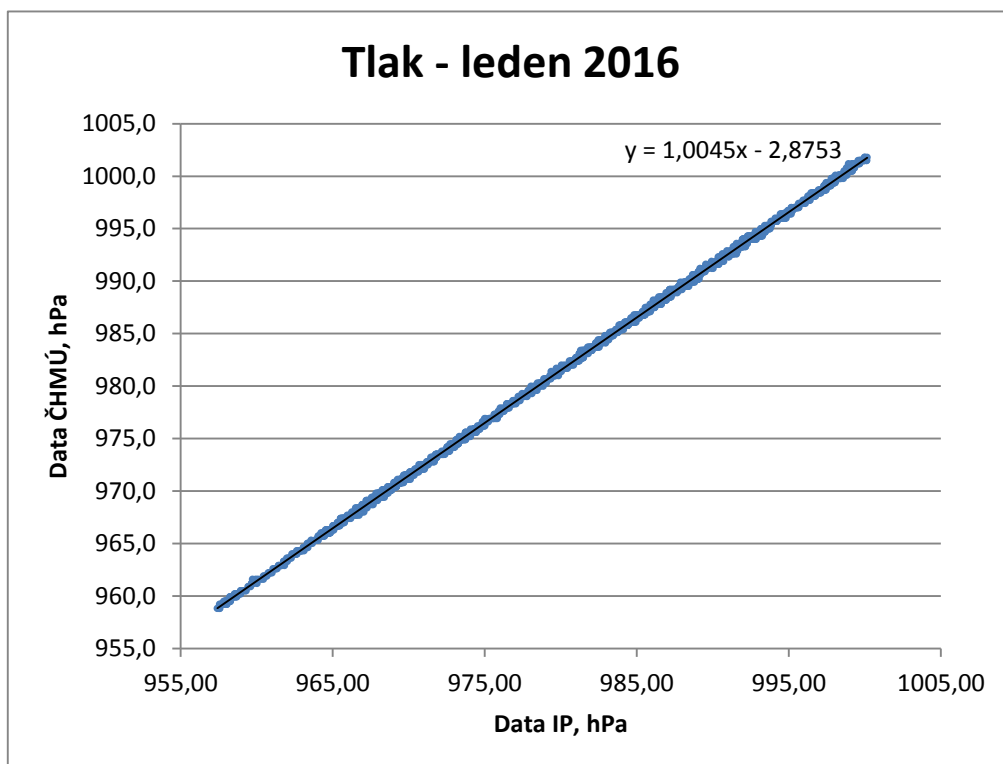


Graf 9: Rozdíl hodnot tlaku - leden 2016

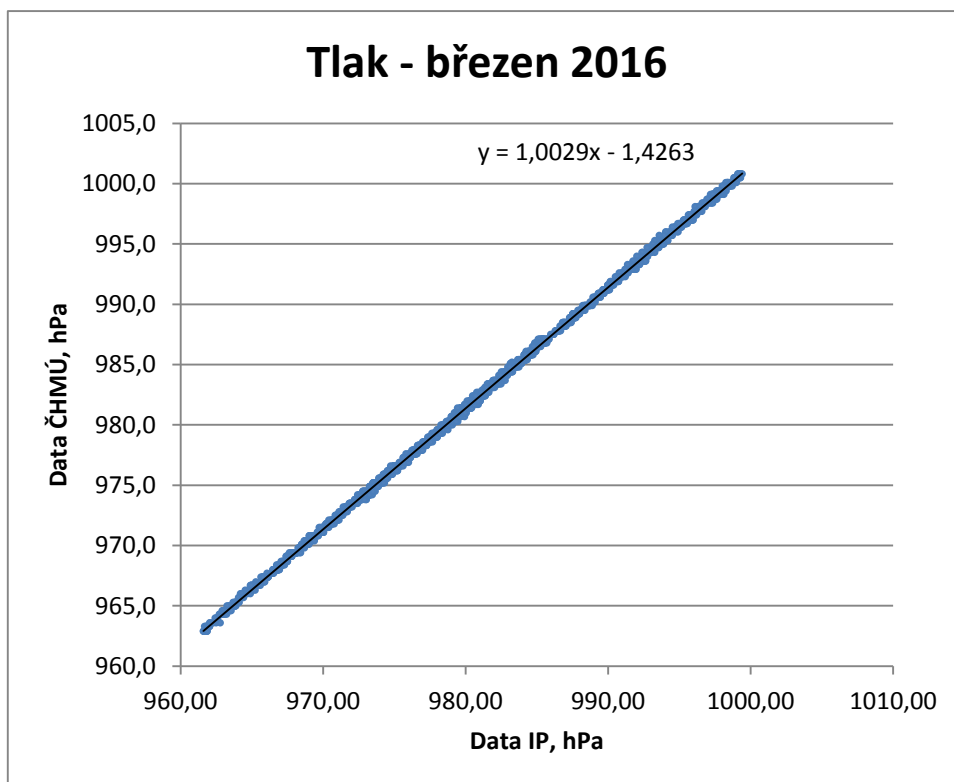


Graf 10: Rozdíl hodnot tlaku - březen 2016

Na grafech č.11 a č.12 je znázorněna regresní analýza dat. Z porovnání hodnot je patrné, že hodnoty atmosférického tlaku naměřené na domácí meteostanici poměrně dobře odpovídají datům naměřeným ČHMÚ (hodnoty jsou v těsné blízkosti regresní přímky). Problémem je pouze systematická chyba měření, která poněkud posunuje regresní přímku.



Graf 11: Regrese - barometrický tlak leden 2016

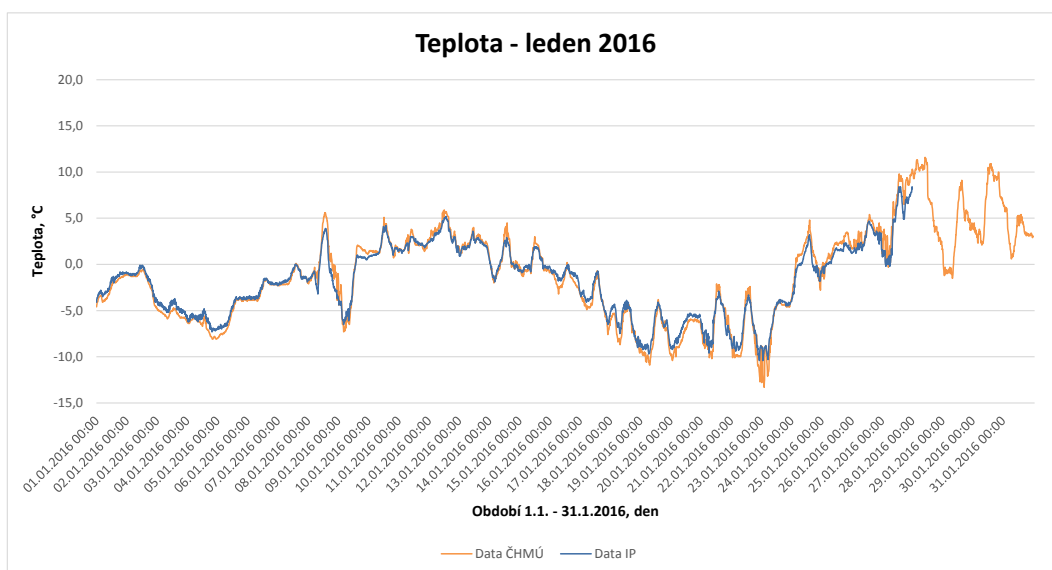


Graf 12: Regrese - barometrický tlak březen 2016

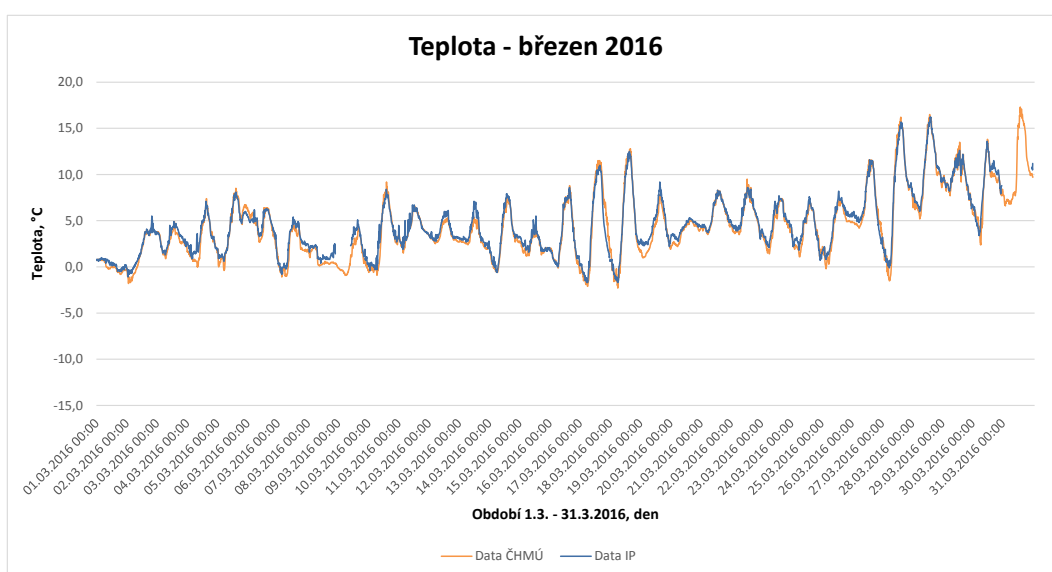
Pro oba naměřené měsíce byly vypočteny korelační koeficienty. Koeficient vypočítaný z lednových hodnot je 0,99989129, koeficient vycházející z březnových hodnot činí 0,999802457. Hodnoty blíží se jedné prokazují velmi vysokou závislost mezi daty naměřenými a poskytnutými ČHMÚ.

4.3 Měření teploty

V grafech č.13 a č.14 jsou zobrazena měření teploty za měsíce leden a březen a porovnána s daty poskytnutými od ČHMÚ. Podobně jako u měření tlaku v období 28.1.-31.1, 9.3. a 31.3.2016 došlo k výpadku měření, proto grafy obsahují pouze hodnoty poskytnuté z ČHMÚ. Na první pohled je vidět, že naměřené hodnoty velmi dobře odpovídají hodnotám poskytnutým, ale je zde řada drobných náhodných odchylek.

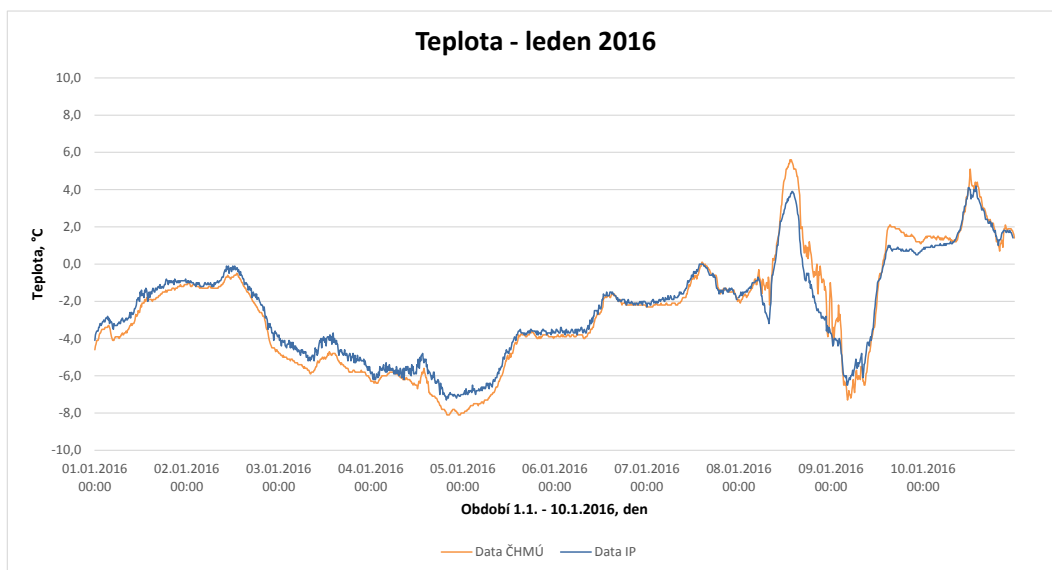


Graf 13: Teplota ovzduší - leden 2016

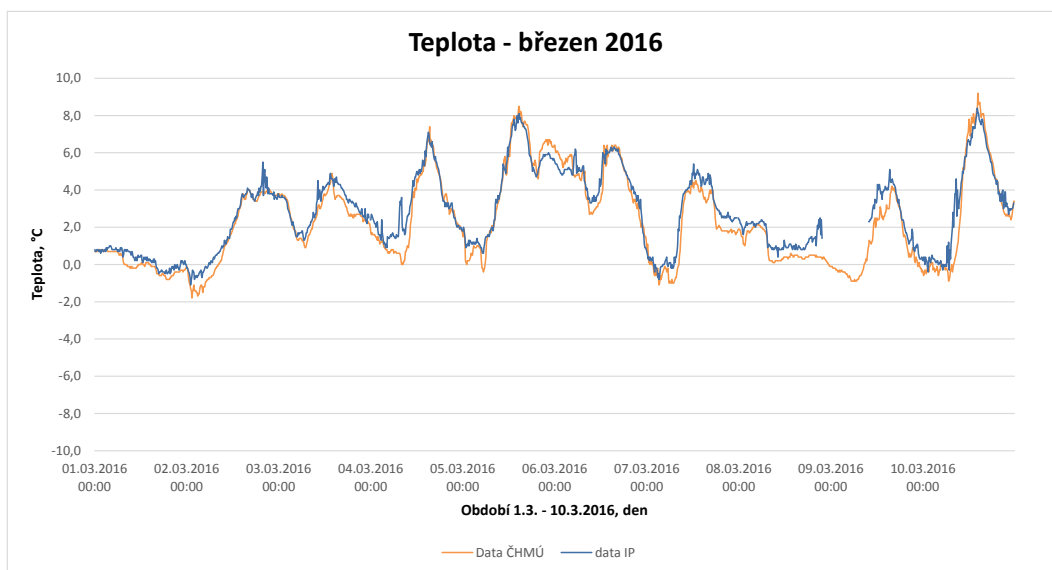


Graf 14: Teplota ovzduší - březen 2016

Grafy č.15 a č.16 jsou zde uvedeny pro detailnější zobrazení výsledků. Jedná se o srovnání naměřených dat teploty ovzduší v rozmezí 10 dnů. Tato dvě desetidenní období byla vybrána pro výraznější velikost odchylek. Je zde dobře patrné, že se na rozdíl od měření tlaku nejedná o soustavný rozdíl. Hodnoty naměřené teploty kolísají od dat naměřených ČHMÚ a to v obou směrech.

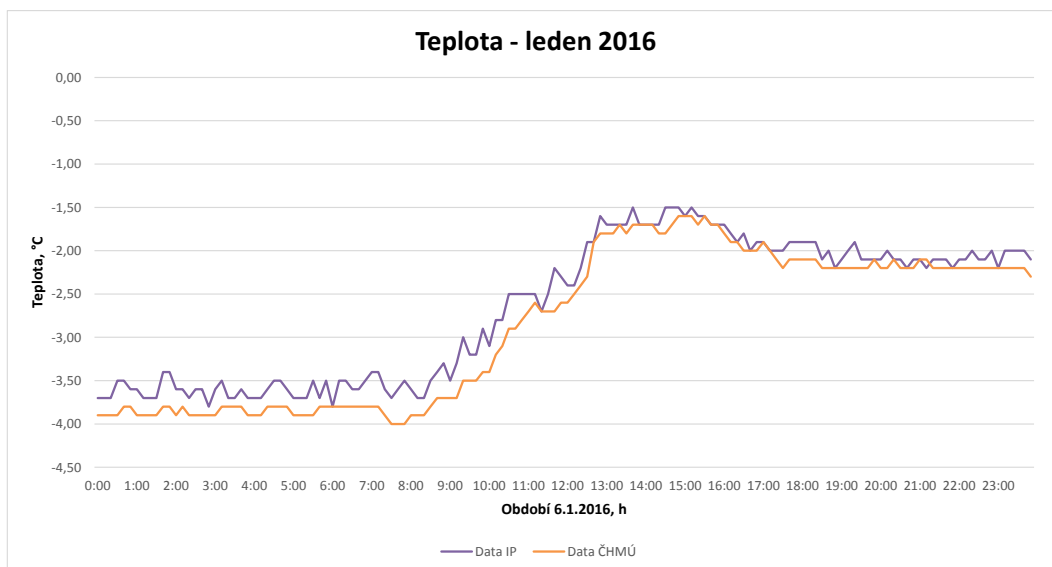


Graf 15: Teplota ovzduší - leden 2016

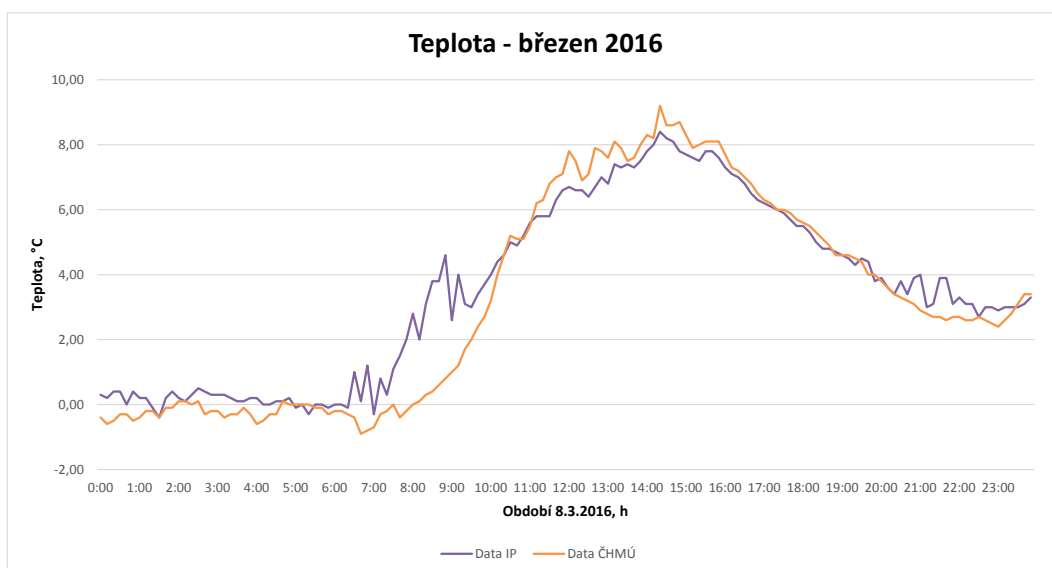


Graf 16: Teplota ovzduší - březen 2016

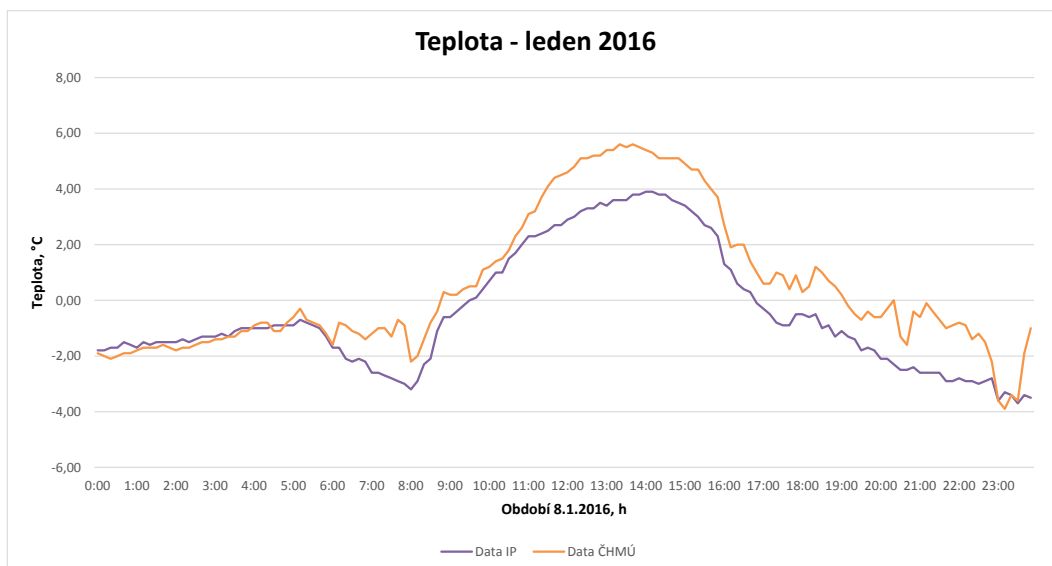
Pro ještě detailnější zobrazení výsledků jsou zde uvedeny čtyři jednodenní grafy. Grafy č.17 a č.18 vykazují menší odchylky, zatímco grafy č.19 a č.20 vykazují rozdíly výraznější.



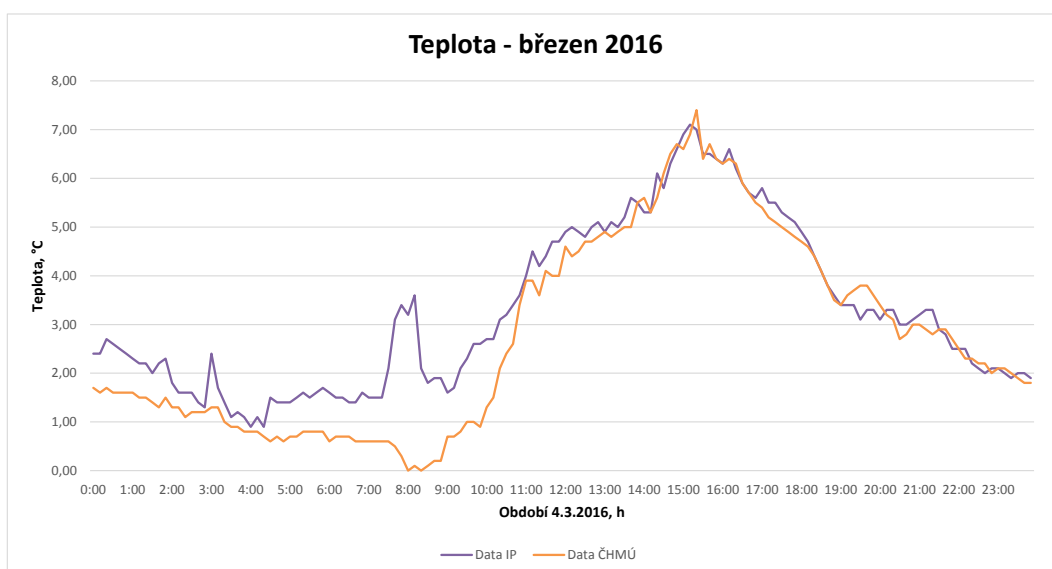
Graf 17: Teplota ovzduší 6.1.2016



Graf 18: Teplota ovzduší 8.3.2016



Graf 19: Teplota ovzduší 8.1.2016



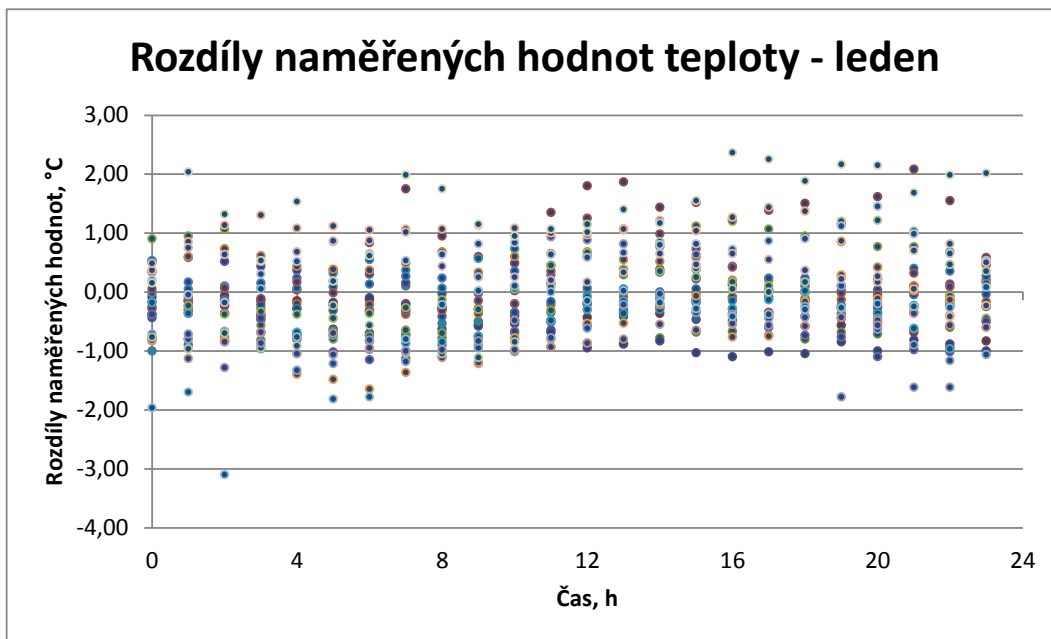
Graf 20: Teplota ovzduší 4.3.2016

Z předešlých grafů se zdá, že výraznější rozdíly v měření nastávají kolem osmé hodiny ranní. V případě, kdy mnou naměřená data jsou nižší, odchytku příkládám působení větru, případně kondenzaci vodních par na senzoru. V opačném případě, kdy mnou naměřená data jsou vyšší, předpokládám, že rozdíl způsobuje tepelné vyzařování domu.

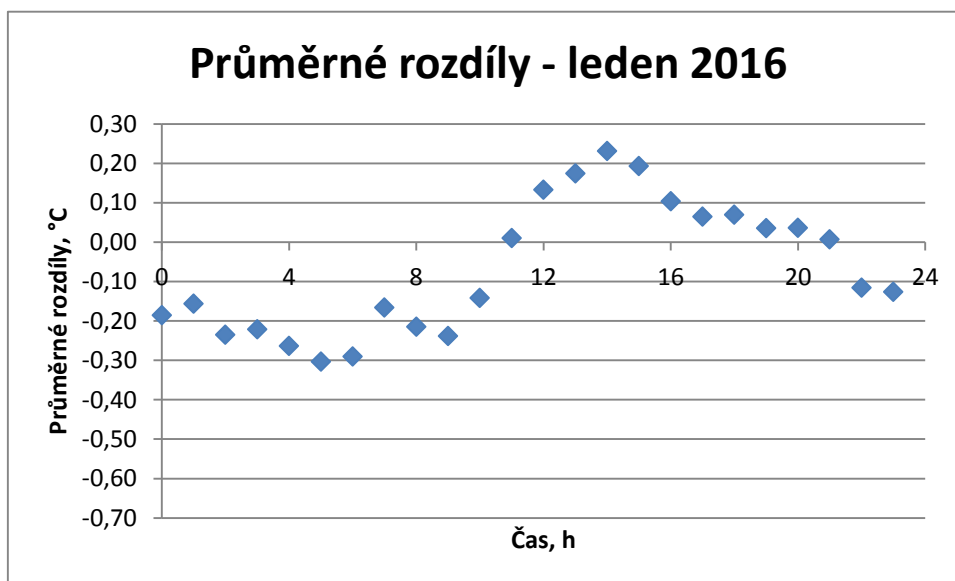
Pro hlubší diskusi těchto úvah byly zpracovány grafy č.21 a č.23. Zde jsou uvedeny rozdíly mezi hodnotami poskytnutými ČHMÚ a mnou naměřenými hodnotami během každého dne v příslušném měsíci. Hodnoty jsou zobrazeny po hodinách, kde je zobrazen vždy průměr šesti měření za poslední hodinu.

V grafech č.22 a č.24 jsou zobrazeny průměry hodnot z grafů č.21 a č.23. Z lednového grafu je vidět, že hodnoty naměřené u domu jsou v průměru za celý den vyšší než hodnoty poskytnuté. Na rozdíl od toho v měsíci březnu se rozdíly v průměru pohybují kolem nuly a to pod i nad nulou. To lze vysvětlit vyzařováním tepla z domu, které bylo v chladnějších lednových dnech výraznější.

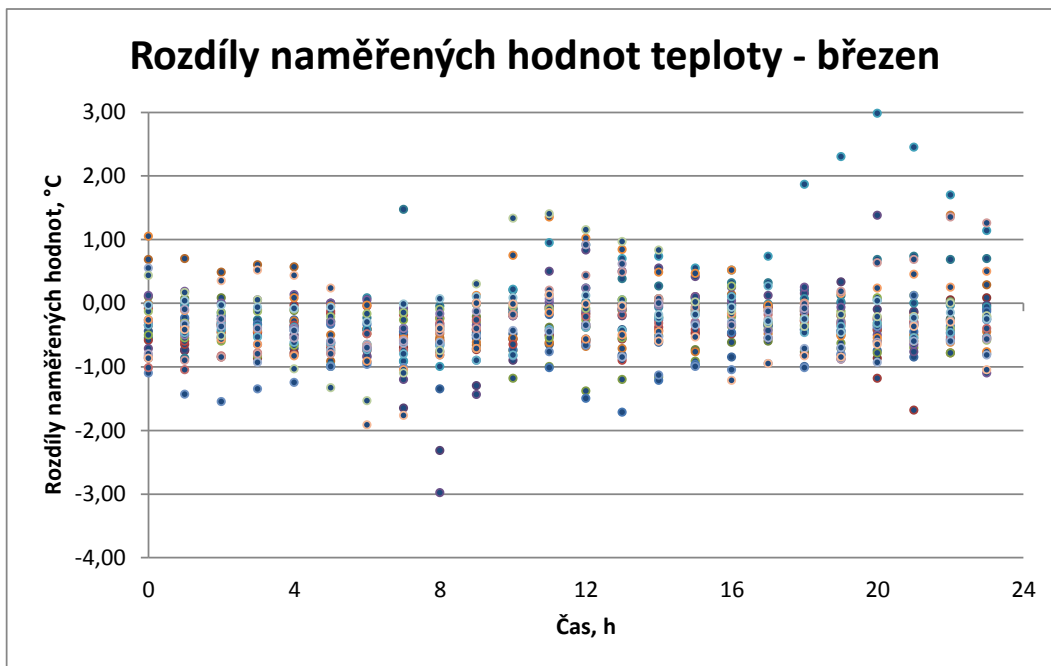
Oba dva grafy rozdílů mají společné vyšší naměřené teploty u domu v době od 2 do 10 hodin dopoledne. Pravděpodobným důvodem je ranní prochládní země, které bylo opět u domu méně výrazné.



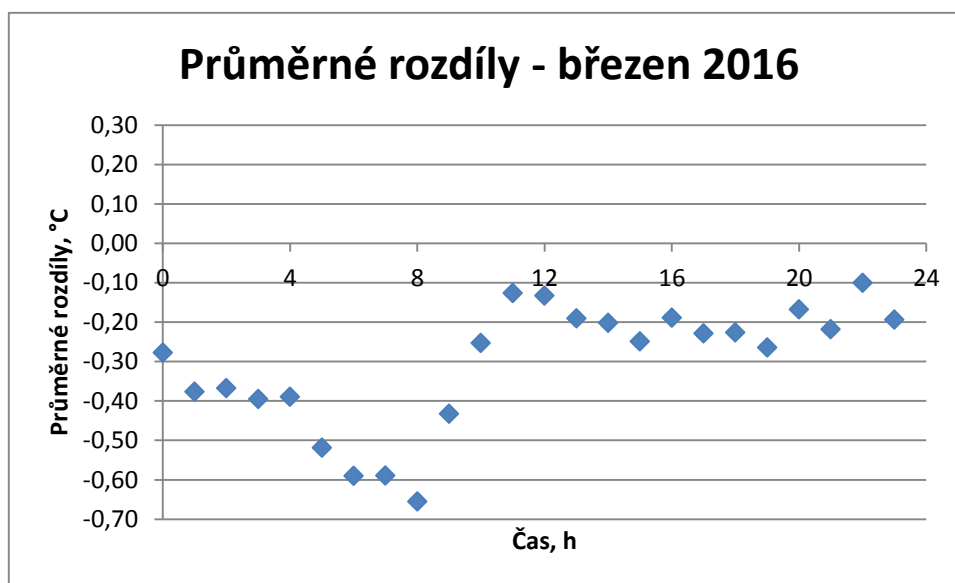
Graf 21: Rozdíly naměřených hodnot teploty - leden



Graf 22: Průměrné rozdíly hodnot teploty - leden

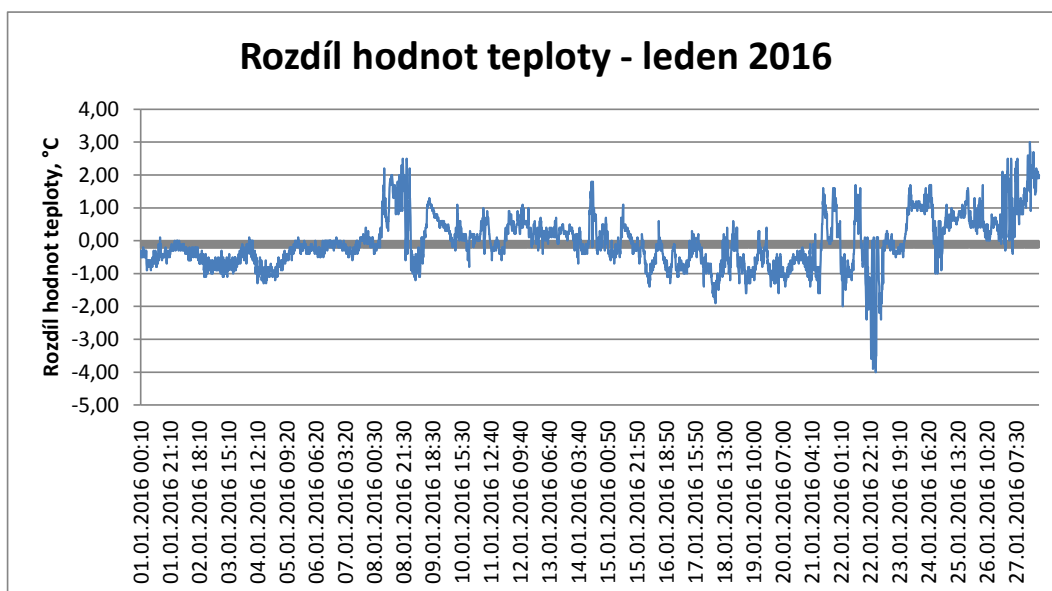


Graf 23: Rozdíly naměřených hodnot teploty - březen

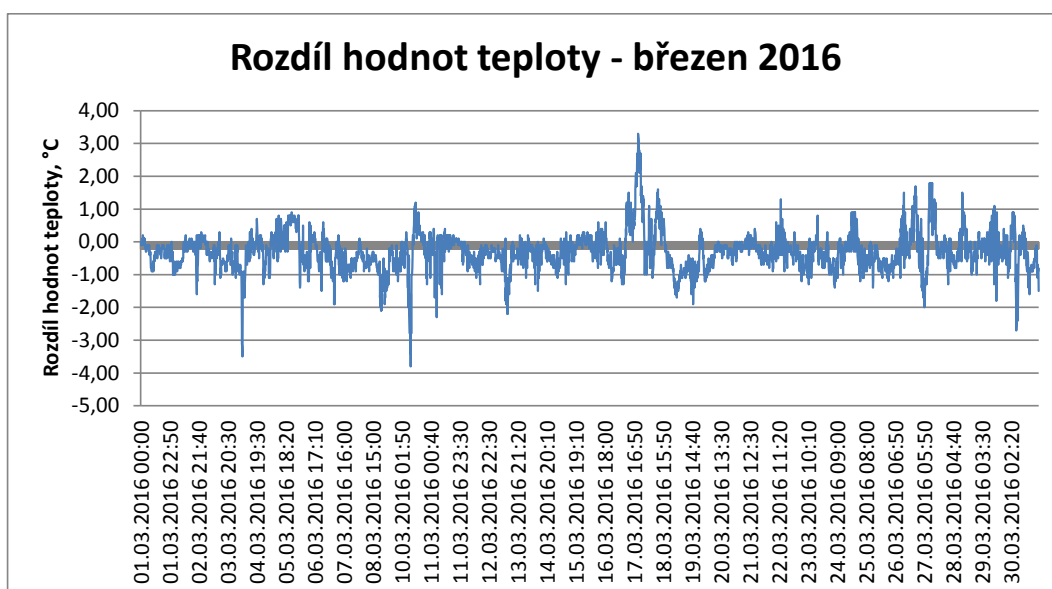


Graf 24: Průměrné rozdíly hodnot teploty - březen

Na podrobnějších grafech č.25 a č.26 je vidět rozdíl mezi naměřenými daty na domácí meteostanici a daty získanými od ČHMÚ. Průměrné měsíční rozdíly za leden byly 0,07 °C a za březen 0,31 °C. Vysoká míra korelace mezi naměřenými daty vypovídá o poměrně dobrých výsledcích měření.



Graf 25: Rozdíl hodnot teploty - leden 2016



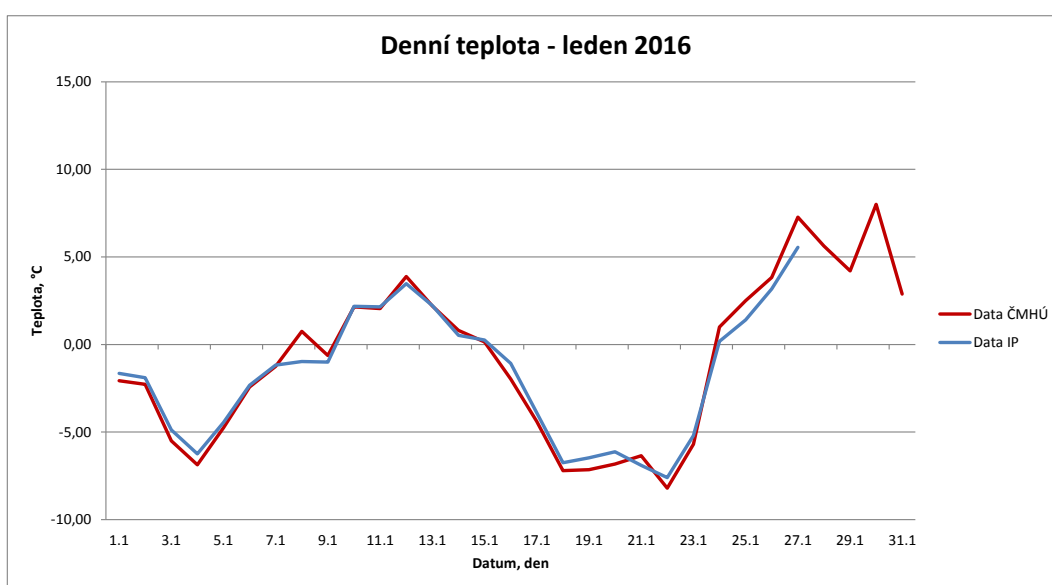
Graf 26: Rozdíl hodnot teploty - březen 2016

Na grafech č.27 a č.28 je zobrazena dopočítaná denní teplota z tzv.,mannheimských hodin“ během měsíců ledna a března. Tato teplota je stanovena z 3 měření během dne a to v 7, 14 a 21 hodin Teplota naměřená ve 21 hodin má nejvyšší váhu.

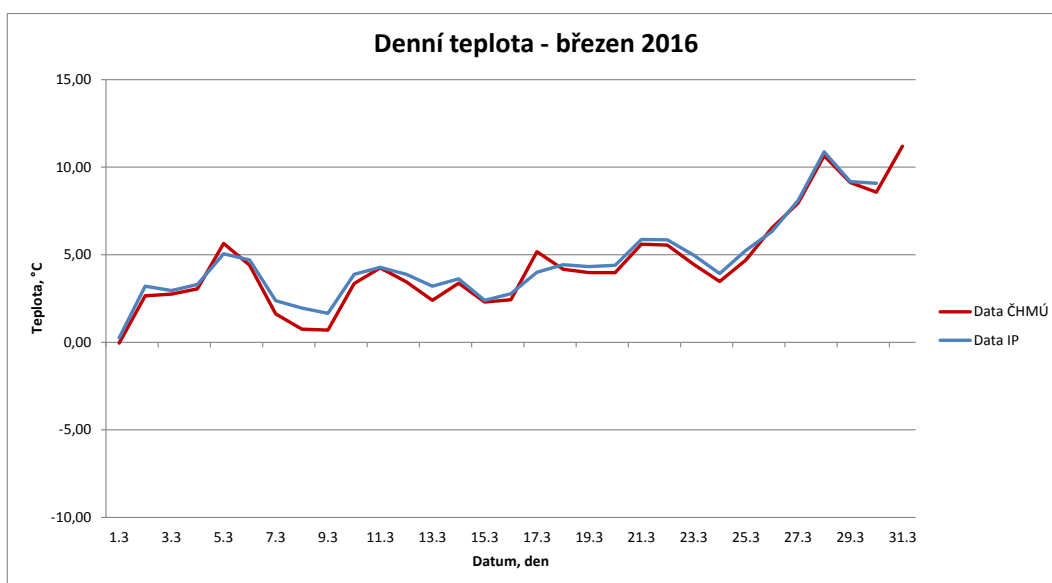
Vzorec pro výpočet průměrné denní teploty:

$$t_d = \frac{t_7 + t_{14} + 2 \cdot t_{21}}{4}$$

(20)



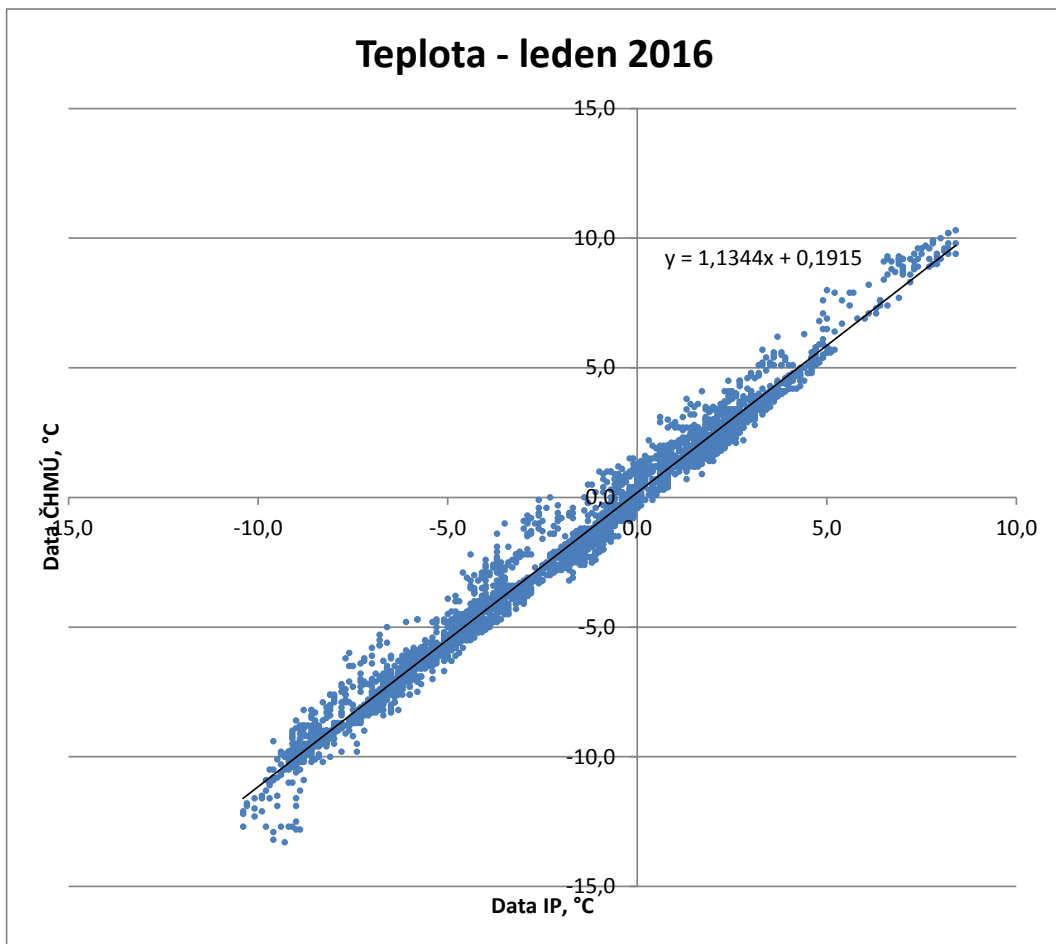
Graf 27: Denní teplota - leden 2016



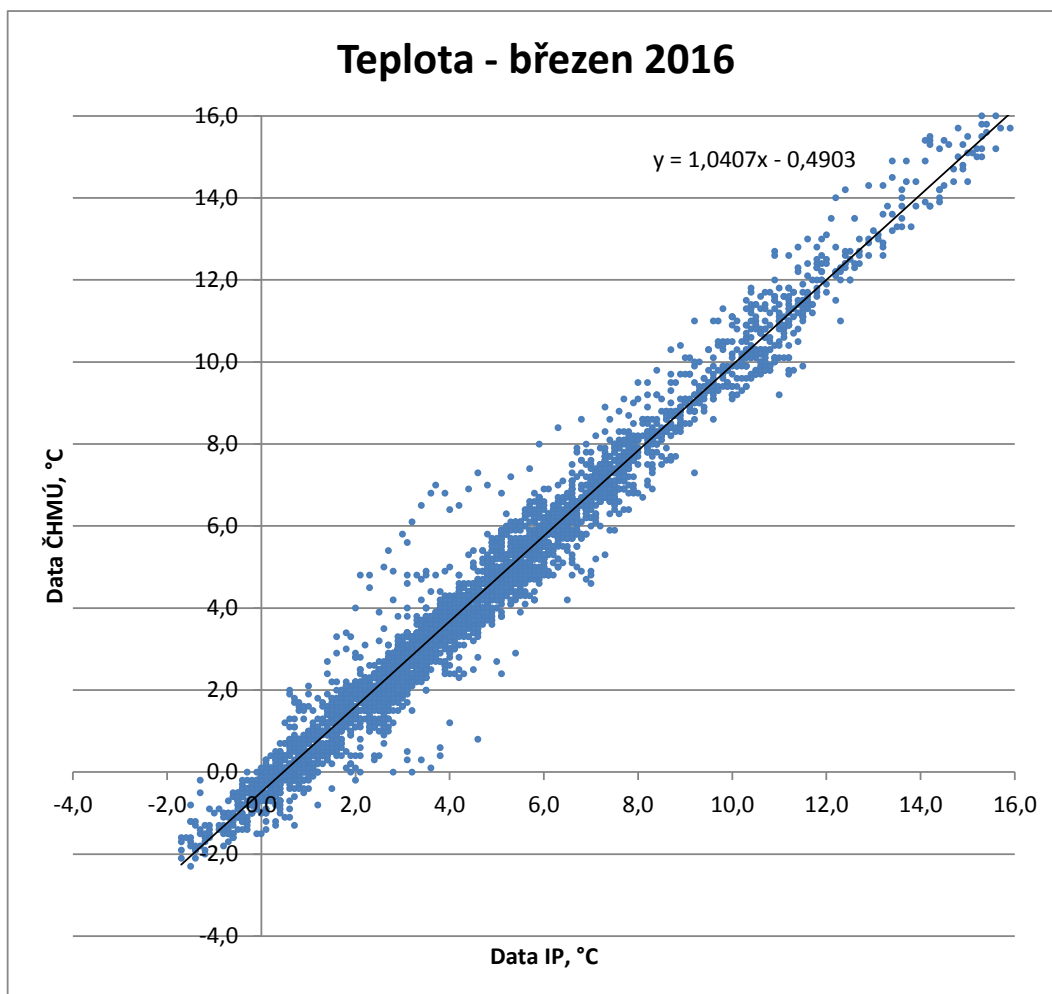
Graf 28: Denní teplota - březen 2016

Další příčinou odchylek mezi hodnotami naměřenými a poskytnutými je samozřejmě odlišná kalibrace měřících senzorů, avšak oproti měření tlaku se zdá být toto zanedbatelné.

Na grafech č.29 a č.30 je znázorněna regresní analýza dat měření teploty ovzduší. Oproti měření tlaku je patrné, že hodnoty teploty naměřené na domácí meteostanici o něco méně odpovídají datům naměřeným ČHMÚ (hodnoty jsou od regresní přímky vzdálenější). Ale na rozdíl od měření tlaku zde regresní přímky téměř prochází nulou, takže zde není výrazný posun.



Graf 29: Regrese – teplota ovzduší leden 2016



Graf 30: Regrese – teplota ovzduší březen 2016

Pro oba naměřené měsíce byly vypočteny korelační koeficienty. Koeficient vypočítaný z lednových hodnot je 0,991081962, koeficient vycházející z březnových hodnot činní 0,986175788. Přestože jsou hodnoty korelačních koeficientů pro měření teploty nižší než pro měření tlaku, blíží se jedné a tím ukazují vysokou závislost mezi daty naměřenými a poskytnutými ČHMÚ.

Závěr

Cílem práce bylo ověřit, je-li člověk schopen pomocí jednoduchého zařízení pro měření meteorologických prvků, s nekalibrovanými senzory, dosáhnout podobných výsledků měření jako jsou hodnoty oficiálních měření z ČHMÚ. Toho se podařilo dosáhnout.

V kapitole č. 4 jsou diskutovány některé z pravděpodobných příčin odchylek mezi hodnotami naměřenými a získanými od ČHMÚ. Tyto příčiny lze zhruba shrnout do dvou hlavních oblastí. Jednak použitý senzor a za druhé umístění zařízení.

Senzor BMP180 není určen pro profesionální využití. Byl vyvinut firmou Bosch, ale námi použitý senzor je levná kopie vyrobená v Čínské lidové republice za cenu 23,- Kč. Měřidlo není kalibrované, což jistě vnáší chybu.

Kvalita měřených dat je jistě silně ovlivněna umístěním domácí meteorologické stanice. Její poloha a uspořádání neodpovídá požadavkům uvedeným v Návodu pro pozorovatele automatizovaných meteorologických stanic [14]. Použitý senzor nebyl zakrytovaný a byl umístěn na terase v těsné blízkosti domu. Získaná data jsou pak ovlivněna vnějšími vlivy, jako je vítr, osvětlení od slunce, vyzařování tepla z domu a další vlivy, blíže rozebírané v textu práce.

Nicméně i přes tyto nedostatky se naměřené hodnoty blíží k hodnotám naměřeným na nedaleké meteorologické stanici ČHMÚ.

Seznam použité literatury

- [1] KOPÁČEK, Jaroslav a Jan BEDNÁŘ. *Jak vzniká počasí*. Vyd. 1. Praha: Karolinum, 2005. ISBN 978-80-246-1002-3.
- [2] ACOT, Pascal. *Historie a změny klimatu: od velkého třesku ke klimatickým katastrofám*. Vyd. 1. Překlad Věra Hrubanová. Praha: Karolinum, 2005. ISBN 80-246-0869-3.
- [3] DIETRICH, Volkmar. *Člověk a příroda*. 1. vyd. Plzeň: Fraus, 2005. Učebnice pro integrovanou výuku. ISBN 80-7238-338-8.
- [4] KRŠKA, Karel a Ferdinand ŠAMAJ. *Dějiny meteorologie v českých zemích a na Slovensku*. Vyd. 1. V Praze: Karolinum, 2001. ISBN 80-7184-951-0.
- [5] DVORÁK, Petr. *Pozorování a předpovědi počasí*. Vyd. 1. Cheb: Svět křídel, 2012. ISBN 978-80-87567-20-3.
- [6] CRUMMENERL, Rainer. *Počasí*. 1. vyd. Ilustrace Wolfgang Freitag, Frank Kliemt, Bohdan Štěrba. Plzeň: Fraus, c2007. Co-jak-proč. ISBN 978-80-7238-624-6.
- [7] BUCKLEY, Bruce, Edward J HOPKINS a Richard WHITAKER. *Počasí: velký obrazový průvodce*. 1. vyd. Čestlice: Rebo, 2006. ISBN 80-7234-552-4.
- [8] MUNZAR, Jan. *Malý průvodce meteorologií*. Praha: Mladá fronta, 1989. Malé encyklopedie (Mladá fronta).
- [9] *Země*. Redaktor James F Luhr. V Praze: Knižní klub, 2004. ISBN 80-242-1225-0.
- [10] PEJML, Karel. *Předpovídáme počasí*. Praha: Státní zemědělské nakladatelství, 1971. Lesnictví a myslivost.
- [11] HORÁK, Zdeněk, František KRUPKA a Václav ŠINDELÁŘ. *Základy technické fyziky: přehled technické fyziky v celém rozsahu*. Vyd. 2. Praha: Práce, 1955. Knižnice techniků a zlepšovatelů.
- [12] *Atmosférický tlak* [online]. [cit. 2016-05-13]. Dostupné z: https://cs.wikipedia.org/wiki/Atmosf%C3%A9rick%C3%BD_tlak

- [13] *Rekordy počasí* [online]. [cit. 2016-05-13]. Dostupné z: <http://www.tom-pocasi.wz.cz/odkazy/rekordypocasi.html>
- [14] ČHMÚ: Návod pro pozorovatele automatizovaných meteorologických stanic [online]. [cit. 2016-05-13]. Dostupné z: <http://portal.chmi.cz/>
- [15] *Architektura ARM* [online]. [cit. 2016-05-13]. Dostupné z: <https://cs.wikipedia.org/wiki/ARM>
- [16] *Raspberry_Pi* [online]. [cit. 2016-05-13]. Dostupné z: https://en.wikipedia.org/wiki/Raspberry_Pi
- [17] *Adafruit* [online]. [cit. 2016-05-13]. Dostupné z: <https://www.adafruit.com/products/1603>
- [18] *NAS Synology ds213j* [online]. [cit. 2016-05-13]. Dostupné z: <http://pctuning.tyden.cz/hardware/disky-cd-dvd-br/29312-s-bohatou-vybavou-duel-nas-synology-ds213j-a-ds214se?start=4>
- [19] *Rozložení oblastí* [online]. [cit. 2016-05-13]. Dostupné z: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Air_masses.svg
- [20] *Atmosférické vzduchové hmoty* [online]. [cit. 2016-05-13]. Dostupné z: <http://www.in-pocasi.cz/clanky/teorie/atmosfericke-vzduchove-hmoty/>
- [21] *Synoptická mapa* [online]. [cit. 2016-05-13]. Dostupné z: <https://www.wunderground.com/blog/weatherhistorian/flooding-worst-in-modern-records-for-southern-england>
- [22] *Tlaková níže* [online]. [cit. 2016-05-13]. Dostupné z: <http://geologie.vsb.cz/jelinek/tc-atmosfera.htm>
- [23] *Coriolisova síla* [online]. [cit. 2016-05-13]. Dostupné z: <https://cs.wikipedia.org/wiki/Anticykl%C3%B3na>
- [24] *Torricelliho pokus* [online]. [cit. 2016-05-13]. Dostupné z: <http://www.eprojekt.gjs.cz/ImageView.aspx?id=1578&guid=f9e17f569eae4f8e955cb031bba03648>
- [25] *Torricelliho rtuťový barometr* [online]. [cit. 2016-05-13]. Dostupné z: <http://vesmir.cz/2015/01/24/nejosemetnejsi-cisel/>

- [26] *Aneroid* [online]. [cit. 2016-05-13]. Dostupné z:
[http://www.atmos.washington.edu/2007Q3/101/LINKS-
html/AneroidBarometer.html](http://www.atmos.washington.edu/2007Q3/101/LINKS-html/AneroidBarometer.html)
- [27] *Termoskop* [online]. [cit. 2016-05-13]. Dostupné z:
<http://galileo.rice.edu/sci/instruments/thermometer.html>
- [28] *Schéma Raspberry Pi B+* [online]. [cit. 2016-05-13]. Dostupné z:
<https://www.raspberrypi.org/forums/viewtopic.php?t=81716>

Seznam ilustrací

| | |
|--|----|
| Obrázek 1: Rozložení oblastí formování vzduchových hmot..... | 10 |
| Obrázek 2: Atmosférické vzduchové hmoty..... | 11 |
| Obrázek 3: Synoptická mapa | 15 |
| Obrázek 4: Tlaková níže | 16 |
| Obrázek 5: Tlaková výše..... | 18 |
| Obrázek 6: Coriolisova síla..... | 20 |
| Obrázek 7: Torricelliho pokus | 22 |
| Obrázek 8: Torricelliho rtuťový barometr | 23 |
| Obrázek 9: Aneroid..... | 24 |
| Obrázek 10: Termoskop..... | 28 |
| Obrázek 11: Raspberry Pi B+ | 39 |
| Obrázek 12: Schéma ARM | 40 |
| Obrázek 13: Schéma Raspberry Pi B+..... | 41 |
| Obrázek 14: Senzor BMP180 | 43 |
| Obrázek 15: Zapojení senzoru BMP180..... | 43 |
| Obrázek 16: Zapojení senzoru BMP180..... | 44 |
| Obrázek 17: Script | 46 |
| Obrázek 18: Zapojení Raspberry Pi B+ | 50 |
| Obrázek 19: Umístění meteostanice | 50 |

Seznam tabulek

| | |
|---|----|
| Tabulka 1: Parametry Raspberry Pi model B+ | 41 |
| Tabulka 2: Parametry senzoru BMP180 | 42 |
| Tabulka 3: Popis scriptu..... | 45 |
| Tabulka 4: Struktura tabulky dat v databázi | 47 |
| Tabulka 5: Parametry serveru Synology DS213j..... | 48 |

Seznam grafů

| | |
|--|----|
| Graf 1: Barometrický tlak 1.1.-31.1.2016..... | 51 |
| Graf 2: Barometrický tlak 1.3.-31.3.2016..... | 51 |
| Graf 3: Barometrický tlak 1.1.-31.1.2016..... | 52 |
| Graf 4: Barometrický tlak 1.3.-31.3.2016..... | 52 |
| Graf 5: Barometrický tlak 6.1.2016 | 53 |
| Graf 6: Barometrický tlak 8.3.2016 | 53 |
| Graf 7: Rozdíl naměřených hodnot tlaku – leden 2016 | 54 |
| Graf 8: Rozdíl naměřených hodnot tlaku – březen 2016 | 54 |
| Graf 9: Rozdíl hodnot tlaku - leden 2016 | 55 |
| Graf 10: Rozdíl hodnot tlaku - březen 2016 | 55 |
| Graf 11: Regrese - barometrický tlak leden 2016 | 56 |
| Graf 12: Regrese - barometrický tlak březen 2016 | 57 |
| Graf 13: Teplota ovzduší - leden 2016..... | 58 |
| Graf 14: Teplota ovzduší - březen 2016..... | 58 |
| Graf 15: Teplota ovzduší - leden 2016..... | 59 |
| Graf 16: Teplota ovzduší - březen 2016..... | 59 |
| Graf 17: Teplota ovzduší 6.1.2016..... | 60 |
| Graf 18: Teplota ovzduší 8.3.2016..... | 60 |
| Graf 19: Teplota ovzduší 8.1.2016..... | 61 |
| Graf 20: Teplota ovzduší 4.3.2016..... | 61 |
| Graf 21: Rozdíly naměřených hodnot teploty - leden..... | 63 |
| Graf 22: Průměrné rozdíly hodnot teploty - leden | 63 |
| Graf 23: Rozdíly naměřených hodnot teploty - březen..... | 64 |
| Graf 24: Průměrné rozdíly hodnot teploty - březen | 64 |
| Graf 25: Rozdíl hodnot teploty - leden 2016 | 65 |

| | |
|--|----|
| Graf 26: Rozdíl hodnot teploty - březen 2016 | 65 |
| Graf 27: Denní teplota - leden 2016..... | 66 |
| Graf 28: Denní teplota - březen 2016..... | 66 |
| Graf 29: Regrese – teplota ovzduší leden 2016 | 67 |
| Graf 30: Regrese – teplota ovzduší březen 2016 | 68 |

Seznam příloh

Příloha 1: Fyzikální vztahy

Příloha 2: CD

Příloha č. 1

Fyzikální vztahy

1. rovnice statiky ovzduší $dp = -\rho \cdot g \cdot dh$

2. dle Boyleova-Mariottova zákona platí při stálé teplotě vztah $\rho = \frac{\rho_0}{p_0} \cdot p$

3. po dosazení získáme vztah

$$\frac{dp}{p} = -\frac{\rho_0}{p_0} \cdot g \cdot dh$$

4. po vyřešení této diferenciální rovnice a následné úpravě získáme vztah

$$p = p_0 \cdot e^{-\frac{\rho_0 \cdot g \cdot \Delta h}{p_0}}$$

5. jednotka bar $1 \text{ bar} = 10^6 \text{ dyn} \cdot \text{cm}^{-2}$

6. převod jednotek $1 \text{ bar} = 10^5 \text{ Pa} \Rightarrow 1 \text{ mbar} = 1 \text{ hPa} = 100 \text{ Pa}$

7. jednotka torr $1 \text{ torr} = 1 \text{ mm Hg} \approx 133,322 \text{ Pa}$

8. jednotka torr $1 \text{ torr} = \frac{101325}{760} \text{ Pa} \approx 133,322368 \dots \text{ Pa}$

9. převod mezi hPa a mb $1 \text{ hPa} = 100 \text{ Pa} = 1 \text{ mb}$

10. jednotka Pascal $1 \text{ Pa} = \frac{\text{N}}{\text{m}^2} = \frac{\text{kg}}{\text{m} \cdot \text{s}^2}$

11. jednotka Réaumur $R = \frac{4}{5} \cdot C$

12. jednotka Réaumur $R = \frac{4(F-32)}{9}$

13. jednotka Réaumur $R = \frac{4(K-273,15)}{5}$

14. jednotka Fahrenheit $F = \frac{9K}{5} - 459,67$

15. jednotka Fahrenheit $F = \frac{9C}{5} + 32$

16. jednotka Fahrenheit $F = \frac{9R}{4} + 32$

17. jednotka Celsius $C = (F - 32) \cdot \frac{5}{9}$

18. jednotka Celsius $C = K + 273,15^\circ$

19. jednotka Celsius $C = \frac{5}{4} \cdot R$

20. výpočet průměrné denní teploty $t_d = \frac{t_7 + t_{14} + 2 \cdot t_{21}}{4}$