



**ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE**

---

Fakulta stavební  
Katedra konstrukcí pozemních staveb

**Vliv lokálních klimatických podmínek na tepelně-vlhkostní chování větraných  
prostor**

**Influence of local climatic conditions on hygrothermal behavior of ventilated  
spaces**

Diplomová práce

Studijní program: Budovy a prostředí

Studijní obor: Budovy a prostředí

Vedoucí práce: Ing. Kamil Staněk, Ph.D.

**Bc. Zdeňka Štěpánová**

---

**Praha 2018**



## ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

### I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: Štěpánová	Jméno: Zdeňka	Osobní číslo: 410608
Zadávací katedra: 124		
Studijní program: Budovy a Prostředí		
Studijní obor: Budovy a Prostředí		

### II. ÚDAJE K DIPLOMOVÉ PRÁCI

Název diplomové práce: Vliv lokálních klimatických podmínek na tepelně-vlhkostní chování větraných prostor	
Název diplomové práce anglicky: Influence of local climatic conditions on hygrothermal behavior of ventilated spaces	
Pokyny pro vypracování: Vyberte oblast, kde se na relativně malém území (vzdálenosti cca do 500 m) nachází několik potenciálně rozdílných klimatických zón (údolí u řeky, větrný vrchol kopce, vesnice). Pečlivě vyberte vhodná místa k měření a naměřte klimatická data v těchto zónách (zejména teplotu a vlhkost vzduchu). Měření by mělo být provedeno alespoň po dobu 2 měsíců. Na základě měřených dat proveďte jejich pečlivou analýzu – statistické srovnání. Data je zároveň vhodné porovnat s měřením blízkých meteostanic. Z měřených dat se pokuste odvodit možné průběhy teplot a vlhkosti vzduchu dva měsíce před a dva měsíce po reálném měření tak, aby vznikla řada klimatických dat v období šesti měsíců. Na základě jednoduchého dynamického modelu větrané zóny s dřevěnými prvky vypočítejte průběhy teplot a relativních vlhkostí v zóně při zvoleném režimu větrání (pro všechny případy stejném). Srovnajte riziko růstu plísní na dřevěných prvcích těchto zón.	
Seznam doporučené literatury:	
Jméno vedoucího diplomové práce: Ing. Kamil Staněk, Ph.D.	
Datum zadání diplomové práce: 10.10.2017	Termín odevzdání diplomové práce: 8.1.2018
Údaj uveďte v souladu s datem v časovém plánu příslušného ak. roku	
Podpis vedoucího práce	Podpis vedoucího katedry

### III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

<i>Beru na vědomí, že jsem povinen vypracovat diplomovou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací. Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je nutné uvést v diplomové práci a při citování postupovat v souladu s metodickou příručkou ČVUT „Jak psát vysokoškolské závěrečné práce“ a metodickým pokynem ČVUT „O dodržování etických principů při přípravě vysokoškolských závěrečných prací“.</i>	
12.10.2017	
Datum převzetí zadání	Podpis studenta(ky)

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci vypracovala samostatně, pouze za odborného vedení Ing. Jana Richtera a výhradně s použitím citovaných zdrojů. Souhlasím se zapůjčováním práce a jejím zveřejňováním.

V Praze dne 8. 1. 2018

Bc. Zdeňka Štěpánová

Chtěla bych poděkovat Ing. Janu Richterovi za velikou trpělivost, ochotu a za to, že mi byl vždy nápomocen při řešení problémů. Dále děkuji doc. Ing. Michalu Sněhotovi, Ph.D. za cenné rady a připomínky. V neposlední řadě děkuji rodině za podporu.

## **Anotace:**

Tato práce se zabývá vlivem lokálních klimatických podmínek na tepelně-vlhkostní chování přirozeně větraných půdních prostor. V jedné oblasti byla vybrána čtyři klimaticky rozdílná stanoviště, na kterých probíhalo měření teploty a relativní vlhkosti po dobu 10 týdnů. Výsledky se poté vyhodnotily a provedlo se porovnání jednotlivých stanovišť. Naměřené hodnoty byly porovnány s hodnotami naměřenými blízkou meteorologickou stanicí ČHMÚ. Pak byly vytvořeny matematické modely, které vypočítaly tepelně-vlhkostní chování vzduchu na půdním prostoru na základě naměřených exteriérových dat v jednotlivých stanovištích. Výsledky z modelů byly analyzovány, porovnány a následně vloženy do modelu růstu plísní na dřevěných materiálech. Výsledky ukázaly index plísní na jednotlivých stanovištích.

***Klíčová slova:*** lokální klimatické vlivy, přirozeně větrané půdní prostory, růst plísní, tepelně-vlhkostní chování půdních prostor

## **Abstract:**

This thesis is concerned with the influence of local climatic conditions on thermal-humidity behaviour of naturally ventilated attic. The temperature and relative humidity of four different climatic locations chosen within one area were measured over 10 weeks. The results from the measurements were evaluated and the results from different locations were compared. These values were compared with those measured by the meteorological station of the nearby Czech Hydro meteorological Institute. Mathematical models were then developed to calculate the thermal and humidity behaviour of the soil based on the measured outdoor data in each individual location. The results from the mathematical models were analyzed, compared, and inserted into the model for mould growth on wooden based materials. The results showed the potential of mould growth in each location.

***Keywords:*** local climatic effects, naturally ventilated soil spaces, mould growth, thermal-humidity behaviour of attic

## OBSAH

OBSAH .....	6
1 CÍL.....	8
2 ÚVOD.....	8
2.1 Meteorologické stanice .....	9
3 MĚŘENÍ.....	11
3.1 Metoda .....	11
3.1.1 Měřicí teploměr-vlhkoměr.....	12
3.1.2 Výběr lokalit pro měření teploty a relativní vlhkosti.....	13
3.1.3 Popis měřených míst .....	15
3.1.4 Kalibrace dataloggerů .....	19
3.2 Výsledky měření .....	22
3.2.1 Čtrnáctidenní průměry naměřených hodnot .....	26
3.2.2 Histogramy naměřených hodnot .....	31
3.3 Diskuse k měření .....	34
3.4 Závěr z měření .....	36
4 Modelování .....	37
4.1 Metody .....	37
4.1.1 Vstupní data a předpoklady.....	38
4.1.2 Větrání.....	40
4.1.3 Teplotní model .....	41
4.1.4 Vlhkostní model.....	45
4.1.3 Model růstu plísní.....	48
4.2 Výsledky z modelů .....	49
4.3 Diskuse k výsledkům modelů.....	54
5 ZÁVĚR.....	56
Seznam použitých zdrojů: .....	58

Seznam grafů.....	60
Seznam obrázků .....	61
Seznam tabulek.....	62

## 1 CÍL

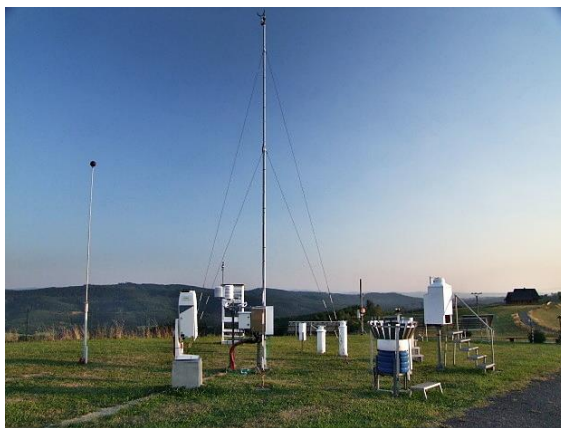
Cílem této práce je zjistit, jaký mají vliv lokální klimatické podmínky na tepelně-vlhkostní chování větraných prostor. Zda se klimatické podmínky různých lokalit od sebe liší natolik, že rozdíly mohou mít dopad na tvorbu plísní v přirozeně větraném půdním prostoru budov. Výsledky mohou ukázat, že odlišné lokality mají i odlišný dopad na tepelně-vlhkostní chování větraných prostor. Druhá varianta může být, že sice různé lokality mají odlišné klimatické podmínky, tyto rozdíly ovšem nebudou mít vliv na větraný prostor.

## 2 ÚVOD

Do různých stavebně-fyzikálních modelů, ať už energetickou simulaci budov, výpočet kondenzace vodní páry nebo růstu plísní, se zadávají klimatické hodnoty naměřené nejbližší meteorologickou stanicí od pozorované lokality. Nezohledňuje se, zda je nebo bude zkoumaná konstrukce umístěna u vody nebo v lese, v údolí či na kopci. Jak velké teplotní rozdíly mohou mít dvě místa od sebe vzdálena jen několik set metrů, ale s odlišným charakterem krajiny? A mohou případné rozdíly hodnot ovlivnit výsledky modelu? Porovnání lokálních klimatických podmínek a jejich vlivu na větrané prostory má za úkol odpovědět na tyto otázky. Tedy potvrdit nebo vyvrátit, zda mají rozdílné lokality rozdílný dopad na tepelně-vlhkostní chování přirozeně větraného prostoru, případně na tvorbu plísní či nikoliv.

Meteorologické stanice jsou umístěny na stanovištích, které nejsou ničím stíněny, v jejich blízkosti se nevyskytuje žádná vodní plocha nebo zdroj sálání. Většinu stavebních parcel nenajdeme na takovýchto ideálních místech. Častokrát může být parcela u vody, v údolí, v okolní stávající zástavbě a podobně. Proto hodnoty, které naměří nejbližší meteorologická stanice, ještě nemusí odpovídat hodnotám, které jsou opravdu na zkoumané parcele. Jak může vypadat ideální místo pro umístění meteorologické stanice, vidíme na následující fotografii (Obr. 0.1).





Obr. 0.1: Meteorologická stanice Maruška, Hostýnské vrchy (1)

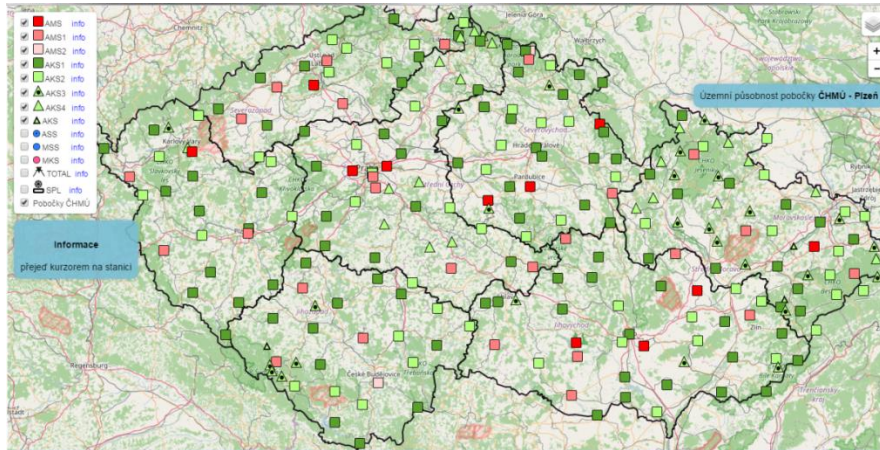
## 2.1 Meteorologické stanice

Než přejdeme k samotnému výběru lokalit pro umístění meteorologických stanic, je dobré si v jednoduchosti a ve zkratce nastínit některé zásady, které jsou dodržovány při jejich umístování, aby byly výsledky co nejpřesnější.

Meteorologické stanice pochopitelně neměří jen teplotu a relativní vlhkost, ale celou řadu jiných dat, jako je intenzita větru, solární radiace, množství srážek, teplota půdy, dohlednost a další hodnoty. Podle měřené veličiny se liší i časový krok. Některé stanice zaznamenávají hodnoty jednou za 12 hodin (sněhové srážky), jiné naopak jednou za 10 minut (teplota). Podle toho, co meteorologická stanice měří a jak často jsou z ní data odebírána, se u nás dělí na stanice manuální, automatizované s obsluhou a plně automatizované (Obr. 1.0.1).

S ohledem na to, co meteorologická stanice měří, jsou odlišné zásady umístění stanice. Obecně ale platí, že stanici ovlivňuje:

- Typ povrchu (jestli bude v okolí tráva, keře, kamení, hlína nebo les)
- Drsnost terénu
- Vlhkost půdy
- Překážky (budovy, stromy, strmé svahy)



Obr. 1.0.1: Mapa automatizovaných meteorologických stanic ČHMÚ (2)

Pro měření teploty a relativní vlhkosti je dále vhodné dodržet zásady umístění čidla optimálně 1m až 2m nad terénem. Minimální odstup od velkých zpevněných ploch jako jsou parkoviště nebo široké silnice. Když je v okolí nějaká překážka, doporučuje se dodržet vzdálenost umístění čidla od překážky čtyřnásobek její výšky (3), (4), (5), (6).

Většinu meteorologických stanic na našem území provozuje Český hydrometeorologický ústav (2).

## 3 MĚŘENÍ

### 3.1 Metoda

Předmětem měření bylo zaznamenávání teplot a relativní vlhkosti v desetiminutovém časovém kroku na různých klimatických územích. Měření probíhalo 10 týdnů a na jeho základě proběhlo porovnání jednotlivých klimatických lokalit a zkoumání tepelně-vlhkostního chování půdního prostoru.

Bylo několik variant co, kde a jak měřit. Nejprve se nabízelo najít si reálné budovy a umístit čidlo na konkrétní půdní prostor. Ovšem tato varianta má v sobě hned několik úskalí. Tím, že by byla čidla umístěna na různých půdách, výsledky by byly zkreslené samotnými odlišnými podmínkami na každém půdním prostoru. Jako je rozdílná geometrie půdy, velikosti větracích otvorů, jiná teplota v interiéru budovy atp. V neposlední řadě, by bylo obtížné najít budovy umístěné v relativně malé vzdálenosti a navzájem odlišných místech. A o toto kritérium šlo především.

Další variantou bylo, vyrobit jednoduchý box, například z OSB desky, s danými rozměry a velikostmi otvorů. Dvnitř boxu pak vložit čidlo měřící teplotu a relativní vlhkost. Tyto boxy potom umístit na vhodné lokality. U této varianty by bylo složité zvolit ty správné rozměry boxu, které by nejlépe mohly demonstrovat chování na půdním prostoru.

Z těchto důvodů byla zvolena varianta měření exteriérových hodnot vzduchu. Tedy teplota  $T_{ae}$  (°C) a relativní vlhkost  $Rh_{ae}$  (%) jednotlivých lokalit a následné vložení dat do matematického modelu. Ten by simuloval tepelně-vlhkostní chování vzduchu na půdním prostoru. Vložení naměřených exteriérových dat jednotlivých lokalit do stejného modelu, docílíme celkem kvalitní možnost porovnání.

### 3.1.1 Měřící teploměr-vlhkoměr

Byly zapůjčeny čtyři školní dataloggery (*Obr. 3.1.1*) značky Comet S3121 sloužící pro záznam teploty a relativní vlhkosti. Datalogger má u sebe externí sondu T+RV na kabelu (7).



*Obr. 3.1.1: Datalogger Comet S3121 (7)  
41003 (8)*



*Obr. 3.1.2: Radiační štít Multi-Plate model*

Sondy byly umístěny do radiačního štítu (*Obr. 3.1.2*), který do jisté míry eliminuje dopady přímého slunečního záření a sálání od objektů na výsledky měřených hodnot. Jedná se o radiační štít značky Young model 41003 (8). Tento model se řadí do pasivních nevětraných radiačních štítů, které se skládají z jednotlivých plátů tak, aby prostorem štítu mohl volně proudit vzduch a bylo zabráněno tepelnému záření. Na horní a spodní straně jsou tři plné pláty, díky kterým je vnitřní prostor chráněn jak před slunečním zářením z vrchu, tak před sáláním povrchu země.

Kromě ochrany před slunečním zářením plní štít funkci ochrany před srážkami, které by také ovlivnily měření čidla. Oproti aktivnímu radiačnímu štítu, který je větraný větrákem, má tento pasivní radiační štít větší chyby měření v bezvětří.

### 3.1.2 Výběr lokalit pro měření teploty a relativní vlhkosti

Cílem nebylo vybrat ideální místo na umístění meteorologické stanice tak, jak bylo popsáno již v úvodu. Naopak. Snaha byla najít co nejvíce odlišné charaktery lokalit a ty pak navzájem porovnat. A také je zkonfrontovat právě s profesionálně naměřenými hodnotami z meteorologické stanice ČHMÚ. Když je ale nastaven takto široký záběr výběru, je velmi důležité si nastavit omezení. Omezení taková, která výběr lokalit redukuje a upřesní co nejlépe k záměru zkoumání.

Úplně nejširší a nejobecnější podmínkou místa bylo, aby tento prostor byl teoreticky schopen být stavební parcelou. Není to myšleno urbanisticky, zda je na pozemek reálné přivést vodu a kanalizaci, nebo jestli je možné zde vybudovat příjezdovou komunikaci. Ani nešlo o to zkoumat stabilitu podloží pro stavbu domu. Je to myšleno spíše tak, že lokality byly vybírány s ohledem na to, kde se běžně staví dům. Tedy vyloučit lokality typu: na velmi strmém svahu, uprostřed vodní plochy, v nepřístupné roklině, uprostřed hustých lesů, na skládce nebo uprostřed náměstí.

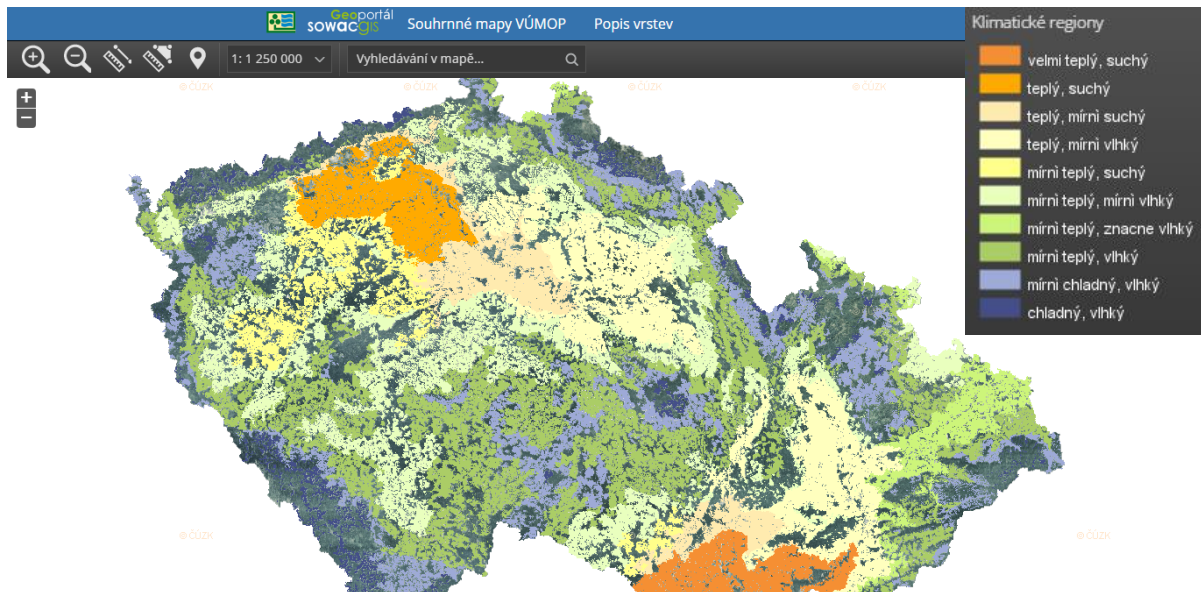
Další podmínkou byla vzájemná vzdálenost vybraných míst. Šlo o to minimalizovat vliv lokálních srážek, proto vybraná místa byla od sebe vzdálena do 2 km vzdušnou čarou. Pochopitelně i výškový rozdíl by velmi ovlivnil naměřené hodnoty teploty a relativní vlhkosti lokalit, což je také třeba minimalizovat. Nejvýše a nejnižší položené vybrané místo není od sebe víc jak 100 m výškových.

Vybrat ale čtyři co nejrozdílnější místa, kde by mohl stát dům, byla od sebe vzdálena max. 2 km, ve stejné nadmořské výšce a k tomu, aby tyto předpoklady splňovala meteorologická stanice ČHMÚ, bylo víc než obtížné. Bylo tedy jasné, že meteorologická stanice bude o něco dále než 2 km k měřeným místům. Proto bylo třeba ověřit, že výsledky ze stanice budou i přesto vypovídající a srovnatelné s měřeními místy.

Na toto ověření posloužila mapa klimatických regionů (Obr. 3.1.3). Klimatický region označuje území s přibližně shodnými klimatickými podmínkami pro růst a vývoj zemědělských plodin. Klimatické regiony byly vytvořeny čistě pro účely bonitace zemědělské půdy. Celé území České republiky se dělí na deset klimatických regionů číslovaných od 0-9. Rozdělení klimatických regionů bylo provedeno Českým hydrometeorologickým ústavem na základě mnoha kritérií měřených po dobu 50 let. Mezi klíčová kritéria pro účel této práce patří:

- průměrné roční teploty a průměrné teploty ve vegetačním období (IV.- IX.),
- průměrný úhrn ročních srážek a srážek ve vegetačním období (IV.- IX.),

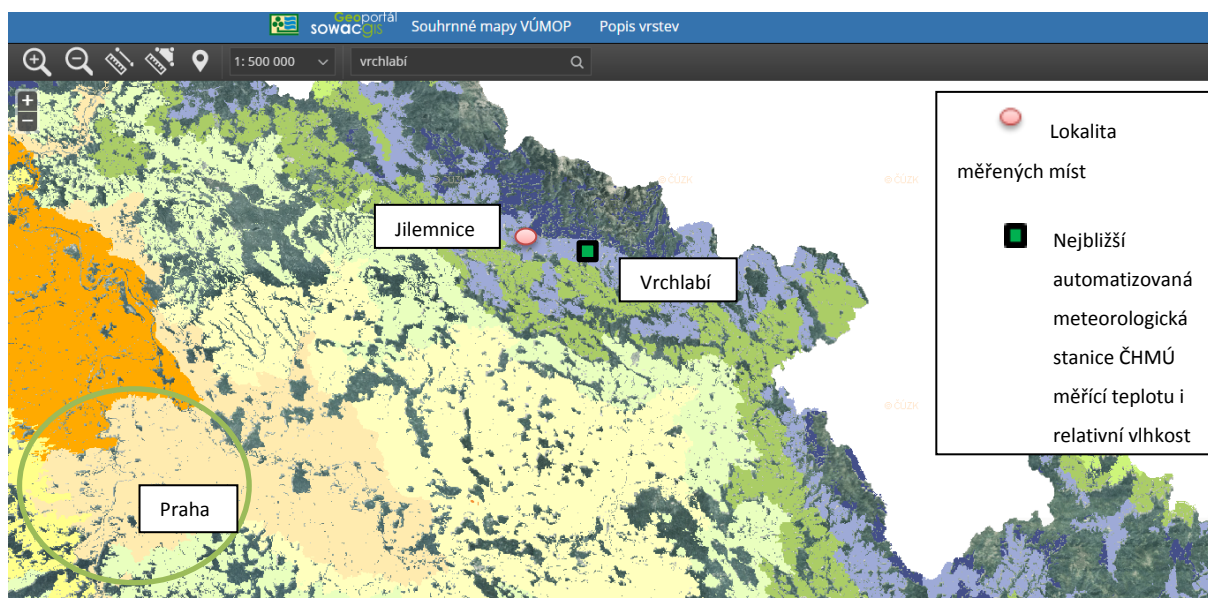
- pravděpodobnost výskytu suchých vegetačních období v % (IV.- IX.),
- výpočet vláhové jistoty,
- výpočet hranice sucha ve vegetačním období a další faktory jako nadmořská výška atd. (9).



Obr. 3.1.3: Mapa klimatických regionů (9)

Podle mapy klimatických regionů spadá pozorovaná oblast do „mírně chladného, vlhkého regionu“, který zahrnuje většinu podhůří na našem území. Z celkové plochy našeho území zaujímá tento region 12 % plochy. Nejvíce zastoupeným klimatickým regionem u nás je „mírně teplý, vlhký“ region zaujímající až čtvrtinu území ČR.

Dalším krokem bylo najít nejbližší meteorologickou stanici ČHMÚ, která je automatizovaná, aby byla data po co nejmenších časových krocích. A samozřejmě, aby měřila jak teplotu, tak relativní vlhkost. Stanice splňující tyto parametry, je stanice ve Vrchlabí, která také spadá do stejného klimatického regionu, jako měřená místa (Obr. 3.1.4).

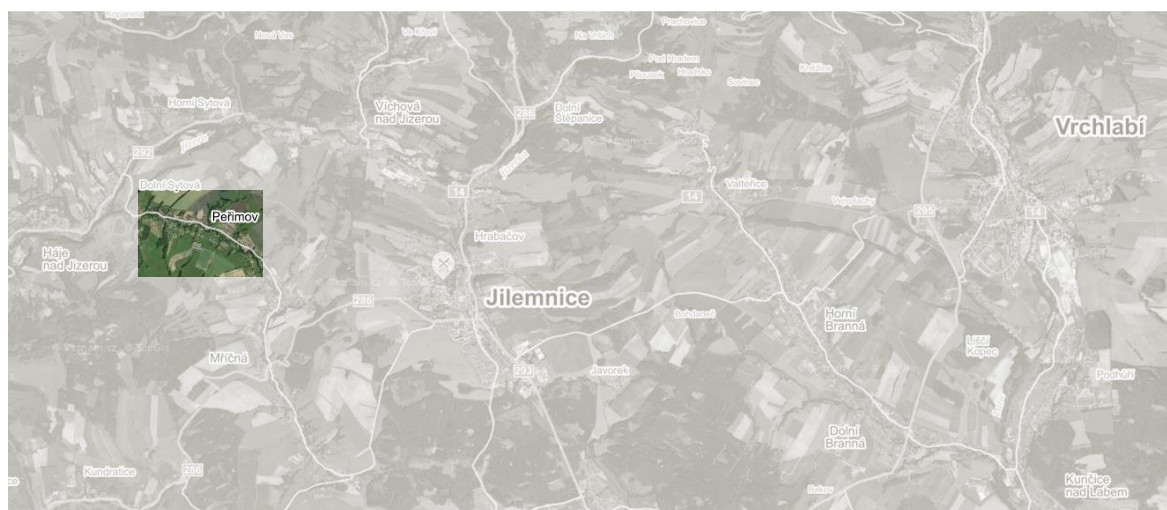


Obr. 3.1.4: Lokace měřených míst a stanice ČHMÚ

### 3.1.3 Popis měřených míst

Vybrána byla tři místa, o kterých se dá říci, že jsou charakterem krajiny od sebe vzájemně nejrozdílnější. První měřící místo je umístěno na kopci, druhé naopak na rovině ve vesnici a třetí v údolí v blízkosti vodního toku. Čtvrtý datalogger byl umístěn také na kopec, aby byla možnost vzájemné kontroly a porovnání dvou charakterově stejných míst.

Místa se nachází v Podkrkonoší nedaleko města Jilemnice v okolí vesnice Peřimov (Obr. 3.1.5) a místa jsou od sebe vzdálená 1-2 km.



Obr. 3.1.5: Lokace měřených míst

**Datalogger #1** (50.6214719°N 15.4684967°E) byl umístěn na kopec č.1 nad vesnicí. Nadmořská výška kopce je 480 m n.m. Dle očekávání by toto místo mohlo být suché, s větším nárazovým větrem a bez sálání okolí. Ideální by bylo umístění dataloggeru uprostřed louky nebo pole bez vlivu okolních keřů. To bohužel nebylo možné, protože měření probíhalo po dobu dvou měsíců a na pole jezdí pravidelně zemědělská technika. Proto byl datalogger umístěn na remízek, který nebyl nijak hustý a nebránil proudění větru (Obr. 3.1.6). Místo by se mohlo nejvíce přibližovat lokalitě, kde by bylo možno umístit profesionální meteorologickou stanici.



Obr. 3.1.6: Umístění dataloggeru #1 na kopci č.1

**Datalogger #2** (N 50°37.04492', E 15°27.10452') byl umístěn na rovině ve vesnici v nadmořské výšce 400 m n.m. Místo má demonstrovat rovný terén s rozvolněnou zástavbou, parcelu v blízkosti stávající zástavby, cca 10 metrů od fasády domu (Obr. 3.1.7). Toto stanoviště zastupuje nejběžnější podobu stavební parcely rodinného domu, kdy vzdálenosti mezi stavbami nejsou příliš velkorysé.



Obr. 3.1.7: Umístění dataloggeru #2 na rovině





Obr. 3.1.8: Umístění dataloggeru #3 v údolí

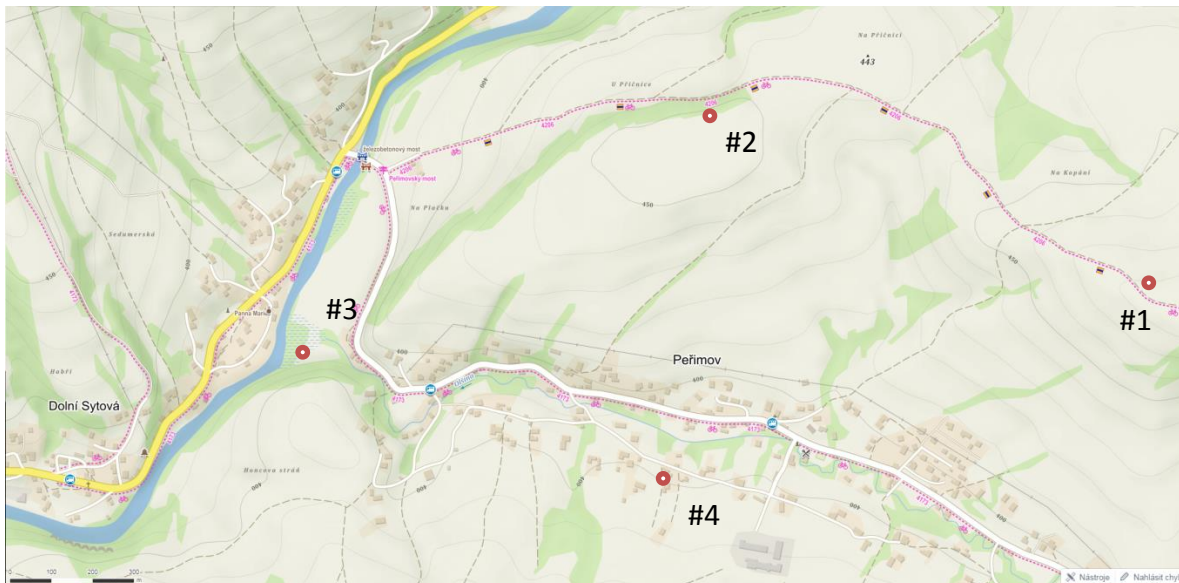
**Datalogger #3** (N 50°37.20458', E 15°26.35177') byl dán do údolí v nadmořské výšce 380 m n. m. při soutoku potoka Olšina a řeky Jizery. Údolí je z jižní strany ohraničeno prudkým srázem a z druhé strany vodním tokem. V místě se očekává vyšší vlhkost vzduchu, nižší teploty, proudění vzduchu daného pohybem vody a sálání od svahu (Obr. 3.1.8).

**Datalogger #4** (N 50°37.51783', E 15°27.21565') byl také umístěn na kopec č. 2 nad vesnicí, jen na nižším bodě v nadmořské výšce 450 m n. m. Hodnoty z tohoto dataloggeru by měly být teoreticky velmi obdobné, jako hodnoty z dataloggeru #1, který je umístěn ve velmi podobných podmínkách (Obr. 3.1.9). Potvrdí-li se tento fakt, můžeme říci, že lokality stejného klimatického charakteru mají i stejné tepelně-vlhkostní podmínky.



Obr. 3.1.9: Umístění dataloggeru #4 na kopci č.2

Celkový plánec (Obr. 3.1.10) umístěných meteostanic ukazuje převýšení terénu a vzájemné souvislosti mezi jednotlivými místy.

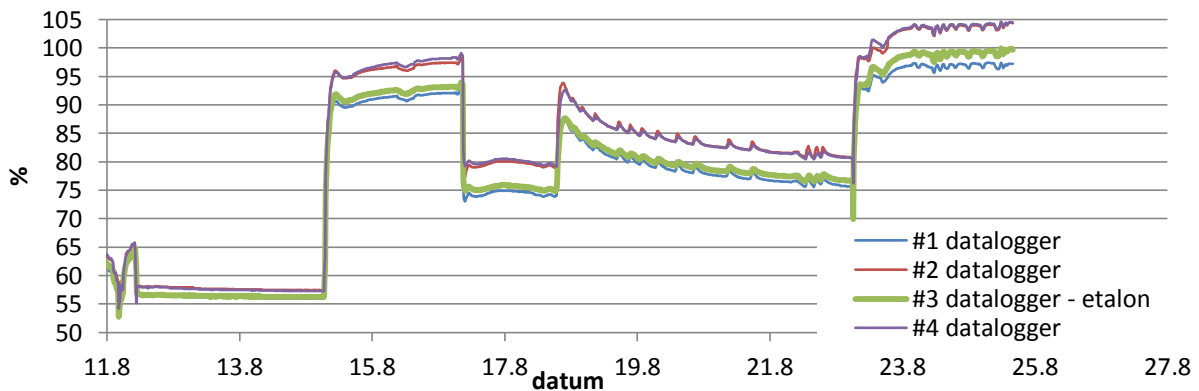


Obr. 3.1.10: Plánek umístění všech čidel se vzájemnými souvislostmi

Ostré měření probíhalo na těchto místech od neděle 14. května do čtvrtka 27. července 2017. Dataloggery nebyly umístěny na soukromý pozemek, proto ke každému dataloggeru byla připevněna informační cedulka, k jakému účelu a jak dlouho měření probíhá. Potěšilo mě, že dataloggery byly po více jak dvou měsících nalezeny ve stejném stavu, jak byly připevněny.

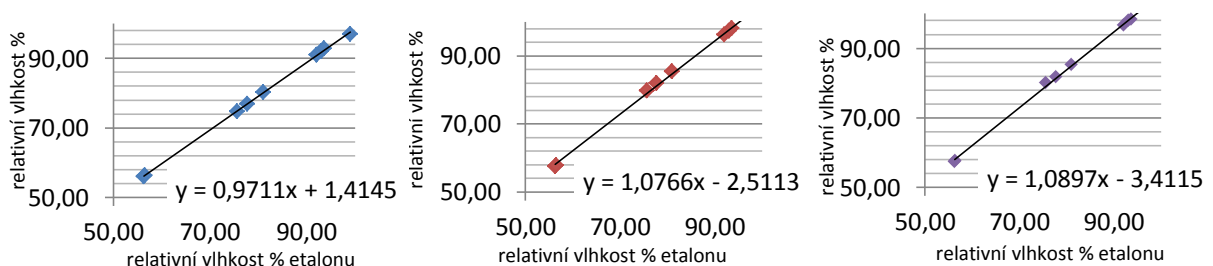
### 3.1.4 Kalibrace dataloggerů

Než bylo možné přejít k samotnému vyhodnocování naměřených dat, byla provedena kalibrace dataloggerů a podle té pak naměřené hodnoty upřesněny. Všechny čtyři dataloggery byly umístěny do několika prostředí se známou vlhkostí a teplotou. Naměřené hodnoty teplot se vzájemně nerozcházely o více jak 0,1 °C, proto nebylo třeba dělat korekci naměřených teplot. Kde se ale hodnoty rozcházely, byly naměřené relativní vlhkosti (Graf 3.1.1). Nej přesnější hodnoty naměřil datalogger #3, který byl použit jako etalon a podle něj se ostatní dataloggery zkalibrovaly. Po konzultaci s paní Dr. RNDr. Janou Noskovou z katedry matematiky, byl zvolen jako nejlepší metoda ke kalibraci lineární regresní model.



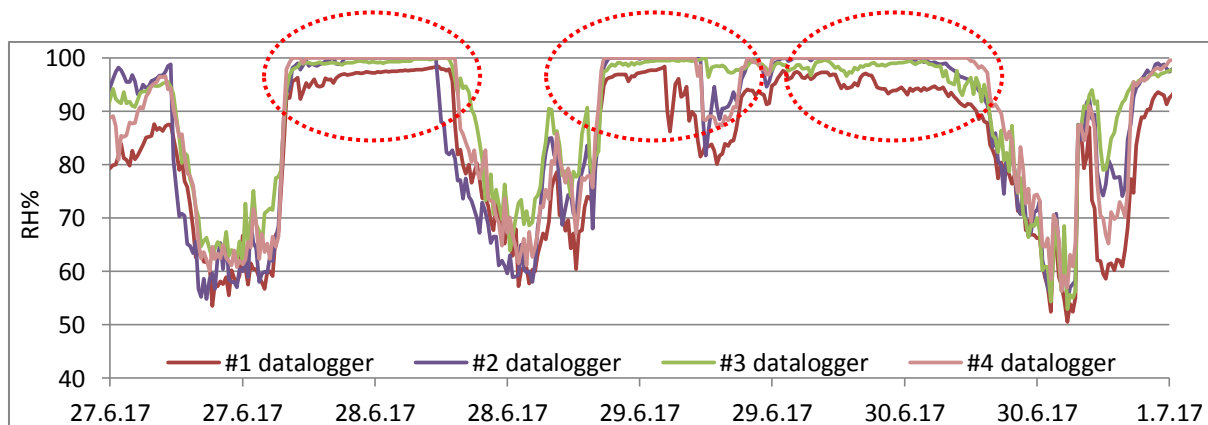
Graf 3.1.1: Naměřené hodnoty relativní vlhkosti v laboratoři ± 5 % od etalonu (kalibrace dataloggerů)

Ve vyšších relativních vlhkostech se hodnoty od etalonu rozcházely až o 5 % relativní vlhkosti, což už není zanedbatelná odchylka. Z každého měřeného období byla vybrána jedna až dvě naměřené hodnoty. Hodnoty z etalonu byly dosazeny za x-ové souřadnice grafu a za y-ové souřadnice byly dosazeny hodnoty kalibrovaného dataloggeru. Vzniklé body byly pro zjednodušení proloženy přímkou. Vzniklá funkce grafu ukazuje, jak moc se datalogger rozchází od etalonu. Naměřené hodnoty byly touto funkcí (Graf 3.1.2) přenášobeny a výsledkem byly přesnější hodnoty relativní vlhkosti.

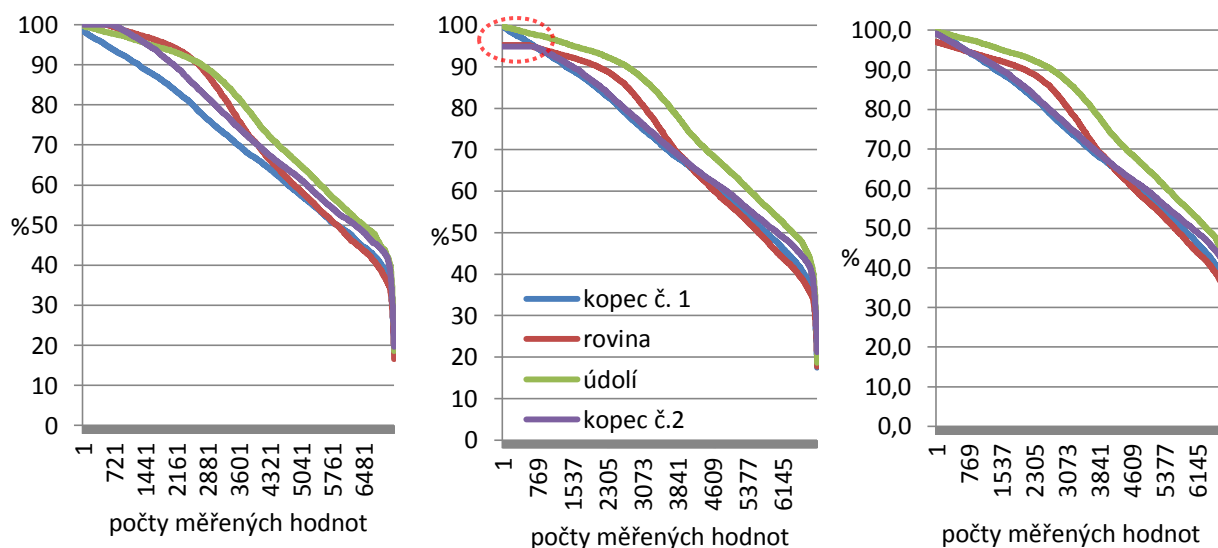


Graf 3.1.2: Grafy pro určení koeficientu lineární regrese (zleva: #1 datalogger, #2 datalogger, #4 datalogger)

Po aplikaci lineární regrese bylo docíleno značně přesnějších hodnot. Kde tato metoda nefungovala, bylo u naměřených hodnot, které dosahovaly 100 % relativní vlhkosti. Při této hodnotě nebylo možné identifikovat, zda reálná hodnota na měřeném stanovišti dosahovala opravdu 100 % relativní vlhkosti nebo hodnot nižších, které ale díky nepřesnosti měření dataloggeru byly zaznamenány jako hodnota 100 %. Na grafu (Graf 3.1.3) jsou označena nejednoznačná místa grafu naměřených hodnot relativních vlhkostí před kalibrací. Na histogramu (Graf 3.1.5) zkalibrovaných hodnot relativních vlhkostí z měření můžeme vidět tuto nepřesnost v podobě vodorovných zakončení křivek, které vlastně říkají, že jedna hodnota, v tomto případě konkrétně 95 % RH, je vůči ostatním hodnotám zastoupena daleko častěji. Což vzhledem k měřené veličině, samotnému vývoji křivek a problému zmíněného výše se jeví jako nepravděpodobná skutečnost. Proto byly dopočítány trendy křivek, tím získány pravděpodobné hodnoty vysokých relativních vlhkostí, které nebylo možno kvůli nepřesnosti dataloggerů jednoznačně určit. Finální histogram naměřených hodnot relativních vlhkostí po korekci 100 % RH můžeme vidět na grafu (Graf 3.1.4).



Graf 3.1.3: Naměřené hodnoty relativní vlhkosti bez kalibrace, které mají 100 % RH



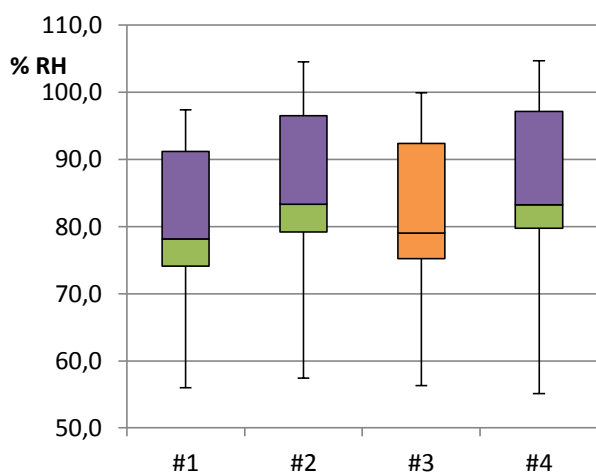
Graf 3.1.6: Histogram rel. vlhkosti z ostrého měření bez kalibrace (vlevo)

Graf 3.1.5: Histogram rel. vlhkosti z ostrého měření po kalibraci bez 100 % RH (uprostřed)

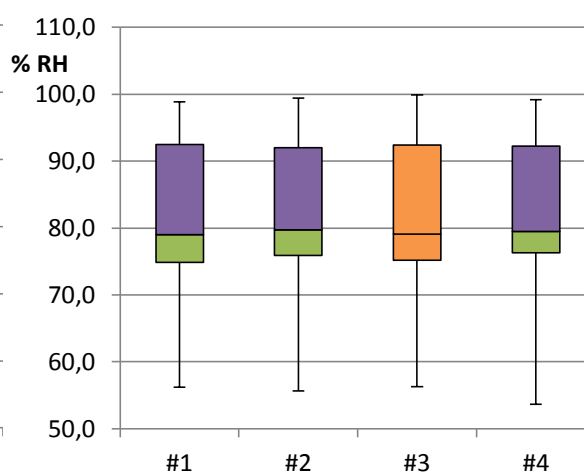
Graf 3.1.4: Histogram rel. vlhkosti z ostrého měření po kalibraci (vpravo)

Jak se hodnoty dataloggeru rozcházejí před kalibrací, pěkně ukazují krabicové grafy (Graf 3.1.7 a 8). Krabicový graf neboli boxplot ukazuje data pomocí kvartilů. Fialová část boxu je shora ohraničena 3. kvantilem, který odpovídá hodnotě s kumulovanou relativní četností 75 %. A zelená krabicová část je ohraničena zdola 1. kvantilem s relativní četností 25 %. Mezi fialovou a zelenou částí boxu je linie mediánu, která rozděluje 1. a 3. kvantily na dvě stejně početné množiny. Celý box, tedy zelená i fialová část, obsahuje 50 % dat. Vousy, které vycházejí ze střední části grafu, ukazují maximální a minimální hodnoty (10), (11).

Pro lepší názornost byl etalon znázorněn oranžovou barvou. Na grafu (Graf 3.1.7) vidíme u dataloggeru #2 a #4, že maximální hodnoty dosahují nad 100 % relativní vlhkosti, což je nesmysl. Naopak datalogger #1 má hodnoty podezřele nízké. Na druhém grafu (Graf 3.1.4) jsou vidět hodnoty po kalibraci. Maximální odchylka, která se vyskytuje po kalibraci dat, je 1 % relativní vlhkosti. To je se srovnáním s počátečním stavem, kdy maximální odchylka dosahovala hodnot až 5 % relativní vlhkosti, uspokojivé.



Graf 3.1.7: Boxplot hodnot dataloggerů bez kalibrace



Graf 3.1.8: Boxplot hodnot dataloggerů po kalibraci

Jen pro představu, jaký dopad měla kalibrace na naměřené hodnoty z ostrého měření v jednotlivých lokalitách, ukazují histogramy (graf 3.1.4 - 6). Je vidět, že po kalibraci se naměřená data více sjednotila a nejsou mezi nimi takové rozdíly. Celkem logicky se vyrovnaly relativní vlhkosti na obou kopcích, zatím co bez kalibrace byly výsledky hodně rozdílné. Relativní vlhkost v údolí se po kalibraci oproti ostatním místům jeví jako nejvyšší. Teď jsou naměřené hodnoty upravené a lze říci, že odchylka měření způsobená rozdílnými dataloggeri, byla minimalizována.

## 3.2 Výsledky měření

Porovnání naměřených výsledků je už po provedené kalibraci relativních vlhkostí.

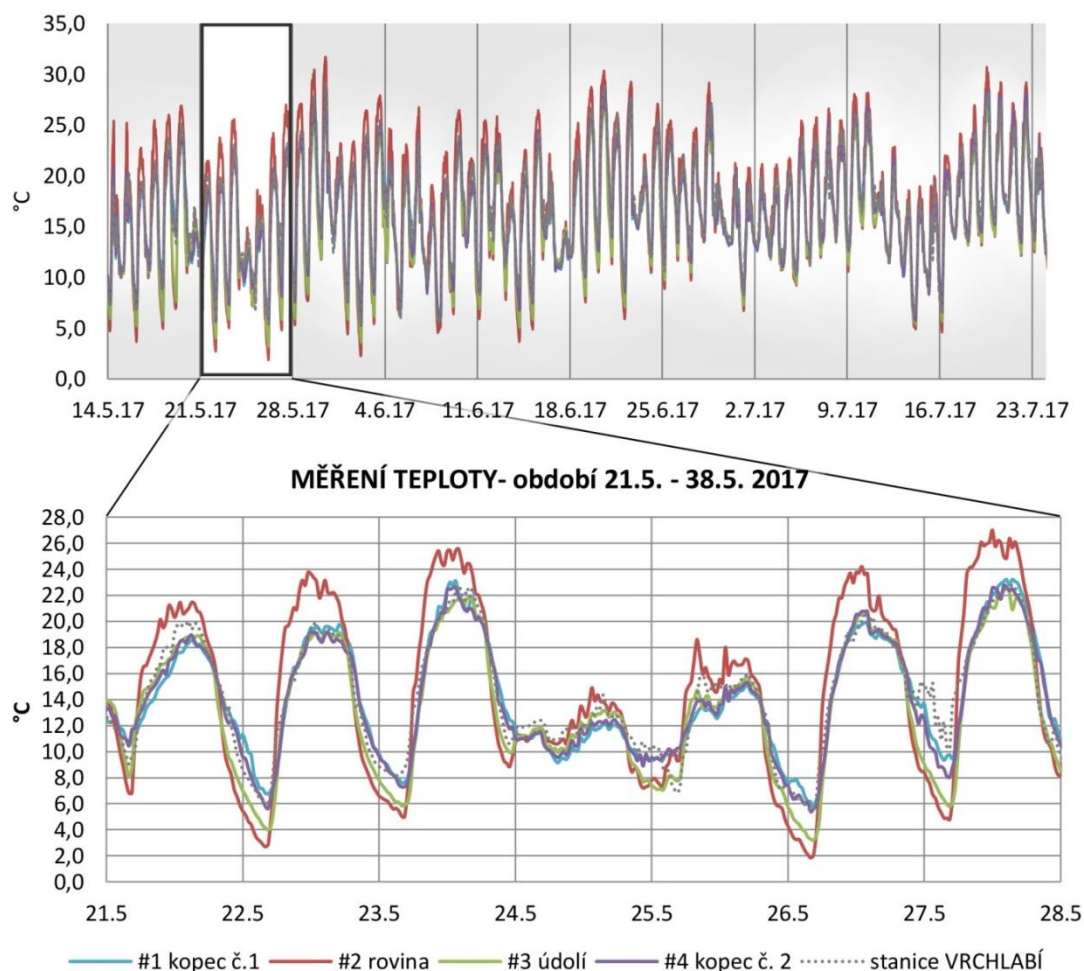
V každém grafu je srovnání všech čtyř lokalit i s oficiálními daty z meteorologické stanice Vrchlabí. Data jsou naměřena z období od 14. května do 27. července 2017. Data z Vrchlabí byla zakoupena od Českého hydrometeorologického ústavu pobočkou sídlící v Hradci Králové, která spravuje Vrchlabskou meteorologickou stanici (12). Data byla poskytnuta v rozsahu celého měřeného období. Jednalo se o záznam teploty a relativní vlhkosti vzduchu v 15 minutovém časovém kroku. Pro školní práce ČHMÚ poskytuje data za desetinu běžné ceny. Díky těmto výhodným podmínkám, mohou být naše naměřené hodnoty porovnány s oficiálními daty, které by teoreticky byla použity do stavebně-fyzikálních výpočtů.

Graf ukazuje nejprve celkový vývoj zaznamenaných hodnot z celého měřeného období. Protože se z celkového grafu jen těžko odečítají hodnoty, jsou vytvořeny tabulky, ve kterých je srovnání jednotlivých lokalit. Najdeme v nich maximální, minimální a průměrnou naměřenou hodnotu z celého pozorovaného období. Pod celkovým grafem je zobrazen jeden reprezentativní týden, kde jsou měřené hodnoty vidět podrobněji. Konkrétní týden byl vybrán na základě průběhu dat. V týdnu 21.-28.5. jsou vidět dny, kdy hodnoty mezi dnem a nocí jsou velmi rozdílné, tak i dny, kdy jsou naopak naměřené hodnoty venkovního vzduchu vyrovnané. Tento týden je vybrán i v dalších částech práce, kde je ukázán tepelně-vlhkostní vývoj lokality v rozsahu jednoho týdne.

Graf teplot (Graf 3.2.1) ukazuje, že se hodnoty v měřeném období pohybují od 2 °C až do 32 °C. Tato maxima i minima byla naměřena dataloggerem #2 umístěným na rovině ve vesnici. Průměrně nejnižší teploty byly naměřeny dataloggerem #3 umístěným v údolí. Čidla umístěna na kopcích naměřila velmi podobné hodnoty teplot a zároveň nejpodobnější hodnotám naměřených meteorologickou stanicí ve Vrchlabí. Jednoduché srovnání maximálních, minimálních a průměrných hodnot je vidět v tabulce (Tab. 3.2.1).

datalogger	max. teplota	min. teplota	průměrná teplota
#1 kopec č.1	29,3 °C	5,7 °C	16,7 °C
#2 rovina	32,1 °C	1,8 °C	17,2 °C
#3 údolí	28,4 °C	3,2 °C	15,8 °C
#4 kopec č. 2	29 °C	5,2 °C	16,6 °C
stanice VRCHLABÍ	29,1 °C	5,4 °C	16,7 °C

Tab. 3.2.1: srovnání maximálních, minimálních a průměrných teplot

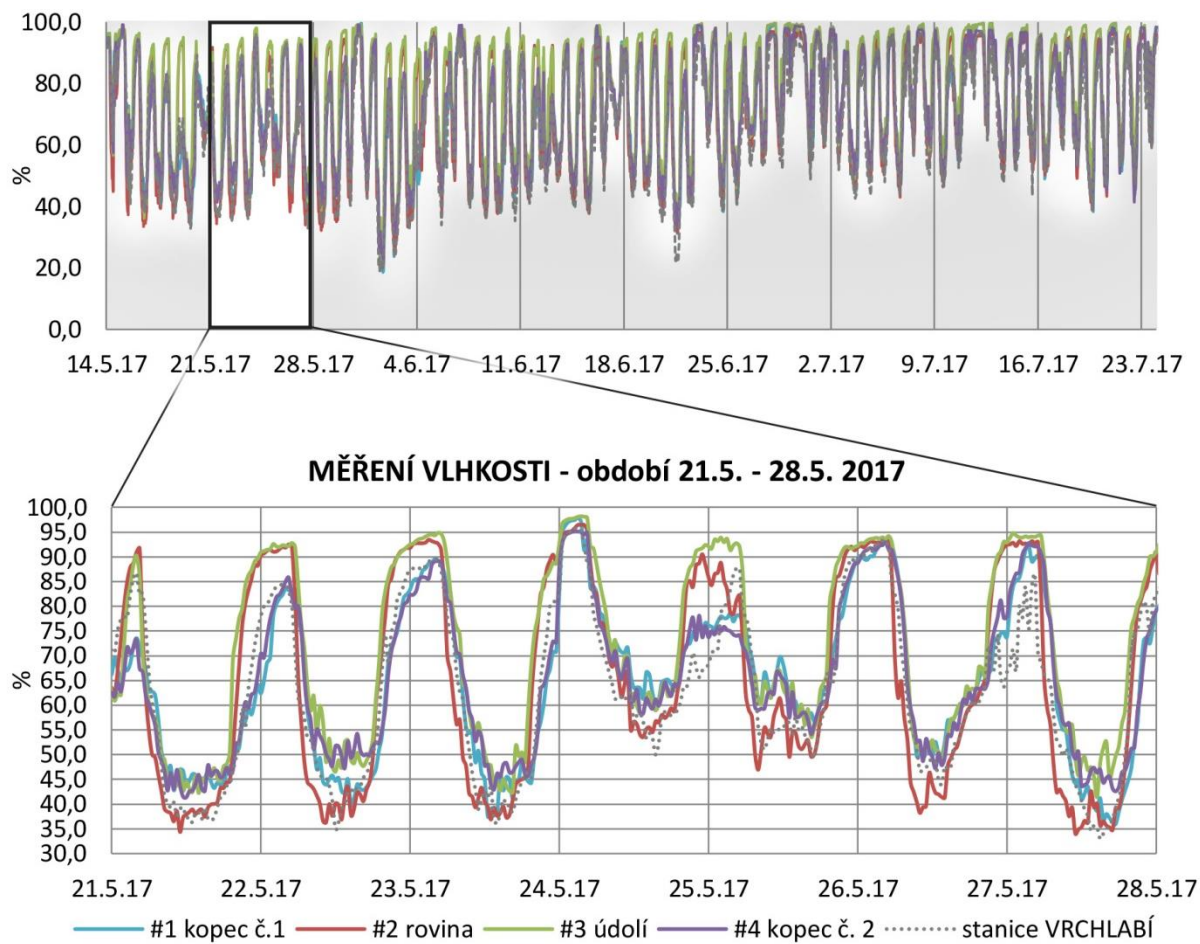


Graf 3.2.1: Celkový graf naměřených teplot a vybraný týden

Naměřené hodnoty relativní vlhkosti (Graf 3.2.2) se rozcházejí v jednotlivých lokalitách o něco více, než hodnoty teplot. Průměrná relativní vlhkost #2 na rovině ve vesnici a #4 na druhém kopci byla naměřena jen o 0,1 % rozdílně. Výrazně vyšší průměrná relativní vlhkost byla naměřena dataloggerem #3 v údolí, kde se hodnota lišila až o 6 % relativní vlhkosti od ostatních lokalit. Nejsušším místem byl první kopec, kde byl umístěn datalogger #1. Data z Vrchlabské stanice jsou oproti měřeným stanovištím nižší. V tabulce (Tab. 3.2.2) je srovnání lokalit a meteorologické stanice.

datalogger	max. relativní vlhkost (%)	min. relativní vlhkost (%)	průměrná relativní vlhkost (%)
#1 kopec č.1	100,0	17,4	71,0
#2 rovina	97,0	17,8	72,1
#3 údolí	100,0	18,6	78,1
#4 kopec č. 2	99,2	21,1	72,2
stanice VRCHLABÍ	97,0	18,7	68,6

Tab. 3.2.2: srovnání maximálních, minimálních a průměrných relativních vlhkostí



Graf 3.2.2: Celkový graf naměřených relativních vlhkostí a vybraný týden

Z naměřených hodnot teploty a relativní vlhkosti bylo možno dopočítat absolutní vlhkost v jednotlivých lokalitách. K výpočtu byl použit vzoreček na výpočet koncentrace vodní páry (absolutní vlhkosti) (13):

$$V = \varphi_{ea} \cdot V_{sat} \quad \left[ \text{kg} / \text{m}^3 \right] \quad (3.1)$$

$\varphi_{ea}$  [–] je naměřená relativní vlhkost vzduchu

$V_{sat}$   $\left[ \text{kg} / \text{m}^3 \right]$  je hustota nasycené vodní páry ve vzduchu o teplotě  $T_{ae}$   $[\text{°C}]$ . Hustota nasycené vodní páry ve vzduchu se vypočte jako:

$$V_{sat} = \frac{a \cdot \left( b + \frac{T_a}{100} \right)^n}{R_v \cdot (T_a + 273,15)} \quad \left[ \text{kg} / \text{m}^3 \right] \quad (3.2)$$

Protože naměřené hodnoty teploty byly větší jak  $0 \text{ °C}$ , můžeme použít hodnoty, kde pro:

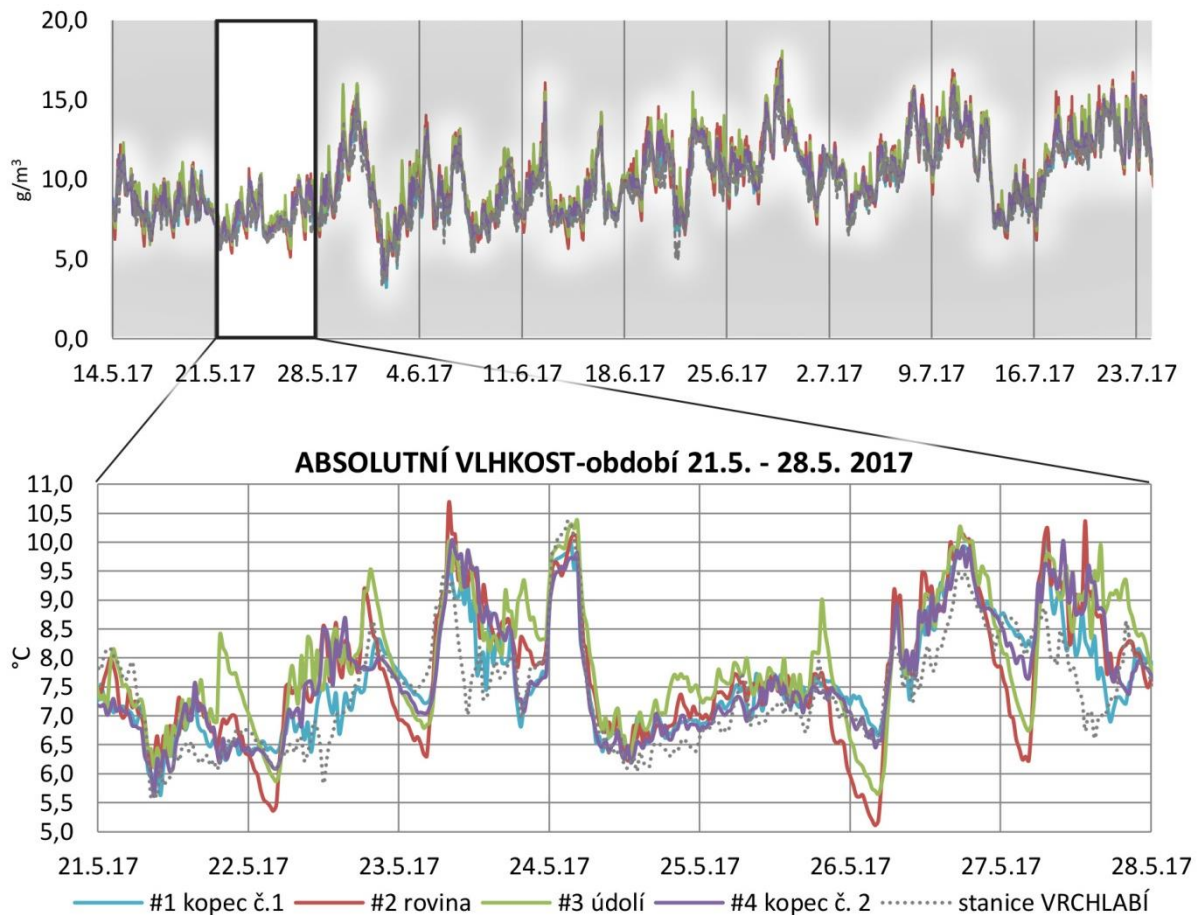


$$a=288,68 \text{ [Pa]} \quad b=1,098 \quad n=8,02 \quad R_v=461,5 \text{ [J/kg}\cdot\text{K]}$$

Vypočítané hodnoty absolutní vlhkosti (Graf 3.2.3) potvrzují dva předešlé grafy. Tedy, že údolí má nejvyšší průměrnou absolutní vlhkost, zatím co na prvním kopci je průměrná absolutní vlhkost nejnižší (Tab. 3.2.3). Jednotlivé lokality se ovšem v těchto hodnotách tolik nerozcházejí jako například v relativní vlhkosti. Oficiální meteorologická stanice má nejnižší hodnoty absolutní vlhkosti.

	max. absolutní vlhkost (g/m <sup>3</sup> )	min. absolutní vlhkost (g/m <sup>3</sup> )	průměrná absolutní vlhkost (g/m <sup>3</sup> )
#1 kopec č.1	19,1	3	9,9
#2 rovina	19,1	3,5	10,3
#3 údolí	20,0	3,3	10,4
#4 kopec č. 2	19,9	3,6	10,1
stanice VRCHLABÍ	16,2	3,4	9,6

Tab. 3.2.3: srovnání maximálních, minimálních a průměrných absolutních vlhkostí

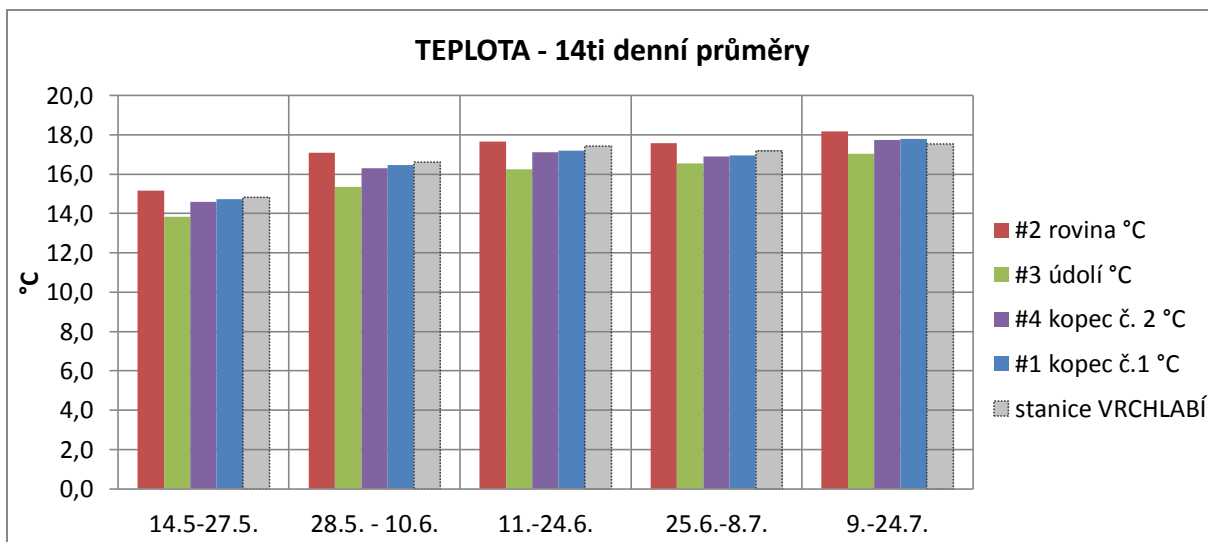


Graf 3.2.3: Celkový graf absolutních vlhkostí a vybraný týden

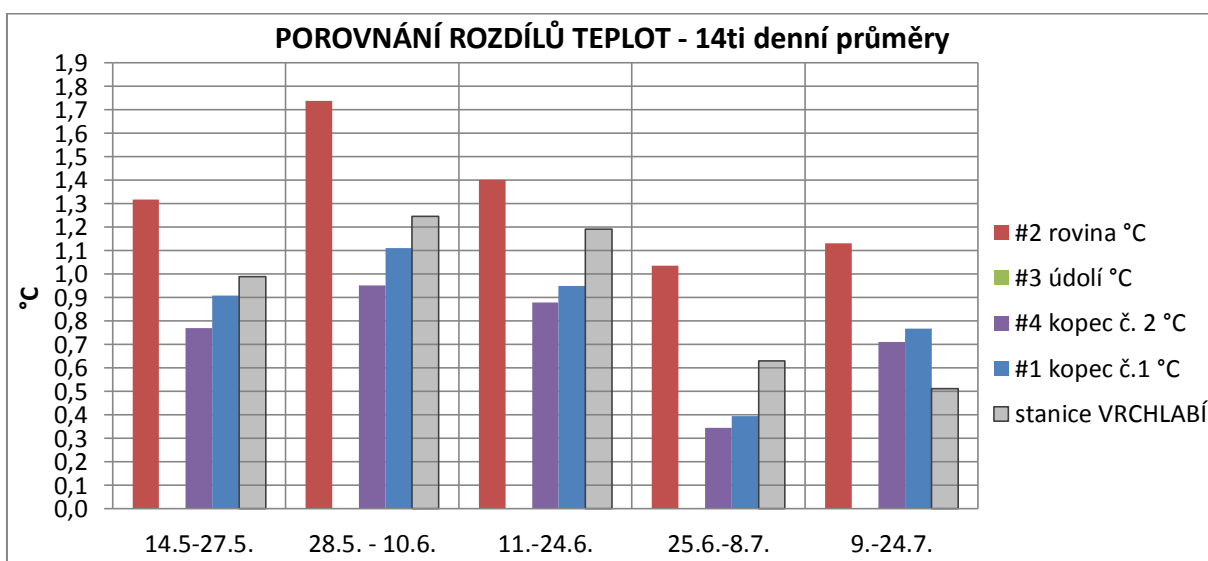
### 3.2.1 Čtrnáctidenní průměry naměřených hodnot

Z naměřených dat byly vytvořeny čtrnáctidenní průměry hodnot, které reflektují naměřené hodnoty ve sloupcových grafech. V dalším sloupcovém grafu jsou vidět rozdíly hodnot v jednotlivých měřených lokalitách. A poslední graf čtrnácti-denních průměrů ukazuje trend křivky, ze které můžeme číst, jak rychle nebo pomalu se měřené hodnoty projeví.

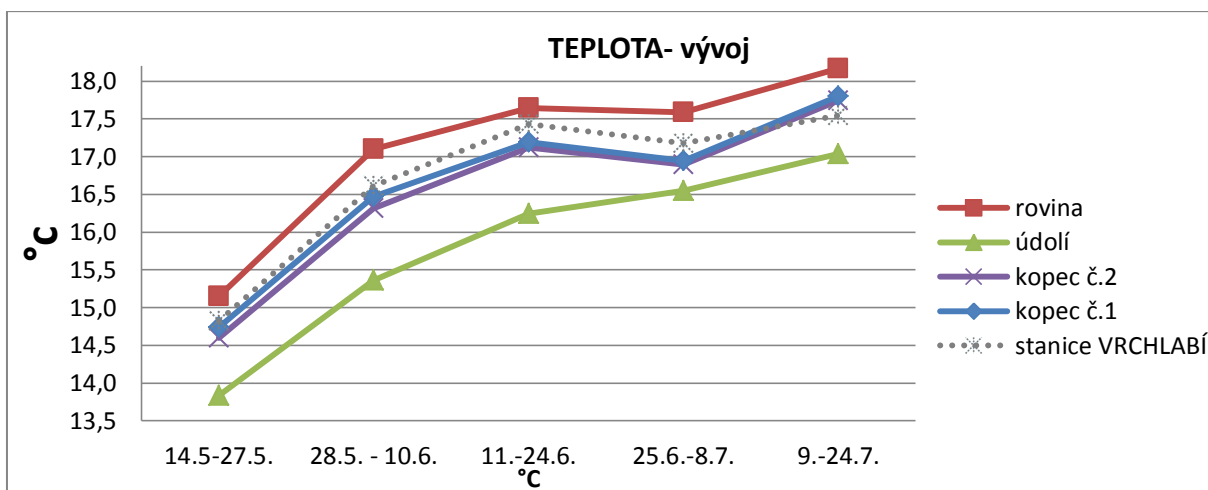
Na grafu (Graf 3.2.4) čtrnáctidenních průměrů teplot, je vidět, jak se teploty od května do července postupně zvyšovaly. Od průměrných hodnot kolem 14 °C až po průměrné hodnoty k 18 °C. Druhý sloupcový graf (Graf 3.2.5) blíže znázorňuje rozdíly teplot mezi jednotlivými lokalitami. Na první pohled je vidět, že proporce sloupců jsou každý čtrnáctidenní úsek velmi podobné. Rozdíly teplot mezi prvním a druhým kopcem jsou 0,1 °C, takže sloupce dataloggeru #1 a #4 jsou velmi vyrovnané. Oproti hodnotám v údolí, bylo na kopcích o 1 °C tepleji. Největší sloupec je s hodnotami teplot naměřených dataloggerem #4 na rovině ve vesnici. Zde je teplotní rozdíl mezi údolím a rovinou ve vesnici 1,0 -1,7 °C. Poslední graf spojnicový (Graf 3.2.6) demonstruje vývoj teploty v dané lokalitě. Jak rychle nebo pomaleji konkrétní místo reaguje na vývoj teplot v měřeném období. Je vidět, že v údolí byl vývoj teplot nejplynulejší a nejpozdovější. Oproti tomu na kopcích je vidět vývoj teplot daleko dynamičtější. Křivky obou kopců se vzájemně skoro překrývají, vzhledem k tomu, že naměřené hodnoty se v obou místech velmi shodují. Teplota na rovině má nejrychlejší nárůst než zbylá místa.



Graf 3.2.4: Graf 14 denní průměry teplot v jednotlivých lokalitách

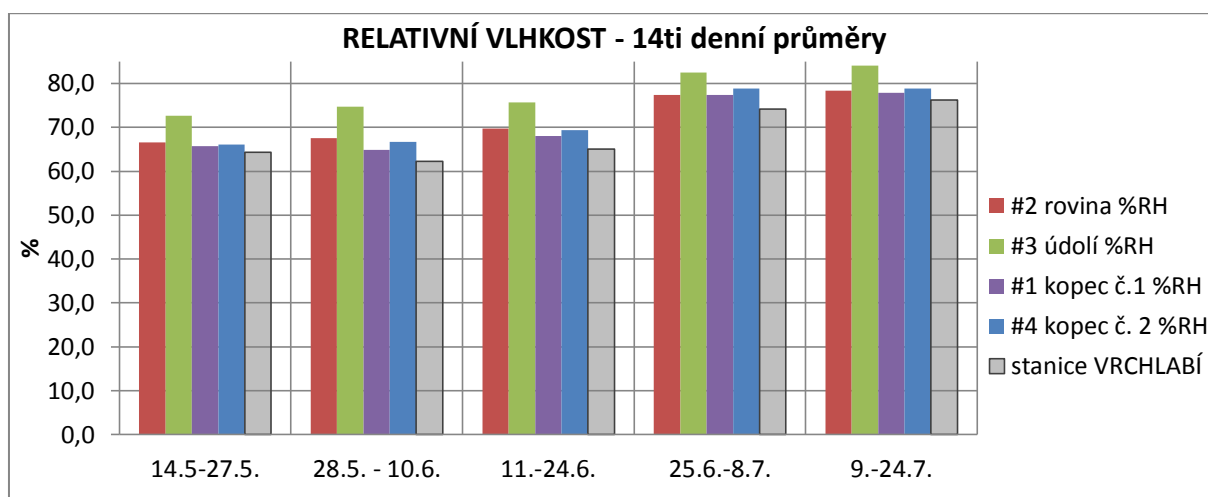


Graf 3.2.5: Graf 14 denní průměry teplot v jednotlivých lokalitách

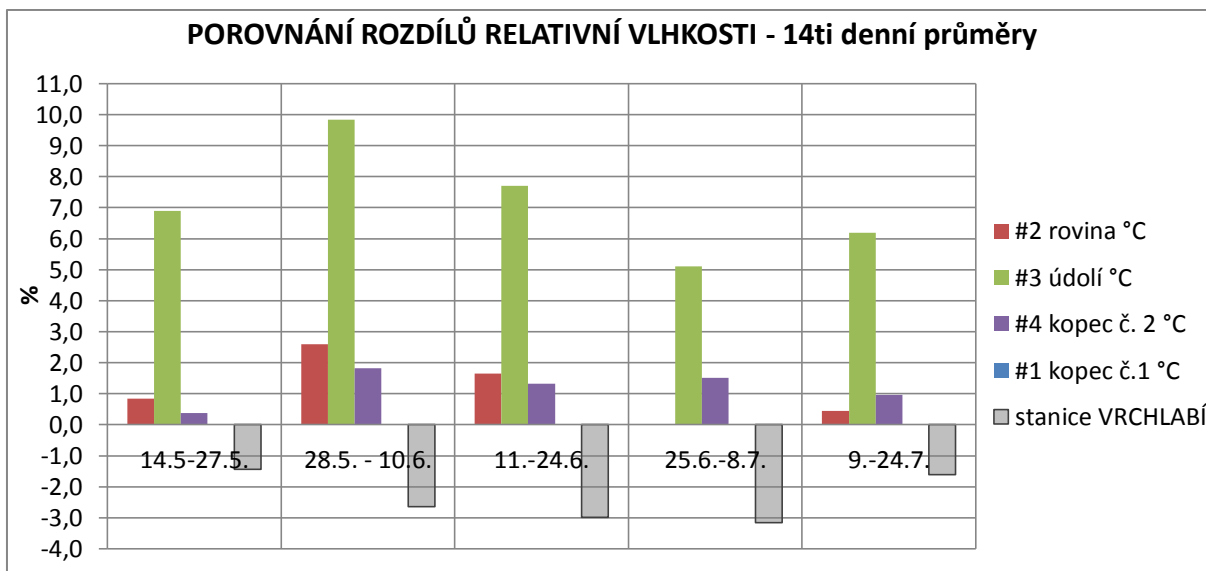


Graf 3.2.6: Graf 14 denní průměry – vývoj teplot

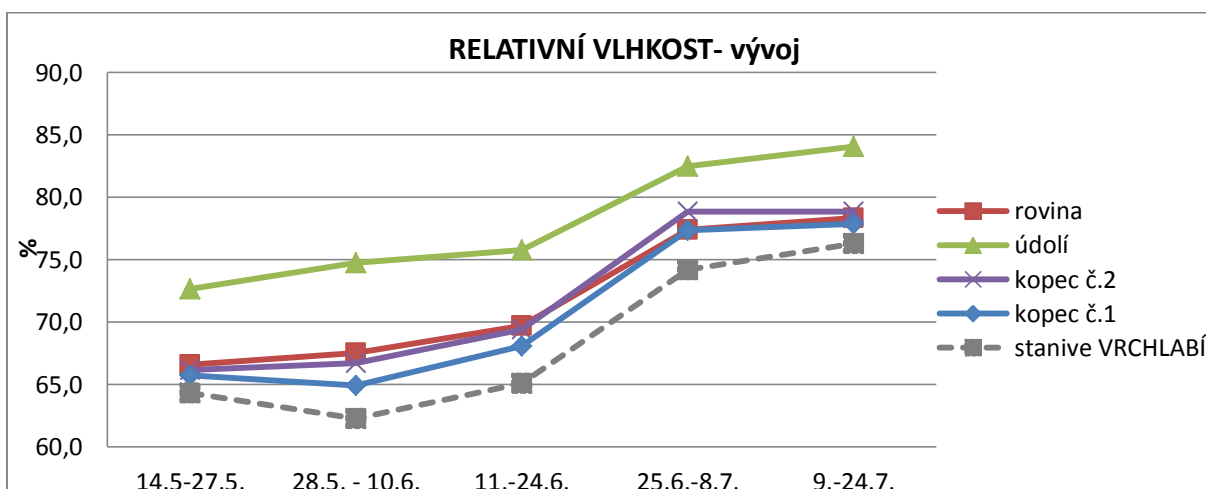
Stejným způsobem, jak byla zpracována data z měření teplot, byly zpracovány i hodnoty naměřených relativních vlhkostí a stejně graficky rozebrány. Na (Graf 3.2.7) prvním grafu jsou vidět čtrnáctidenní průměry relativní vlhkosti jednotlivých lokalit. Sloupcové grafy ukazují, jak stejně jako teplota i relativní vlhkost se ve všech lokalitách postupně zvyšuje. Zatímco v prvních 14 dnech měřeného období průměrná hodnota relativní vlhkosti se pohybuje kolem 66 %, v posledních 14 dnech období se hodnoty relativní vlhkosti vyšplhají až k 77 %. Dále je na sloupcovém grafu jasně čitelné, že hodnoty na kopcích a na rovině jsou si velmi blízké, výrazně vybočují jen hodnoty naměřené v údolí. Právě rozdíly relativních vlhkostí jsou dobře patrné v druhém sloupcovém grafu (Graf 3.2.8), který říká, že v údolí jsou hodnoty relativní vlhkosti o 5 až 10 % vyšší než na kopci. Ostatní lokality už nejsou tak konzistentní ve všech 14 denních průměrech. Nejmenší rozdíly hodnot jsou mezi lokalitou dataloggerem #2 a dataloggerem #4. To, že hodnoty relativních vlhkostí jsou si velmi blízko a že výrazně vybočují jen hodnoty naměřené v údolí, ukazuje i poslední graf (Graf 3.2.9).



Graf 3.2.7: Graf 14 denní průměry relativní vlhkosti v jednotlivých lokalitách

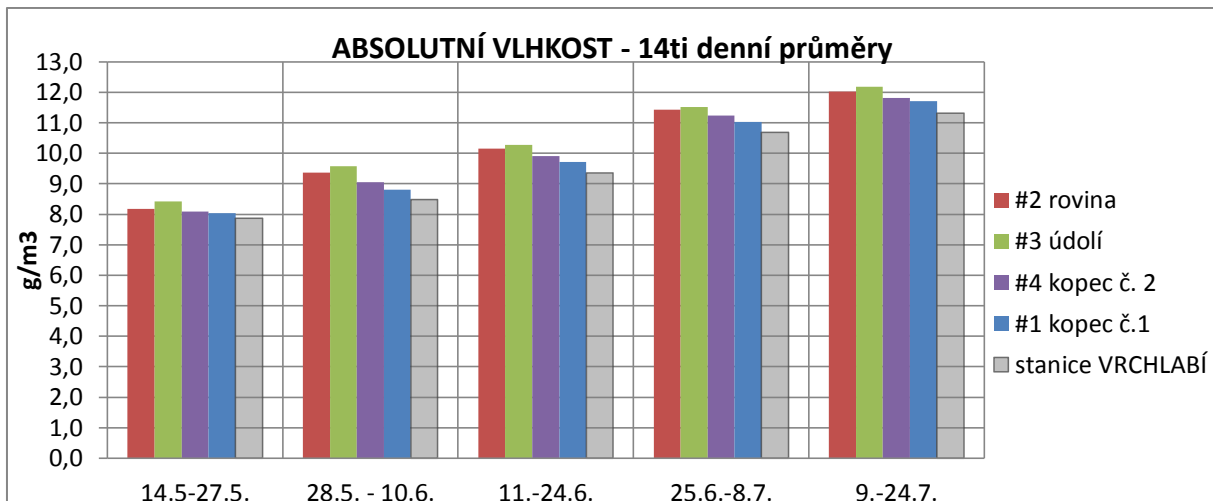


Graf 3.2.8: Graf 14 denní průměry – rozdíl relativní vlhkosti v jednotlivých lokalitách

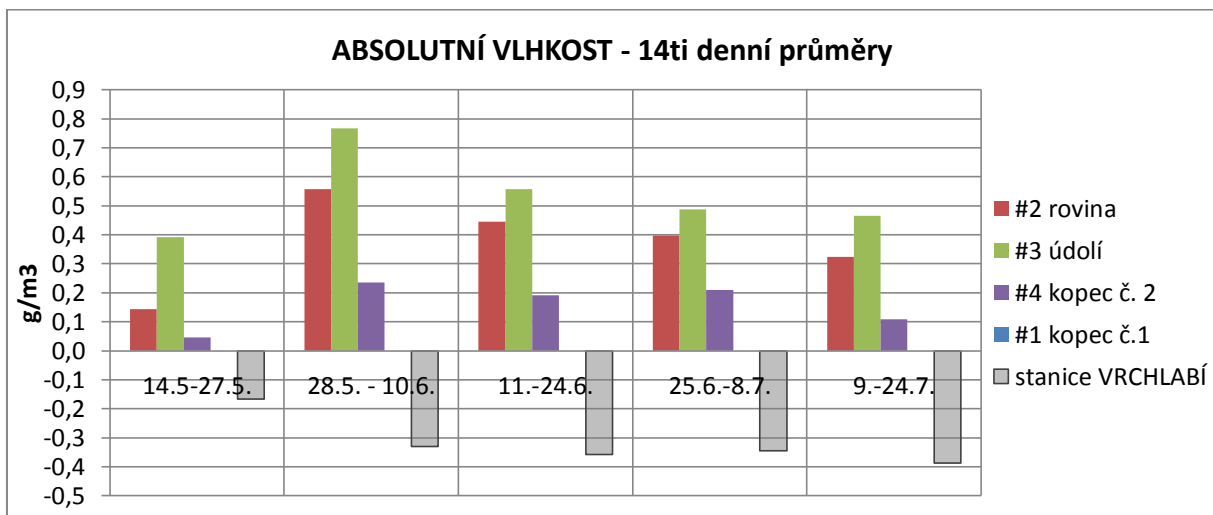


Graf 3.2.9: Graf 14 denní průměry – vývoj relativní vlhkosti v jednotlivých lokalitách

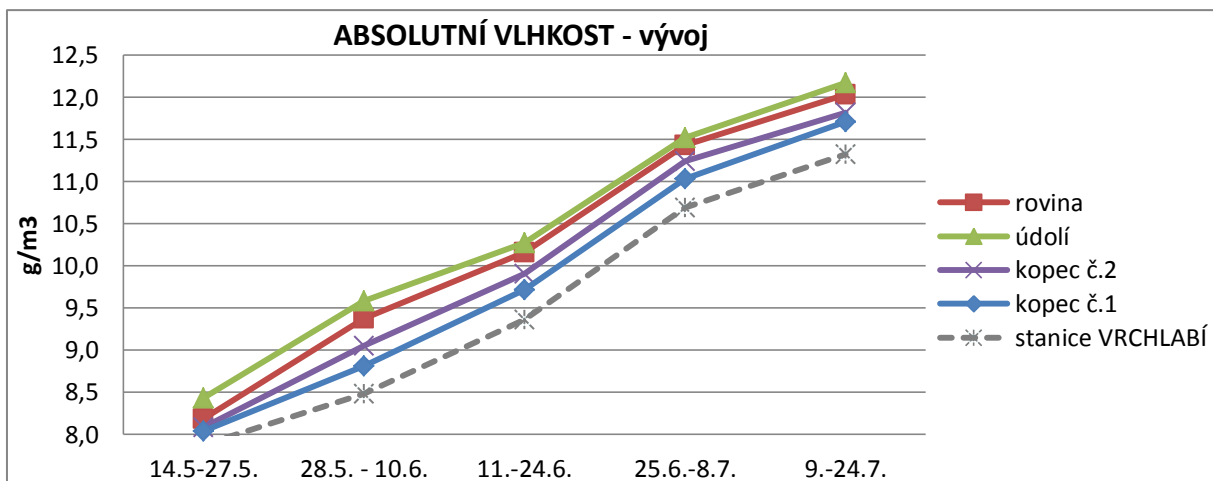
Pro úplnost ještě krátké srovnání absolutních vlhkostí. Na sloupcovém grafu (Graf 3.2.10) jsou vidět průměrné hodnoty absolutní vlhkosti, kde v tomto větším měřítku nejsou rozdíly jednotlivých lokalit velké. Druhý graf se zaměřuje jen na rozdíly v jednotlivých lokalitách (Graf 3.2.11). Zde se poměr sloupců v jednotlivých průměrech opakuje. Nejsušším místem dle tohoto grafu je první kopec změřený dataloggerem #4. Naproti tomu je nejvlhčím místem údolí, kde je rozdíl vlhkosti 0,5 – 0,8 g/m<sup>3</sup> oproti lokalitě na kopci, v těsném závěsu je místo na rovině, které má jen o 0,1 -0,2 8 g/m<sup>3</sup> nižší hodnoty než jsou v údolí. Lokality na kopci vychází jako nejsušší. Spojnicový graf je v těchto hodnotách v porovnání s jednotlivými lokalitami nejvyrovnanější (Graf 3.2.12).



Graf 3.2.10: Graf 14 denní průměry absolutní vlhkosti v jednotlivých lokalitách



Graf 3.2.11: Graf 14 denní průměry- rozdíly absolutní vlhkosti



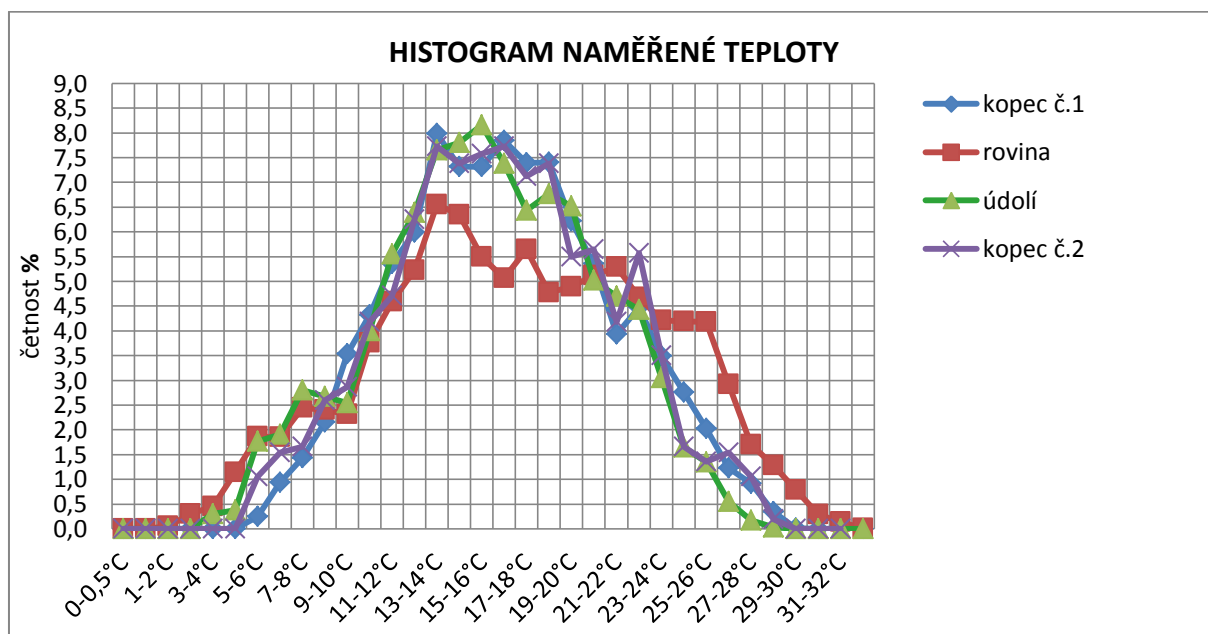
Graf 3.2.12: Graf 14 denní průměry- vývoj absolutní vlhkosti

### 3.2.2 Histogramy naměřených hodnot

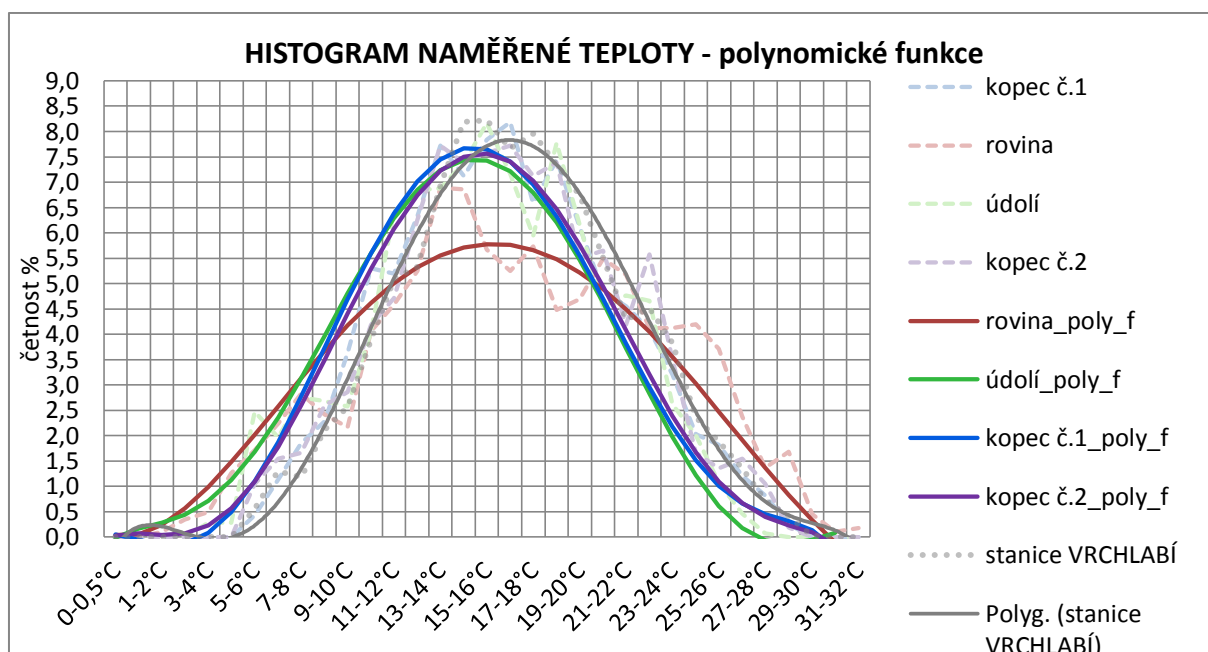
Zajímavým porovnáním jednotlivých lokalit jsou histogramy, kde je vidět, jaká hodnota se nejčastěji v měřeném období vyskytovala.

První histogram (Graf 3.2.13) ukazuje procentuální četnost naměřených teplot. Tento graf není tak dobře názorný jako graf následující. Ten znázorňuje stejné hodnoty, ale podle mého názoru polynomy jsou lépe graficky čitelné.

Přerušovaná čára v grafu (Graf 3.2.14) značí spojnicový graf přesně vynesenejch bodů podle četnosti. Spojitá čára ukazuje proložení spojnicového grafu pomocí funkce pátého stupně polynomu pro lepší názornost a čitelnost grafu. Histogram teplot ukazuje, že v měření byla nejvíce zastoupena hodnota 17 °C. Funkce hodnot měřených na kopcích se navzájem překrývají. U hodnot měřených v údolí je vidět větší četnost nižších teplot kolem 5 °C, než je tomu na kopcích. Naopak tomu je u vyšších teplot kolem 27 °C, kde je četnost těchto hodnot o něco nižší než na kopcích. U teplot změřených na rovině jsou dobře vidět největší teplotní výkyvy. Křivka nedosahuje takových maxim v jednom bodě, ale je více rozevřená po celém spektru naměřených hodnot.



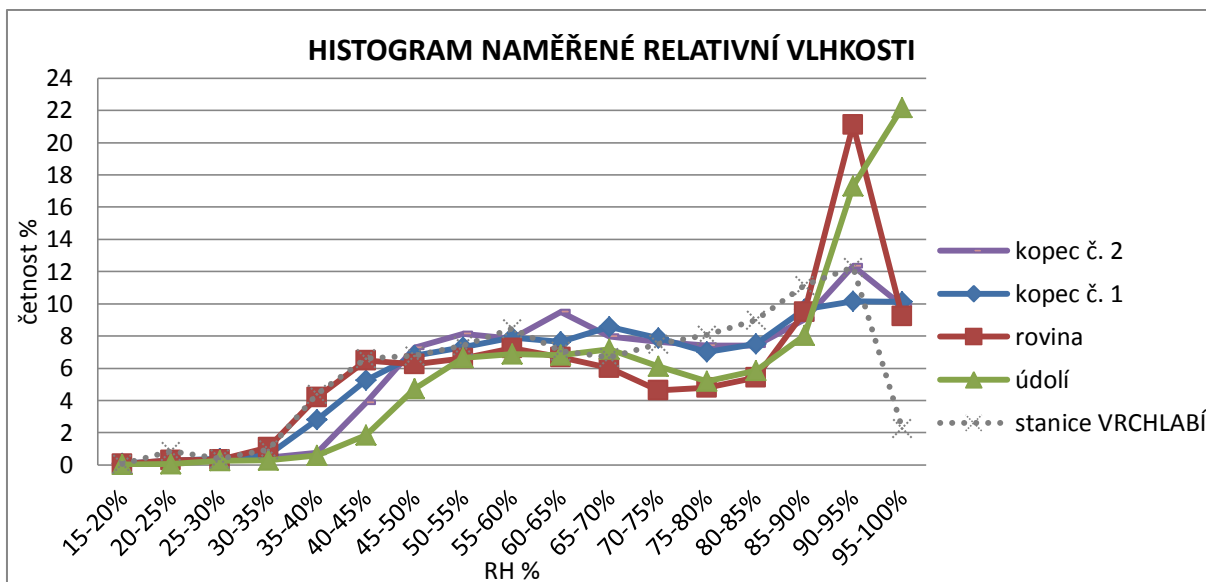
Graf 3.2.13: Histogram naměřených teplot



Graf 3.2.14: Histogram naměřených teplot – polynomické funkce

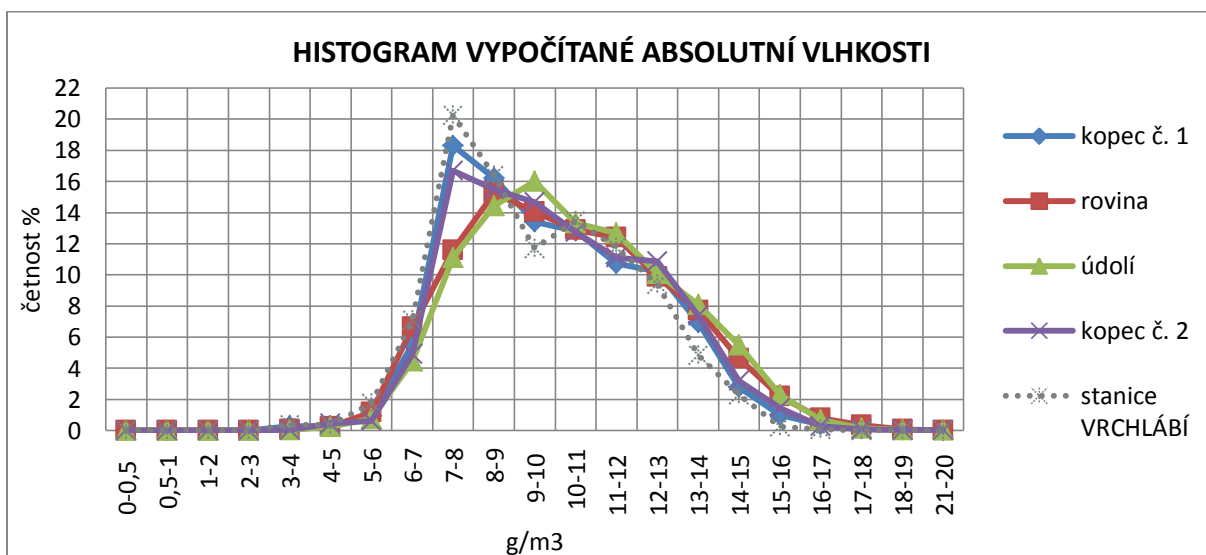
Na histogramu (Graf 3.2.15) relativních vlhkostí je vidět, že průběhy hodnot měřených na kopcích jsou velmi vyrovnané. Křivka dataloggeru umístěného na rovině ve vesnici se zvedá nejdříve, má tedy oproti ostatním místům nejvíce zastoupené nízké hodnoty relativní vlhkosti. Největší rozdíly najdeme v hodnotách nad 90 % - 95 % relativní vlhkosti. Zatím co četnost hodnot naměřených na kopcích se pohybuje kolem 10 % všech naměřených hodnot v lokalitě, u dataloggeru umístěného v údolí je to až 17 % všech hodnot a nejvíce těchto hodnot najdeme změřených dataloggerem umístěným na rovině, kde to je přes pětinu všech naměřených hodnot. Ještě je zajímavé se zaměřit na hodnoty nad 95 % relativní vlhkosti, kde datalogger vykazují stejný podíl četnosti a to 10 % až na hodnoty měřené v údolí. Tam je 22 % všech naměřených hodnot větších jak 95 % relativní vlhkosti.





Graf 3.2.15: Histogram naměřených relativních vlhkostí

Poslední histogram (Graf 3.2.16) ukazuje srovnání absolutních vlhkostí v jednotlivých lokalitách. Tady je průběh u všech lokalit velmi podobný, jen u hodnoty 7-8 g/m<sup>3</sup> se grafy rozcházejí. Četnost této hodnoty v lokalitách na kopci vyskočí u obou na 17 – 18 % všech hodnot. V údolí a na rovině je četnost jen 12 % všech naměřených hodnot. Tím že kopce vybočují v hodnotě kolem 7-8 g/m<sup>3</sup>, je opět jinde kompenzováno. To je vidět kolem hodnot 13-16 g/m<sup>3</sup>, kde četnost těchto hodnot je o něco nižší než u lokality v údolí a na rovině.



Graf 3.2.16: Histogram absolutní vlhkosti

### 3.3 Diskuse k měření

Podle výsledků naměřených hodnot je vidět, že lokality se v naměřených hodnotách rozcházejí.

Podle naměřených hodnot, měřených v období od 14. května do 27. července 2017, vychází nejchladnější a nejvlhčí stanoviště v údolí, které bylo měřeno dataloggerem #3. Tento fakt může být zdůvodněn několika faktory. Asi nejvíce naměřené hodnoty ovlivnila přítomnost vodního toku. Čidlo bylo od řeky umístěno cca 5 m. Teplota vody je stabilnější než teplota vzduchu, porovnáme-li denní maxima jednotlivých stanovišť, čidlo údolí nikdy nedosáhne tak vysokých hodnot, jaká jsou na čidlech na kopci nebo na rovině. Proudící voda odebírá teplo okolnímu vzduchu, tím prostředí kolem ochlazuje. Voda se z hladiny řeky stále odpařuje. Pro změnu skupenství z kapalného na plynné spotřebuje skupenské teplo, které je odebíráno z prostředí. Samotné údolí je z jižní strany odstíněno příkrým srázem, takže až na hodiny kolem poledne, kdy je slunce nejvýše, jsou sluneční paprsky limitovány. Dopad na ochlazování má i okolní vegetace, která funguje jako přirozená klimatizace. Zamezuje dopadu přímého slunečního záření přímo na okolní terén v době, kdy je právě slunce nejvýše a zvyšuje odpařováním vody vlhkost okolního vzduchu. Protože okolní plochy do sebe za den nikdy nenaakumulují tolik tepla, ranní teploty jsou o dost nižší než teploty naměřené na kopcích. Stejně tak jako teplotu, tak i vlhkost ovlivňuje řeka a kolem rostoucí vegetace. Půda v okolí soutoku je stále zásobena vodou z potoka a řeky. Vlhkost se do vzduchu dostává i z vypařování vlhké půdy.

Záznamy z kopců jsou skoro stejné, což se očekávalo a výsledky to jen potvrzují. Charakter stanovišť byl cíleně vybrán co nejpodobnější. Nikde v dosahu nebyla žádná vodní hladina, obě stanoviště byla na stejném hřebenu, proto se předpokládá, že intenzita slunečního záření i množství srážek byly shodné. Množství a druh vegetace bylo také v obou případech srovnatelné. Zajímavé je, že průběh teplot naměřených na meteorologické stanici ve Vrchlabí, je nejpodobnější právě lokalitám na kopcích. Ovšem vlhkost je na obou kopcích vyšší než na stanici ve Vrchlabí. To bude způsobeno umístěním čidel na strom, který v sobě drží více vlhkosti, stejně tak jako pole kolem. Pole byla oseta pšenicí a kukuřicí. Nabízí se možnost, že obě rostliny v sobě mají více vlhkosti, kterou vypařují do okolí, než pravidelně sečená tráva u čidla ve Vrchlabí. Tímto by se dala vysvětlit skutečnost, že vlhkost ve Vrchlabské meteorologické stanici je nejnižší ze všech měřených lokalit. Je to ale pouze má domněnka.

Na stanoviště umístěné na rovině ve vesnici najdeme nejvíce výkyvů naměřených hodnot. Až na maximální relativní vlhkost, najdeme extrémy této lokality v každém grafu. I když je to průměrně nejsušší a nejteplejší lokalita, nejnižší naměřené teploty byly právě teploty změřené na rovině. Mezi

maximy častokrát figurují i hodnoty absolutní vlhkosti naměřené právě v této lokalitě. Tyto největší výkyvy teplot bude mít na svědomí fasáda blízkého domu, která sáláním ohřívá plochy kolem domu, a ty následně ohřívají vzduch kolem čidla. S velkou pravděpodobností se nejedná o ovlivnění radiací samotného čidla. Díky radiačnímu štítu bylo čidlo chráněno před sluneční radiací, tak i radiací od fasády. Tato problematika byla diskutována s doc. Ing. Michalem Sněhotou, Ph.D. a doc. Ing. Michalem Dohnalem, Ph.D. Protože je to plně jižně orientovaná fasáda, může prý v tomto místě vznikat tzv. sluneční past (výraz používaný v zahradní architektuře), kdy je v tomto místě zachytáváno maximum slunečních paprsků. Opačný efekt se děje v noci při jasné noční obloze. Fasáda je naopak podchlazena, protože odevzdala své teplo obloze, a tím ochlazuje okolní plochy domu. To zase ukazují minimální teploty v noci, které jsou ze všech měřených lokalit nejmenší. V ostatních lokalitách pochopitelně odevzdávání tepla z povrchů obloze muselo také probíhat, ale zde je tento efekt umocněn právě přítomností fasády. Fasáda není zase tak blízko, aby mohla o tolik ovlivnit sáláním přímo čidlo. To ukazují dny, kdy se můžeme domnívat, že bylo slunce zastíněno nebo noční obloha zatažená a čidlo na rovině nemá o tolik výrazně odlišné hodnoty teplot jako zbylé lokality.

Důležitým poznatkem z měření je, že k lepší interpretaci a porovnání výsledků by byly zapotřebí ještě další informace z jednotlivých lokalit. Zajímavou veličinou by byla intenzita slunečního záření. Viděli bychom, jak se jednotlivé lokality liší nebo shodují a jaký dopad to má na teplotu případně vlhkost. Zda ve stejný čas svítilo na všechny lokality stejně sluníčko, nebo na některé lokalitě bylo za mrakem a jak dlouho. Takhle můžeme jen předpokládat podle teplot, kdy svítilo sluníčko a kdy bylo pod mrakem. To samé by nám mohly říci i hodnoty naměřených srážek. Mohli bychom sledovat, jestli se někde vyskytla lokální přeháňka, která například mohla ovlivnit aktuální vlhkost vzduchu atp. Co by ještě stálo za změření, by byla určitě rychlost větru v každé lokalitě. Můžeme předpokládat, že v údolí foukalo nejméně, naopak, že na kopcích foukalo znatelně více. Podložené to ale čísly bohužel nemáme. V ideálním případě by mělo být na každé stanoviště umístěno taktéž čidlo na měření rychlosti větru, intenzity slunečního záření a množství srážek. Stávající hodnoty by bylo možno pozorovat v souvislosti s dalšími faktory a výsledky by mohly být o to přesněji interpretovány.

### 3.4 Závěr z měření

Výsledky ukazují, že jednotlivé lokality mají rozdílné záznamy z měření. Jak se předpokládalo, při výběru lokality, údolí bylo zhodnoceno jako nejvlhčí a nejchladnější lokalitou. Bylo zjištěno, že je možné běžně naměřit v této lokalitě o 2 °C nižší noční teploty než na meteorologické stanici Vrchlabí. Absolutní vlhkost v údolí je o 1 g/m<sup>3</sup> vyšší než ve Vrchlabské stanici. Oba kopce mají porovnatelné hodnoty a nejlíže se shodují s výsledky z meteorologické stanice Vrchlabí. V tomto případě by hodnoty ze stanice mohly adekvátně nahradit hodnoty z lokality na kopci. Jen absolutní vlhkost je na měřených kopcích zhruba o 0,5 g/m<sup>3</sup> vyšší než na stanici. Stanoviště ve vesnici na rovině má nejdynamičtější vývoj měřených hodnot, průměrně ale vychází jako nejteplejší lokalita. Přes den lze naměřit běžně o 4 °C vyšší teploty než na ostatních stanovištích. Naproti tomu v noci bývá teplota nižší o 1 °C nežli v údolí. Relativní vlhkost bývá na rovině v nočních hodinách o 5 % nižší než v ostatních lokalitách, přes den je ale relativní vlhkost na stejných hodnotách jako v údolí.

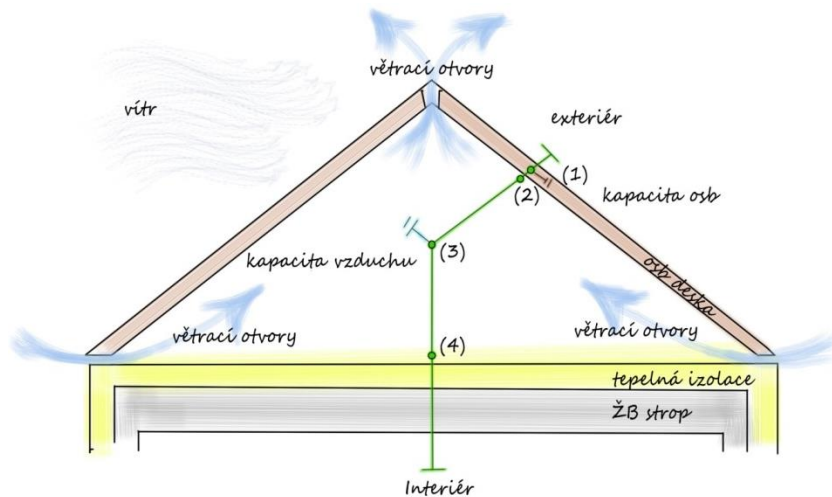
Tímto měřením bylo zjištěno, že rozdíly mezi jednotlivými lokalitami opravdu jsou. Zda tyto rozdíly budou mít na samotné chování přirozeně větraného prostoru nějaké dopady a pokud ano, jak velké, ještě nevíme. Tomu se věnuje tato práce v další kapitole.

## 4 Modelování

Aby bylo možné nějakým způsobem demonstrovat naměřená data v souvislosti se stavební konstrukcí, bylo zapotřebí vytvořit matematický model, který by dynamicky simuloval chování vzduchu na přirozeně větraném půdním prostoru. Charakter chování venkovního vzduchu je již známý, teď je třeba zjistit, jak se tento vzduch bude chovat na přirozeně větraném nevytápěném půdním prostoru a jaký dopad případně může mít na konstrukci. Model byl tvořen v Excelu 2010.

### 4.1 Metody

Předmětem této práce nebylo vytvoření perfektně detailního modelu půdního prostoru, vyladěného do všech podrobností. Práce se zabývá porovnáváním lokalit a přesně k takovému účelu měl model sloužit. Proto se některé hodnoty zjednodušovaly, případně zanedbávaly. Tímto zjednodušením vzniknou, vzhledem k našemu účelu, zanedbatelné nepřesnosti. Podstatné je, že data z měření budou vkládána pokaždé do stejného modelu, takže porovnání bude vždy použitelné. Schéma jednoduchého modelu ukazuje skica (Obr. 4.1.1).



Obr. 4.1.1: Schéma matematického modelu přirozeně větrané půdního prostoru

V modelu jsou počítány čtyři uzly. Každý z nich ukazuje jiné místo vzduchu na půdním prostoru.

- (1) Uzel uvnitř OSB desky
- (2) Uzel umístěný na vnitřní straně OSB desky
- (3) Uzel popisující vzduch na půdním prostoru
- (4) Uzel, který je umístěn na vnitřní straně stropu (vzhledem k půdnímu prostoru)

#### 4.1.1 Vstupní data a předpoklady

- Interiér je prostor o konstantní teplotě a vlhkosti, uvažujeme teplotu 20 °C a relativní vlhkost 50 %
- Skladba stropu byla zvolena tak, aby vyhovovala normovým hodnotám součinitele prostupu tepla  $U_{pas,20} = 0,15$  až  $0,1$   $W/(m^2.K)$  stropu pod nevytápěný půdním prostorem dle ČSN 73 0540-2 (14). Bylo počítáno s  $U_{ceíl} = 0,138$   $W/(m^2.K)$ , což odpovídá skladbě (Tab. 4.1.1) :

číslo vrstvy od interiéru	Název	$d$	$\lambda$	$c$	$\rho$	$\mu$	$\xi$
		[m]	[W/(m.K)]	[J/(kg.K)]	[kg/m <sup>3</sup> ]	[-]	[-]
1	omítka	0,01	0,47	790	1800	25	0
2	železobeton	0,2	1,58	1020	2400	29	0
3	parozábrana	0,0001	0	0	0	100000	0
4	minerální vata	0,3	0,043	1150	175	1,5	0

Tab. 4.1.1: Tabulka skladby zatepleného stropu k nevytápěné půdním prostoru

$d$  je tloušťka vrstvy [m]

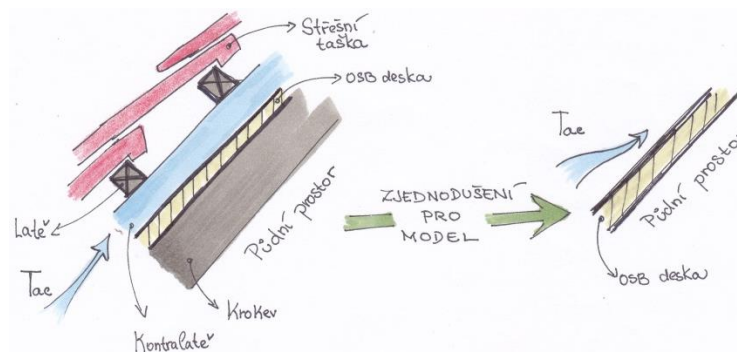
$\lambda$  je součinitel tepelné vodivosti [W/(m.K)]

$c$  měrná tepelná kapacita [J/(kg.K)]

$\rho$  objemová hmotnost [kg/m<sup>3</sup>]

$U$  součinitel prostupu tepla [W/(m<sup>2</sup>.K)]

- Vzduch na půdním prostoru je uvažován jako dokonale promíchaný, proto teplotu a vlhkost na půdním prostoru popisuje jeden uzel.
- Skladbu střešní konstrukce tvoří v modelu jen OSB deska tloušťky  $d=0,025$  m. Zbytek konstrukce není do modelu započítán, protože se uvažuje, že v provětrávané mezeře nad OSB deskou proudí vzduch stejný, jako je naměřen v exteriéru (Obr. 4.1.2).



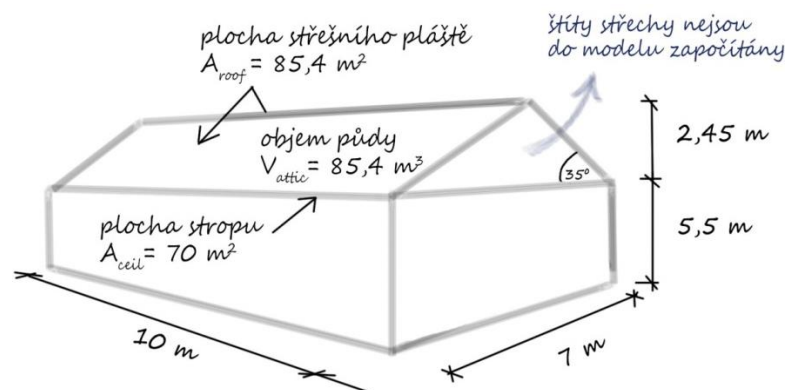
Obr. 4.1.2: Skica zjednodušení střešní konstrukce pro matematický model

Parametry OSB desky (15) (Tab. 4.1.2):

Název	$d$	$\lambda$	$c$	$\rho$	$\mu$	$\xi$
	[m]	[W/(m.K)]	[J/(kg.K)]	[kg/m <sup>3</sup> ]	[-]	[-]
OSB deska	0,025	0,13	1630	600	12,5	0,1

Tab. 4.1.2: Tabulka použitých parametrů OSB desky

- Ohřívání půdního prostoru vlivem slunečního záření je zanedbáno. V modelu se neřeší orientace půdy, takže by nebylo možno určit, která strana střechy je ohřívána a kdy.
- Stejně tak bylo v modelu zanedbáno sálání proti noční obloze.
- Geometrie střechy pro model byla určena následovně (Obr. 4.1.3):



Obr. 4.1.3: skica uvažovaných rozměrů půdy

- Velikost spodních větracích otvorů u okapu a horních větracích otvorů u hřebene střechy je pro jednodušší výpočetní model zvolena stejná. Čistá plocha horních i spodních větracích otvorů je 1/300 plochy stropu, tedy  $A_{vent} = 0,23 \text{ m}^2$ . Tento poměr je nejčastěji používán na přirozeně větrané půdní prostory v Americe (16). U nás žádné doporučení nebo empirický vztah mezi velikostí půdního prostoru a velikostí větracích otvorů není.
- Pro zjednodušení bylo uvažováno, že vítr fouká vždy jedním směrem. V tomto případě kolmo na delší stranu objektu – kolmo na hřeben.

#### 4.1.2 Větrání

Nejprve bylo v modelu předpokládáno konstantní množství větraného vzduchu v každém časovém kroku. Aby byl model přesnější a více odpovídal realitě, bylo vhodné počítat množství větraného vzduchu jako proměnné. Množství přiváděného vzduchu větracími otvory bylo počítáno pomocí vztahu a rychlosti větru (17), (18), (19), (20). V jednotlivých lokalitách byla zaznamenána jen teplota a relativní vlhkost. Informace o rychlosti větru na jednotlivých stanovištích nebyly známy. Pro zjednodušení byly pro všechny lokality použity stejné rychlosti větru. Použité hodnoty rychlosti větru byly naměřeny na meteorologické stanici v Železném Brodě, 340 m n. m (21). Železný Brod je vzdušnou čarou vzdálen od měřených lokalit 14 km. Půlhodinová data byla naměřena 2 m nad povrchem (Obr. 4.1.4). V několika časových krocích nebyla zaznamenána rychlost větru, chybějící data byla nahrazena průměry okolních hodnot rychlosti větru. I přes tuto nepřesnost jsou tato data zajímavější než použití jedné konstantní hodnoty pro celé období.



Obr. 4.1.4: Meteorologická stanice v Železném Brodě (21)

Zjednodušené odvození větrání jsem dostala od Ing. Jana Richtera. Z rovnice pro stanovení rychlosti větru byla vyjádřena rychlost větru ve výšce 10 metrů, která byla potřeba k dalšímu výpočtu větrání.

$$v_{10} = \frac{v}{k \cdot z^a} \quad [m/s] \quad (4.3)$$

$v$  – je rychlost větru z meteorologické stanice ve 2 metrech nad zemí  $[m/s]$

$k, a$  – koeficienty podle charakteru okolí, venkovská krajina:  $a=0,2$   $kg/m^3$   $k=0,5$   $kg/m^3$  (22)

$z$  – výška měření větru nad terénem (v tomto případě 2 m)

Odvozením z Walkerova (22) modelu pro vstupující vzduch větracími otvory byl pro tuto situaci odvozen vztah:

$$\dot{m} = k \cdot A_{vent1} \cdot v_{10} \quad [kg/s] \quad (4.4)$$

$k$  – koeficient pro venkovskou krajinu s rozptýlenými překážkami  $k = 0,5$   $kg/m^3$



$A_{vent1}$  – čistá plocha spodních okapových otvorů [m<sup>2</sup>]

$v_{10}$  – rychlost větru ve výšce 10 m [m/s]

Tento vztah platí pro situace, kdy je rychlost větru  $v_{10} > 1$  m/s. V opačném případě je vliv proudícího větru oproti vztlaku zanedbatelný. V těchto případech se použije množství přicházejícího vzduchu jen na základě vztlaku vzduchu:

$$\dot{m} = 0,6 \cdot \left( C_d \cdot A_{vent} \cdot \rho_{ext} \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot \Delta z \cdot \frac{T_{int} - T_{ext}}{T_{int}}} \right) \quad [kg / s] \quad (4.5)$$

$C_d$  – průtokový koeficient

$A_{vent}$  – čistá plocha horních i spodních větracích otvorů [m<sup>2</sup>]

$\rho_{ext}$  - objemová hmotnost venkovního vzduchu [kg/m<sup>3</sup>]

$g$  – tíhové zrychlení [m/s<sup>2</sup>]

$\Delta z$  - rozdíl výšek větracích otvorů od země [m]

$T_{int}$  - teplota v interiéru [°C]

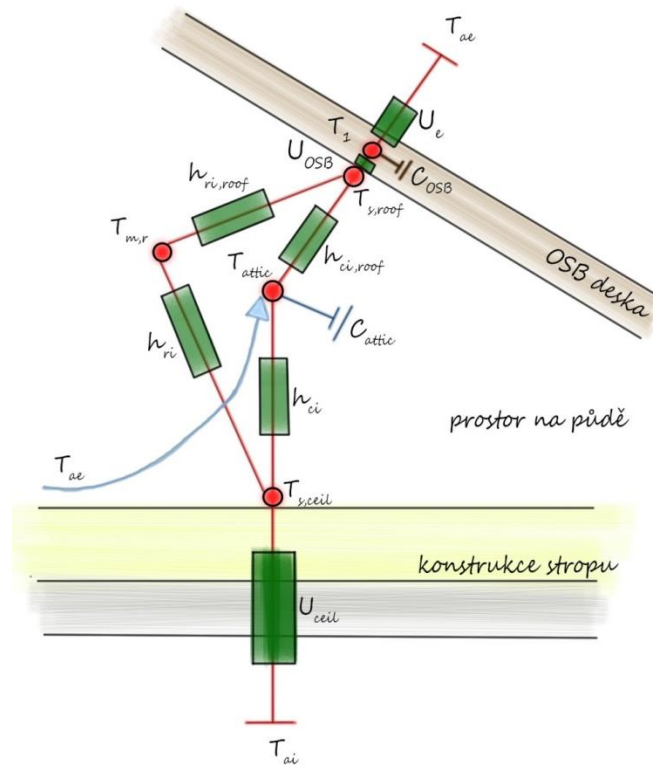
$T_{ext}$  - naměřená teplota v exteriéru [°C]

#### 4.1.3 Teplotní model

Matematický teplotní model vychází z Fourierova zákona (23) pro hustotu tepelného toku vedením:

$$g = \lambda \cdot \frac{T_1 - T_2}{d} \quad [W/m^2] \quad (4.6)$$

Podrobné vypisování rovnic, jak byl model vytvořen, je vynecháno. Principy fungování modelu vyjadřuje podrobnější schéma (Obr. 4.1.5) uzlů na půdním prostoru:



Obr. 4.1.5 Schéma matematického teplotního modelu

Popis veličin, které jsou použity v modelu:

$T_{ae}$  – venkovní naměřená teplota [°C]

$T_{ai}$  – konstantní teplota v interiéru [°C]

$T_1$  – teplotní uzel v polovině OSB desky [°C]

$T_{s,roof}$  – teplotní uzel na vnitřním povrchu OSB desky [°C]

$T_{attic}$  – teplotní uzel charakterizující vzduch na půdním prostoru [°C]

$T_{s,ceil}$  – teplotní uzel na povrchu stropu ze strany půdního prostoru [°C]

$T_{m,r}$  – střední radiační teplota v půdním prostoru [°C]

$U_e$  – součinitel prostupu tepla polovinou OSB desky a přilehlou mezní venkovní vzduchovou vrstvou [W.m<sup>2</sup>.K]

$U_{OSB}$  - součinitel prostupu tepla polovinou OSB desky [W.m<sup>2</sup>.K]

$U_{ceil}$  - součinitel prostupu tepla celou konstrukcí stropu a přilehlou mezní vzduchovou vrstvou na straně interiéru [W.m<sup>2</sup>.K]

$h_{ri,roof}$  – radiční složka součinitele přestupu tepla na vnitřní straně střechy [ $W/m^2.K$ ]

$h_{ci,roof}$  – konvekční složka součinitele přestupu tepla na vnitřní straně střechy [ $W/m^2.K$ ]

$h_{ci}$  – konvekční složka součinitele přestupu tepla ze stropu [ $W/m^2.K$ ]

$h_{ri}$  – radiční složka součinitele přestupu tepla ze stropu [ $W/m^2.K$ ]

$C_{OSB}$  – tepelná kapacita poloviny OSB desky [ $W.m^2.K$ ]

$C_{attic}$  – tepelná kapacita vzduchu na půdním prostoru [ $W.K$ ]

Výstupem tohoto modelu jsou hledané teploty  $T_1$ ,  $T_{s,roof}$ ,  $T_{attic}$ ,  $T_{s,ceil}$  a  $T_{m,r}$ . Hodnoty z dynamického modelu byly vždy v půlhodinovém kroku.

#### 4.1.3.1 Validace numerického teplotního modelu

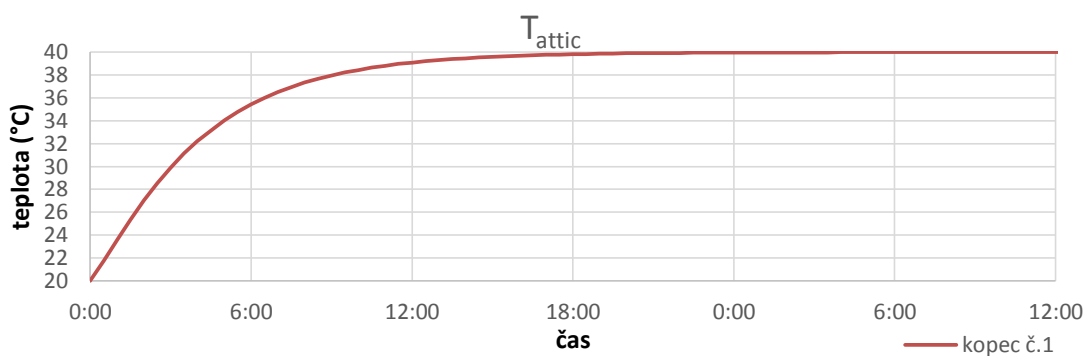
Ověření funkčnosti sestaveného numerického modelu bylo provedeno ve třech krocích.

- 1) Nejprve byly nastaveny okrajové podmínky:  $T_{ae} = 40\text{ °C}$ ,  $T_{ai} = 40\text{ °C}$

A počáteční hodnoty v ostatních uzlech jako  $T_{rest} = 20\text{ °C}$ .

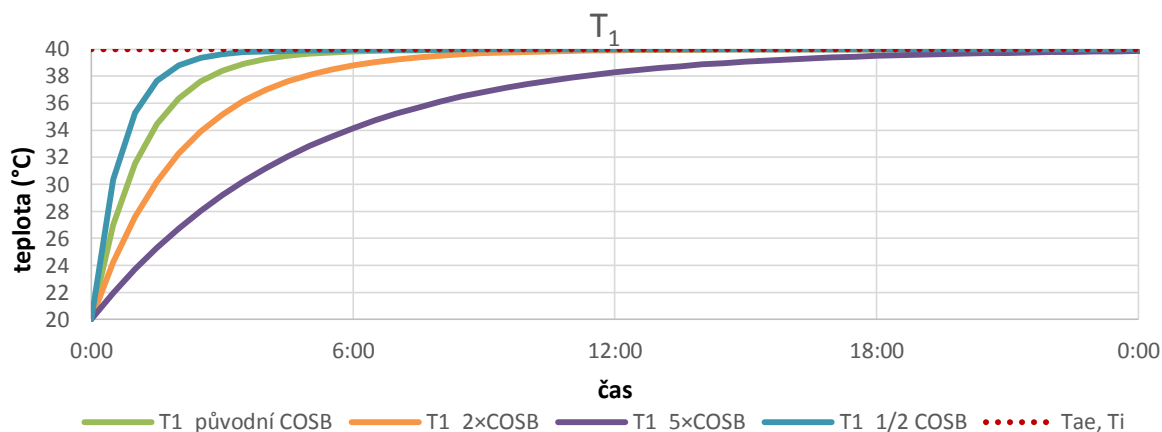
Žádná jiná veličina se vzhledem k původnímu zadání nezměnila. Větrání je také uvažováno jako v původním zadání.

V grafu (Graf 4.1.1) je ukázána jedna lokalita, protože zbylé se díky počátečním a okrajovým podmínkám překrývají.



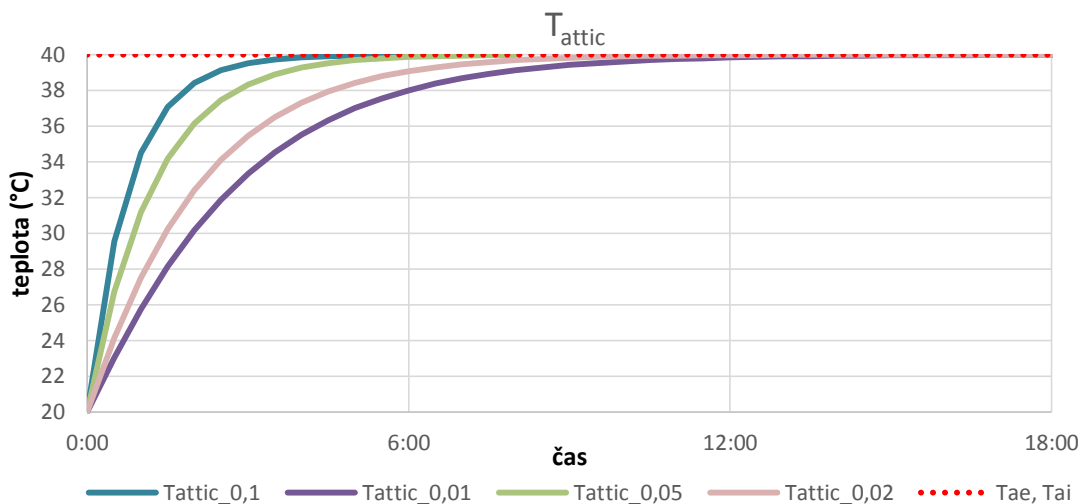
Graf 4.1.1: Validace numerického teplotního modelu – ověření teploty

- 2) V dalším kroku je k počátečním a okrajovým podmínkám zrušeno větrání  $m=0\text{ kg/s}$  a byla sledována měrná tepelná kapacita OSB desky. Graf (Graf 4.1.2) ukazuje vývoj teploty v uzlu  $T_1$ , když je měrná tepelná kapacita OSB desky  $c_{OSB} = 1630\text{ J/kg.K}$ ,  $c_{OSB} = 3260\text{ J/kg.K}$ ,  $c_{OSB} = 8150\text{ J/kg.K}$  a  $c_{OSB} = 815\text{ J/kg.K}$ . Na grafu je vidět, že čím větší je měrná tepelná kapacita materiálu, tím pomaleji materiál přijme teplo z okolního prostředí.



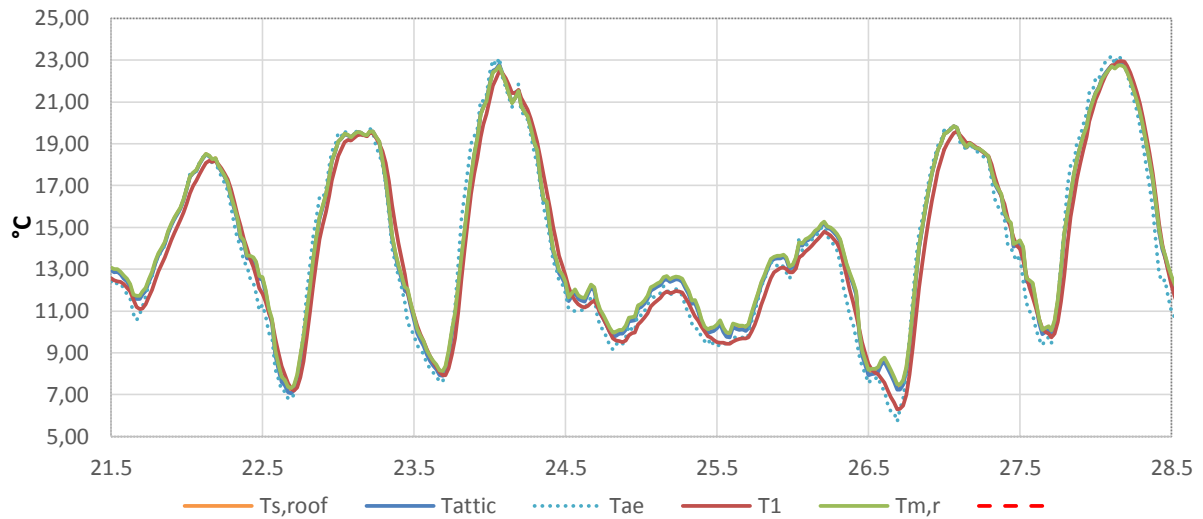
Graf 4.1.2: Validace numerického teplotního modelu – ověření měrné tepelné kapacity

3) V posledním kroku bylo k předešlým počátečním a okrajovým podmínkám postupně zvyšováno množství přiváděného vzduchu. Tím se ověřilo, zda model správně funguje v souvislosti s větráním půdního prostoru. Nejprve bylo zvoleno množství přiváděného vzduchu  $m=0,01$  kg/s, pak  $m=0,02$  kg/s,  $m=0,05$  kg/s až na  $m=0,1$  kg/s. S větším množstvím přiváděného vzduchu na půdní prostor, roste rychleji teplota vzduchu na půdním prostoru, jak ukazuje následující graf (Graf 4.1.3).



Graf 4.1.3: Validace numerického teplotního modelu – ověření funkčnosti větrání

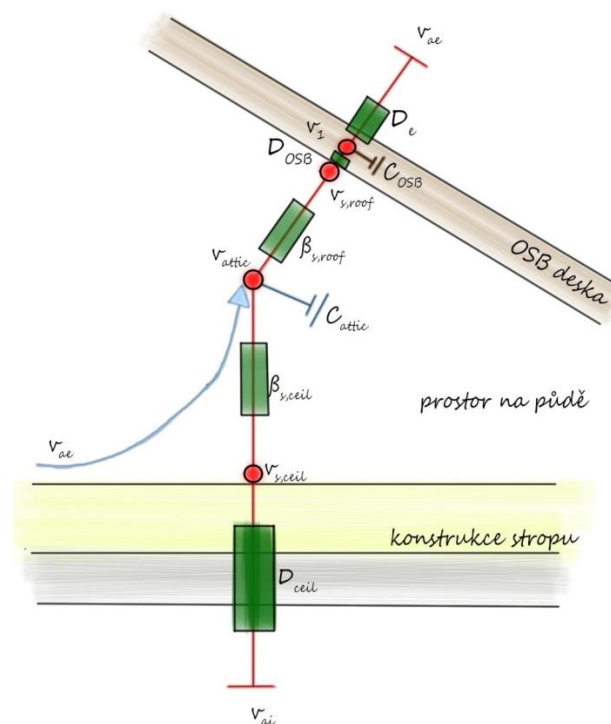
Po ověření správnosti modelu můžeme na vybraném týdnu pozorovat výpočet teplot ve všech uzlech na půdním prostoru na základě reálných dat. Z grafu (Graf 4.1.4) je patrné, že hodnoty v jednotlivých uzlech se o mnoho od sebe neliší. Tečkovaně je v grafu vyjádřena teplota exteriéru. Ukazuje se, že teploty na půdním prostoru nedosahují takových výkyvů teplot, jako jsou ve venkovním prostředí. Vývoj teploty  $T_1$  je díky teplotní kapacitě oproti ostatním teplotám na půdním prostoru mírně opožděný.



Graf 4.1.4: Vykreslení průběhu teplot na půdním prostoru na kopci č. 1 v období 21.5. - 28.5.

#### 4.1.4 Vlhkostní model

Analogicky, jako byl vytvořen matematický teplotní model, byl podle Fickova zákona (13), (23) pro hustotu difúzního toku vodní páry sestaven vlhkostní model. Schéma matematického vlhkostního modelu ukazuje skica (Obr. 4.1.6).



Obr. 4.1.6: Schéma vlhkostního modelu

Popis veličin, které jsou použity v modelu:

$v_{ae}$  – venkovní absolutní vlhkost [ $\text{g}/\text{m}^3$ ]

$\nu_{ai}$  – konstantní absolutní vlhkost v interiéru [ $\text{g}/\text{m}^3$ ]

$\nu_1$  – vlhkostní uzel v polovině OSB desky [ $\text{g}/\text{m}^3$ ]

$\nu_{s,roof}$  – vlhkostní uzel na vnitřním povrchu OSB desky [ $\text{g}/\text{m}^3$ ]

$\nu_{attic}$  – vlhkostní uzel charakterizující vzduch na půdním prostoru [ $\text{g}/\text{m}^3$ ]

$\nu_{s,ceil}$  – vlhkostní uzel na povrchu stropu ze strany půdního prostoru [ $\text{g}/\text{m}^3$ ]

$D_e$  – součinitel vlhkostní vodivosti polovinou OSB desky a přilehlou mezní venkovní vzduchovou vrstvou [ $\text{W}\cdot\text{m}^2\cdot\text{K}$ ]

$D_{OSB}$  – součinitel vlhkostní vodivosti polovinou OSB desky [ $\text{s}/\text{m}$ ]

$D_{ceil}$  – součinitel vlhkostní vodivosti celou konstrukcí stropu a přilehlou mezní vzduchovou vrstvou na straně interiéru [ $\text{s}/\text{m}$ ]

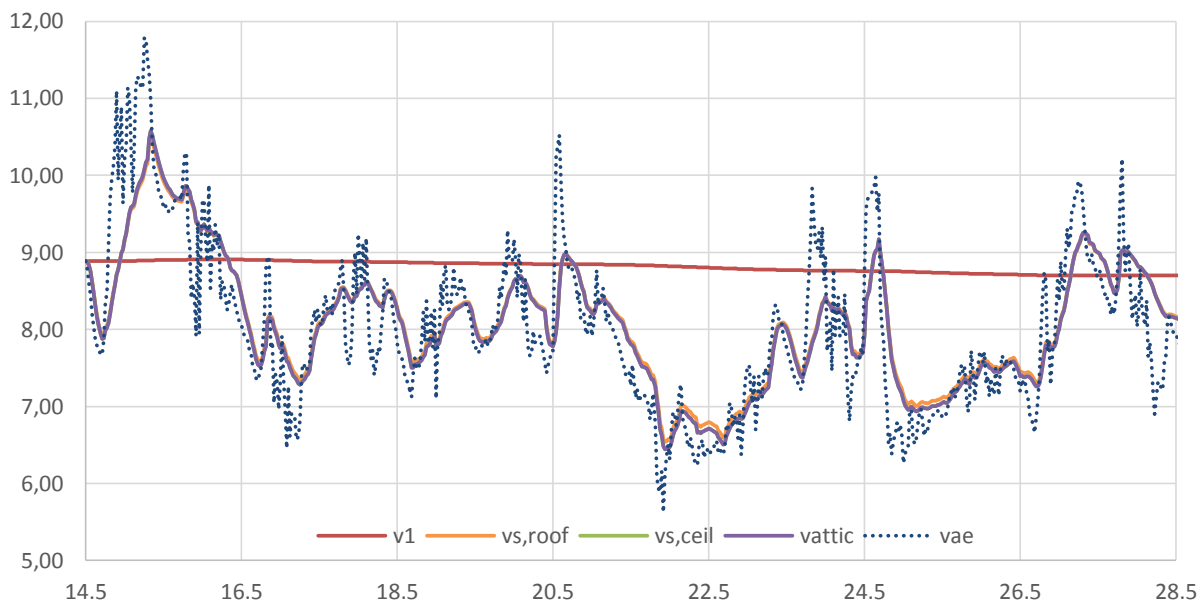
$\beta_{s,roof}$  – součinitel přestupu vodní páry prouděním v blízkosti povrchu interiéru střechy [ $\text{m}/\text{s}$ ]

$\beta_{s,ceil}$  – součinitel přestupu vodní páry prouděním v blízkosti povrchu stropu [ $\text{m}/\text{s}$ ]

$C_{OSB}$  – vlhkostní kapacita poloviny OSB desky [ $\text{g}/\text{s}\cdot\text{m}^2$ ]

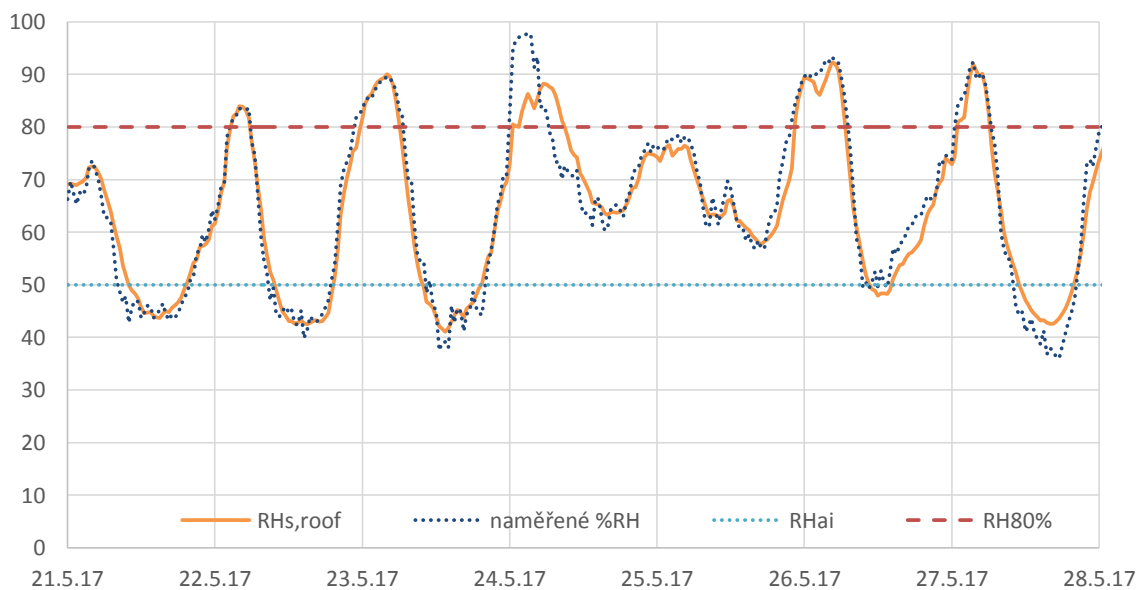
$C_{attic}$  – vlhkostní kapacita vzduchu na půdním prostoru [ $\text{g}/\text{s}$ ]

Ověření funkčnosti sestaveného numerického modelu vlhkosti bylo provedeno stejným způsobem jako u modelu teplotního. Jen na místo konstantní teploty v exteriéru byla zvolena konstantní absolutní vlhkost v exteriéru. Další kroky probíhaly stejně. Protože by se grafy z validace modelu opakovaly, nejsou už zde ukázány. Je zde uveden až poslední graf (Graf 4.1.5), kde je vidět vývoj absolutních vlhkostí v každém vypočítaném uzlu na základě reálných dat v jedné lokalitě. OSB deska v sobě drží lépe vlhkost díky větší vlhkostní kapacitě než vzduch, proto hodnoty uzlu  $\nu_1$  nekolísají. Uzly na površích mají skoro stejné hodnoty jako uzel popisující vzduch na půdním prostoru, protože mezi nimi stojí součinitel přestupu vodní páry prouděním v blízkosti povrchu, který je velmi malý. Vzduch na půdním prostoru reaguje na absolutní vlhkost venkovního vzduchu opožděně. Na grafu je to vidět tím, že vzduch na půdním prostoru nedosahuje takových maxim a minim absolutní vlhkosti jako vzduch v exteriéru.



Graf 4.1.5: Vykreslení průběhu vypočítané absolutní vlhkosti ve všech uzlech na půdním prostoru na kopci č. 1 v období 21.5. - 28.5.

Vlhkostním modelem byly vypočítány absolutní vlhkosti ve sledovaných uzlech. Protože jsou teď známy hodnoty teplot i absolutní vlhkosti, lze vypočítat i relativní vlhkost vzduchu na půdním prostoru. Graf (Graf 4.1.6) ukazuje vypočítané hodnoty relativní vlhkosti na půdním prostoru při povrchu OSB desky v lokalitě na prvním kopci. Vzhledem k tomu, že ve zbylých uzlech jsou hodnoty relativní vlhkosti velmi podobné, nejsou už v grafu vyneseny. V grafu je vyznačena hodnota 80 % relativní vlhkosti, od které začínají růst plísňe.



Graf 4.1.6: Vykreslení průběhu vypočítané relativní vlhkosti na půdním prostoru na kopci č. 1 v období 21.5. - 28.5.

#### 4.1.3 Model růstu plísní

Vlhkostním modelem byly vypočítány absolutní vlhkosti ve sledovaných uzlech. Protože jsou teď známy hodnoty teplot i absolutní vlhkosti, lze vypočítat i relativní vlhkost ve všech uzlech. Získané hodnoty pro uzel attic, který popisuje vzduch na půdním prostoru, byly Ing. Janem Richtermem posouzeny v matematickém modelu růstu plísní na dřevěných materiálech (24). Do modelu plísní byly vloženy hodnoty, které by byly na půdním prostoru, kdyby byla větraná polovičními větracími otvory a kdyby nebyla větraná vůbec.

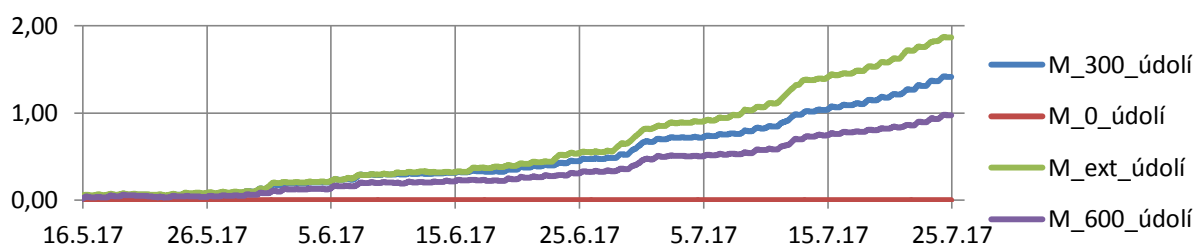
Výsledkem matematického modelu plísní bylo, zda se v průběhu měřeného období vyskytne v některé z lokalit na půdním prostoru plíseň a pokud ano, v jakém rozsahu. Míra výskytu plísní je daná tzv. indexem plísní („mould index“), který má hodnoty 0-6 (24). Nulová hodnota znamená, že v materiálu doposud není zaznamenán výskyt plísní. Index plísně 1 znamená, že plíseň je vidět pod mikroskopem, tedy, že začala v materiálu růst, klíčit. Při návrhu je snaha, aby se konstrukce k této hodnotě nedostala. Od hodnoty indexu plísně 3 jsou plísně na dřevě vidět už pouhým okem. Když dosáhne index plísní 6, je povrch konstrukce 100 % pokryt plísní.

V grafech (Graf 4.1.7) je porovnáním indexu plísní na půdním prostoru v jedné lokalitě pro varianty s rozdílnou velikostí větracích otvorů. Jedna varianta (modrý graf) je s navrženými otvory dle amerických doporučených hodnot (16), součet vstupních i výstupních větracích otvorů má být velký jako 1/600 plochy stropu. Druhá varianta (fialový graf) je s polovičními větracími otvory. Třetí varianta (červený graf) byla taková, jak by se vzduch na půdním prostoru choval, kdyby se vůbec nevětralo. Poslední varianta (zelený graf) byla, že se do modelu růstu plísní dosadily hodnoty přímo naměřeného exteriérového vzduchu. Výsledky grafu ukázaly, že index plísní je čím dál tím menší, čím méně se větrá. Vlhkostní bilance v půdním prostoru je ovlivněna exteriérovou a interiérovou vlhkostí. Interiérová vlhkost je v našem případě odstíněna vysokou ekvivalentní difúzní tloušťkou stropní konstrukce ( $S_d = 16$  m). Pokud je půdní prostor větraný, je prostor vlhkostně ovlivňován zejména vlhkostí exteriéru. Naopak, čím méně je prostor větraný, tím více se vzduch v půdním prostoru přibližuje hodnotám v interiéru, tedy 20 °C a 50 % relativní vlhkosti. V interiéru je absolutní vlhkost kolem 8,6 g/m<sup>3</sup>, což je méně, než je průměrná exteriérová vlhkost, která se podle lokality pohybuje mezi 9,9 – 10,4 g/m<sup>3</sup>. V čem ale model neodpovídá skutečnosti je to, že index plísní je největší při dosažení exteriérových hodnot. To by znamenalo, že na dřevě venku začne růst plíseň více, než uvnitř a to se ve skutečnosti neděje.

Model vytvořili pánové A. Hukka a H. Viitanen (24) na základě dlouhodobého pozorování a pokusů s dlouhodobějším působením okrajových podmínek např. po dobu jednoho týdne. Ve stabilnějších



tepelně-vlhkostních podmínkách jako je třeba crawl space, funguje model lépe. Naše podmínky na půdním prostoru jsou daleko více dynamické a vzduch se zde častěji mění. Proto graf indexu plísní slouží pro hrubý odhad rizika růstu plísní v jednotlivých lokalitách. Nemůžeme na jeho základě porovnávat skutečné hodnoty indexu plísní.



Graf 4.1.7: Graf indexu plísní podle velikosti větracích otvorů v jedné lokalitě.

## 4.2 Výsledky z modelů

Celkové grafy z měřeného období jsou velmi nepřehledné, proto nejsou v práci uváděny. V tak velkém měřítku není možno z grafu odečíst konkrétní hodnoty. K tomuto účelu slouží výsek jednoho týdne, kde jsou hodnoty vidět podrobněji. Jedná se opět o týden 21. – 28. 5., stejný jako je v kapitole „měření“. V tabulce je shrnutí maximálních, minimálních a průměrných hodnot, které byly vypočítány pro vzduch na půdním prostoru (uzel *attic*) v jednotlivých lokalitách.

V tabulce (Tab. 4.2.1) teplot je vidět, že největší teplotní výkyvy jsou na půdním prostoru umístěném na rovině ve vesnici. Tam je rozsah teplot přes 28 °C, zatím co v ostatních lokalitách je rozsah teplot na půdním prostoru jen 22 °C. Podle průměrných teplot vidíme, že na půdním prostoru na rovině bylo 0,5 °C tepleji než v lokalitách na kopcích a o 1,3 °C stupně více než na půdním prostoru v údolí.

	max. teplota (°C)	min. teplota (°C)	průměrná teplota (°C)
#1 kopec č.1	28,1	6	16,8
#2 rovina	31	2,7	17,3
#3 údolí	27	4,1	16
#4 kopec č. 2	27,8	6,2	16,8

Tab. 4.2.1: Tabulka maximálních, minimálních a průměrných vypočítaných teplot na půdním prostoru z měřeného období

V tabulce (Tab. 4.2.2) absolutních vlhkostí je vidět, že největší vlhkostní výkyvy jsou na půdním prostoru umístěném na kopci č. 1. Tam je rozsah absolutních vlhkostí přes 11,5 g/m<sup>3</sup>, zatím co v ostatních lokalitách je rozsah teplot na půdním prostoru jen kolem 10,4 g/m<sup>3</sup>. Podle průměrných absolutních vlhkostí vidíme, že na půdním prostoru na kopci č. 1 byl nejsušší vzduch, nejvlhčí zase na půdním prostoru v údolí.

	max. absolutní vlhkost (g/m <sup>3</sup> )	min. absolutní vlhkost (g/m <sup>3</sup> )	průměrná absolutní vlhkost (g/m <sup>3</sup> )
#1 kopec č.1	15,8	4,3	9,8
#2 rovina	15,5	5,1	10,0
#3 údolí	15,6	5,1	10,2
#4 kopec č. 2	15,0	4,9	9,9

Tab. 4.2.2: Tabulka maximálních, minimálních a průměrných vypočítaných absolutních vlhkostí na půdním prostoru z měřeného období

V tabulce (Tab. 4.2.3) relativních vlhkostí je vidět, že pokud se týče maximálních relativních vlhkostí, velké porovnání lokalit dělat nelze, protože v každé lokalitě hodnoty vlhkosti dosáhly někdy za měřené období 100 %. Lze porovnávat podle minimálních relativních vlhkostí. Tam je vidět, že na kopci č. 1 dosahovala relativní vlhkost nejnižších hodnot, zatímco v údolí nepoklesla pod 29 %. Podle průměrných relativních vlhkostí vidíme, že na kopci č. 1 byla na půdním prostoru nejnižší relativní vlhkost. Přes 5 % byla průměrná vlhkost vyšší u vzduchu na půdním prostoru v údolí než v ostatních lokalitách.

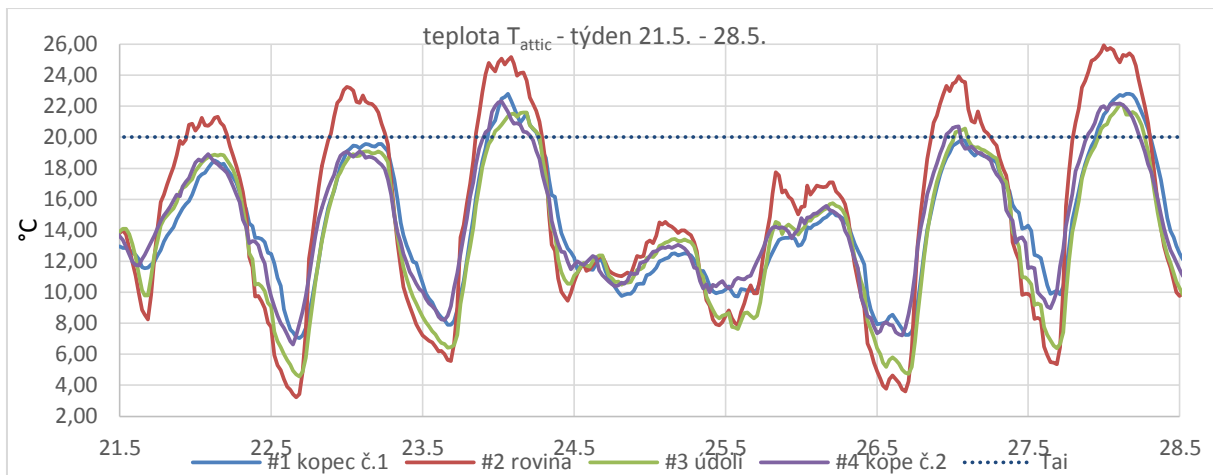
	max. relativní vlhkost (%)	min. relativní vlhkost (%)	průměrná relativní vlhkost (%)
#1 kopec č.1	100	25,5	69,8
#2 rovina	100	26,3	70,2
#3 údolí	100	29,0	75,7
#4 kopec č. 2	100	28,6	70,6

Tab. 4.2.3: Tabulka maximálních, minimálních a průměrných vypočítaných relativních vlhkostí na půdním prostoru z měřeného období

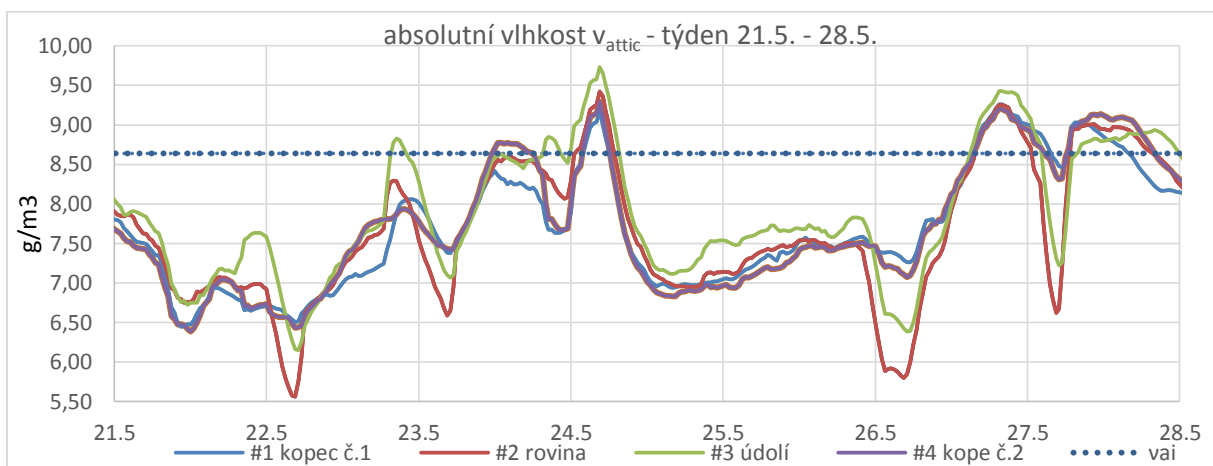
Výsledky z dynamických modelů teploty a absolutní vlhkosti na půdním prostoru byly vyjádřeny grafy, kde je vidět detailněji jeden vybraný týden. Konkrétní týden byl vybrán tak, aby co nejlépe charakterizoval měřené období a bylo na něm dobře pozorovatelné porovnávané hodnoty z každé lokality.

Na následujících grafech (Graf 4.2.1), (Graf 4.2.2), (Graf 4.2.3) je srovnání teplot, absolutní vlhkosti a relativní vlhkosti v uzlu *attic* popisující vzduch na půdním prostoru v každé z variant dle legendy. Tečkovaná linka ukazuje konstantní hodnoty v interiéru. Vývoj teploty na půdním prostoru ukazuje, že teploty přes den jsou pro lokality na kopcích a v údolí velmi podobné. Denní teploty jsou většinou zhruba o 3 °C vyšší na rovině ve vesnici než v ostatních lokalitách. V nočních hodinách jsou na půdním prostoru nejnižší teploty na rovině, v údolí jsou o 1 °C vyšší a nejteplejší vzduch na půdním prostoru je v lokalitě na kopcích. Tam je teplota až o 4 °C vyšší než na půdním prostoru umístěném na rovině ve vesnici. Na grafu absolutní vlhkosti je vidět, že nejvlhčí vzduch je po většinu času na půdním prostoru v údolí. Nejmenší výkyvy absolutní vlhkosti by měl vzduch na půdním prostoru na kopcích. Graf relativní vlhkosti ukazuje, že nejnižší relativní vlhkost bude na půdním prostoru na rovině.

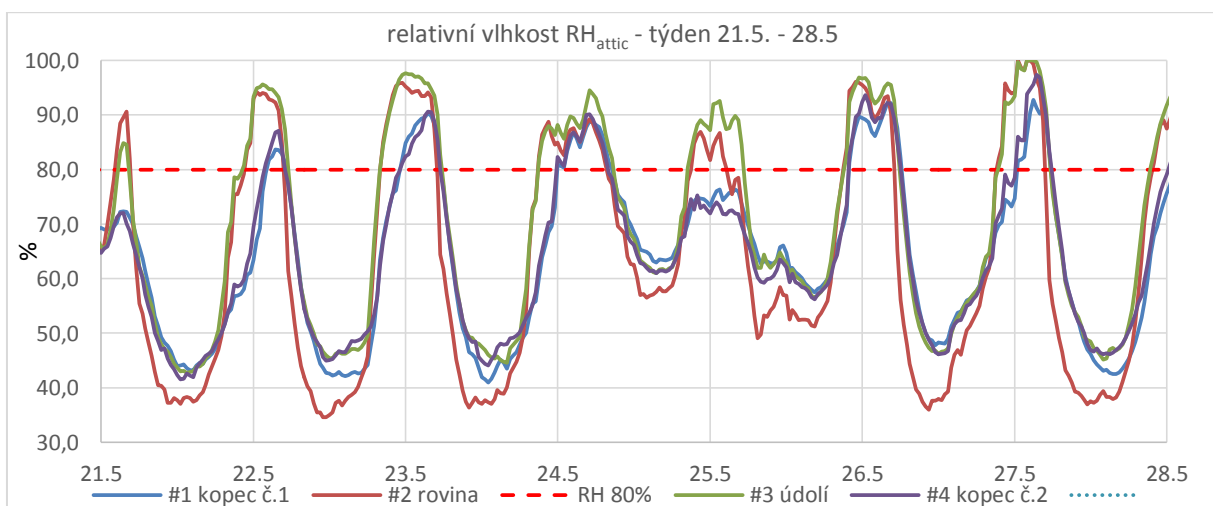
Přerušovaná červená linka v grafu relativní vlhkosti značí 80 % relativní vlhkost, která je hraniční hodnotou, od které začínají růst plísně.



Graf 4.2.1: Graf teplot  $T_{attic}$  v týdnu 21.5. – 28.5. v jednotlivých lokalitách

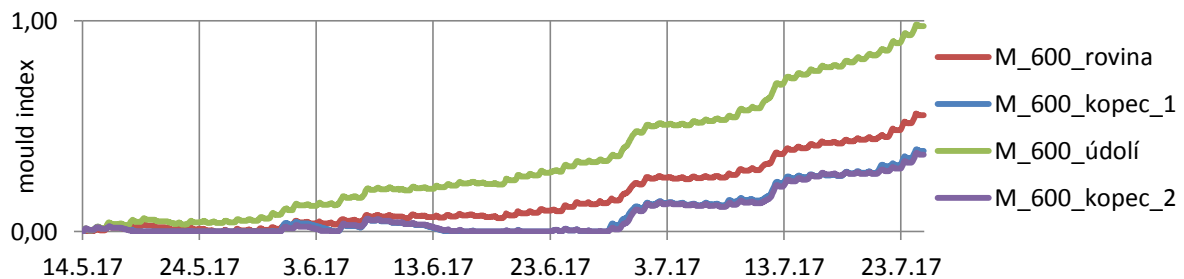


Graf 4.2.2: Graf absolutní vlhkosti  $v_{attic}$  v týdnu 21.5. – 28.5. v jednotlivých lokalitách



Graf 4.2.3 : Graf relativní vlhkosti  $RH_{attic}$  v týdnu 21.5. – 28.5. v jednotlivých lokalitách

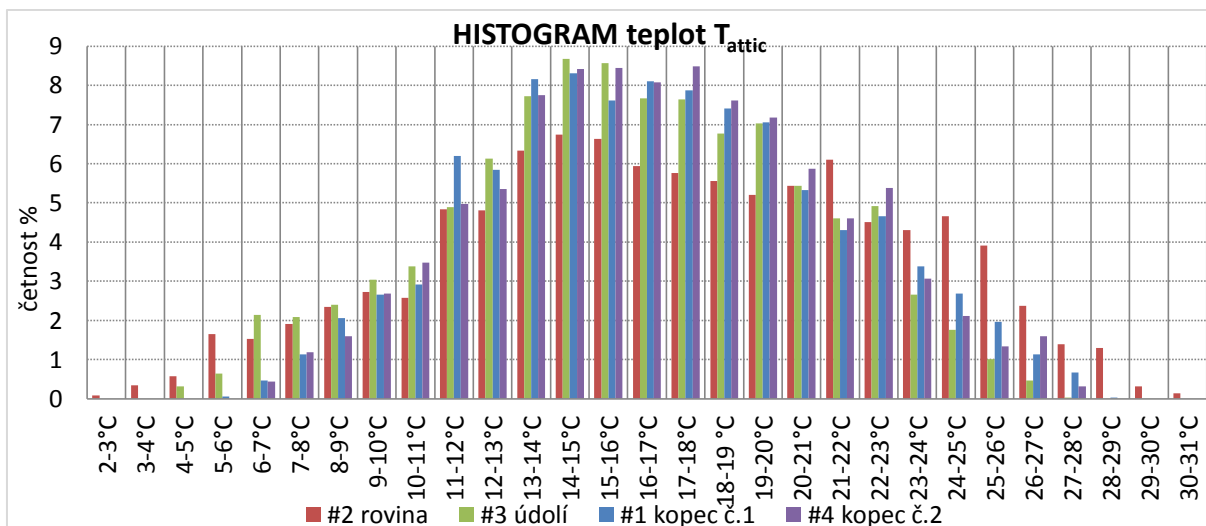
Následující graf (Graf 4.2.4) ukazuje index plísní v celém měřeném období v každé pozorované lokalitě. Hodnoty začínají od čísla nula, tedy jako kdyby sledovaný půdní prostor byl novostavba. Jak už jsme řekli výše, model má jisté limity a proto se musí brát hodnoty grafu jen orientačně. Dosažené hodnoty nemusí odpovídat skutečnosti. Omezíme se jen na porovnání jednotlivých lokalit vůči sobě. Jak je vidět, že index plísní v lokalitě v údolí roste dvakrát rychleji, než v ostatních měřených stanovištích. Na kopcích jsou nejméně vhodné podmínky pro růst plísní na dřevěné konstrukci v půdním prostoru.



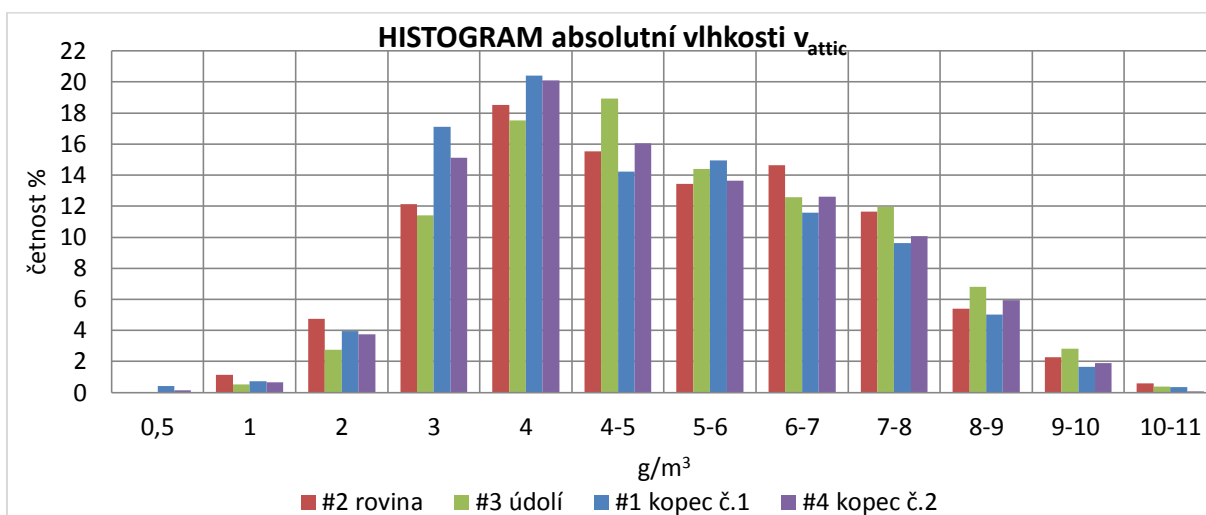
Graf 4.2.4: Graf indexu růstu plísní na dřevěných materiálech

Pro úplnost výsledků, byly vytvořeny histogramy vypočítaných hodnot uzlu vzduchu na půdním prostoru celého měřeného období. Osa y ukazuje četnost jednotlivých hodnot v procentech. Osa x popisuje porovnávanou veličinu.

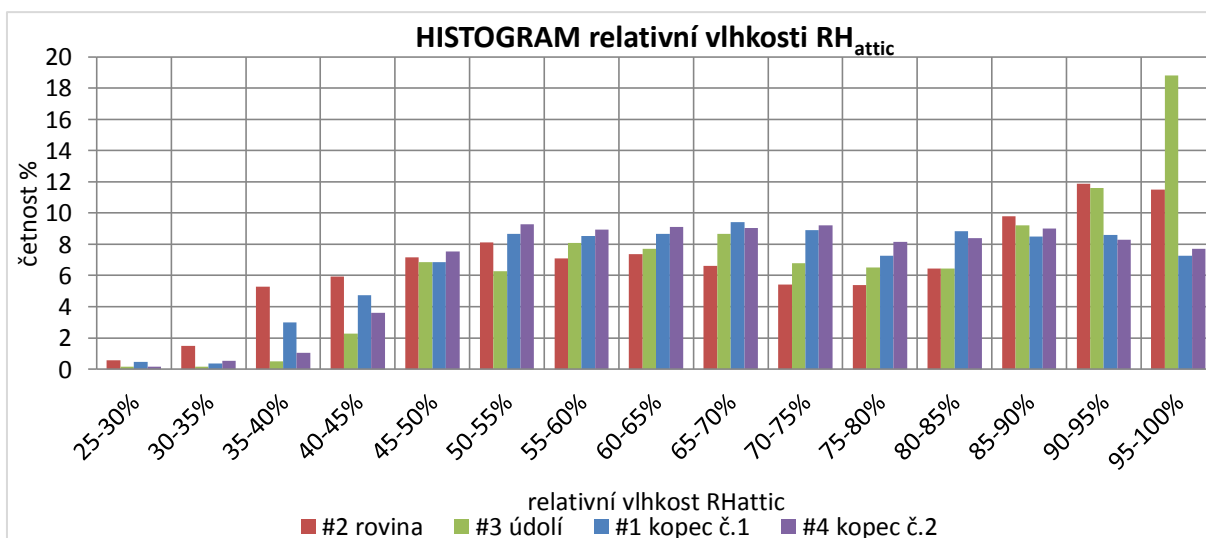
Z histogramu teplot (Graf 4.2.5) můžeme dobře vyčíst, že vzduch na půdním prostoru na rovině má ze všech lokalit největší zastoupení vyšších teplot. To samé platí i u nízkých teplot. Nejvyšší četnost nízkých hodnot absolutní vlhkosti vzduchu na půdním prostoru je u lokality na rovině, jak ukazuje histogram (Graf 4.2.6). Naopak u vysokých hodnot absolutních vlhkostí dominuje lokalita v údolí. Relativní vlhkost (Graf 4.2.7) na půdním prostoru je nejvyšší v lokalitě údolí, nejstabilnější podmínky má vzduch na půdním prostoru na kopcích a nejvíce výkyvů vlhkosti můžeme najít na půdním prostoru na rovině.



Graf 4.2.5 : Histogram vypočítaných teplot vzduchu na půdním prostoru



Graf 4.2.6: Histogram vypočítaných absolutní vlhkosti vzduchu na půdním prostoru



Graf 4.2.7: Histogram vypočítaných relativních vlhkostí vzduchu na půdním prostoru

### 4.3 Diskuse k výsledkům modelů

I když hodnoty z měření nejsou totožné s hodnotami z numerických modelů, výsledky porovnání lokalit vychází stejně. Na modelech bylo ukázáno, jak se naměřené venkovní hodnoty vzduchu promítnout do vlastností vzduchu na půdním prostoru. Míra ovlivnění vzduchu na půdním prostoru venkovními podmínkami je dána hlavně zvolením vstupních dat do modelu. Například, kdyby se uvažoval strop mezi interiérem a půdním prostorem jako nezateplený trémový strop, prostor půdního prostoru by byl daleko více ovlivňován prostředím v interiéru nežli vzduchem z exteriéru. Velikost větracích otvorů by také velmi ovlivnila vlastnosti vzduchu na půdním prostoru. Stejně tak zvolená skladba střešní konstrukce by hrála roli. Z výsledků modelu je vidět, že vlastnosti vzduchu na půdním prostoru mají oproti naměřeným venkovním hodnotám stabilnější chování. Je třeba připomenout, že například u teploty by to mohlo být naopak, kdyby se v numerickém modelu počítalo se slunečním zářením a se sáláním s oblohou. Tím by teploty na půdním prostoru mohly být o dost vyšší (nižší) než teploty v exteriéru. Pro předmět práce je nejdůležitější, že hodnoty naměřené v jednotlivých lokalitách byly vkládány vždy do stejného modelu, se stejnými vstupními daty. Takže výstupy z modelů bylo možno vzájemně porovnat.

Co se týče teplot vzduchu na půdním prostoru, tak nejvíce se od zkoumaných stanovišť liší lokalita na rovině ve vesnici. Tam najdeme největší výkyvy teplot. Ostatní lokality mají maximální denní teploty velmi podobné. Lokality se rozcházejí až v nočních minimálních teplotách, kde lokalita v údolí u řeky ukazuje teploty nižší, než je tomu na stanovištích na kopcích. Průměrně nejchladněji bude tedy na půdním prostoru umístěném v údolí, ovšem nejnižší teploty bychom naměřili v noci na půdním prostoru postaveném na rovině ve vesnici. Nejstabilnější teplotní podmínky můžeme najít na zkoumaných stanovištích na kopcích. Tam vzduch není ovlivňován vodní plochou ani sáláním od okolních objektů (svah, fasáda domu).

Výsledky absolutní vlhkosti ukazují, že nejvlhčí vzduch na půdním prostoru je v lokalitě v údolí u řeky. Tam přítomnost vodního toku významně ovlivňuje chování vzduchu na půdním prostoru. Rozdíly absolutní vlhkosti vzduchu na půdním prostoru jednotlivých lokalit nejsou nijak velké. V maximech (minimech) se lokality liší až o  $0,5 \text{ g/m}^3$ , průměrně se však rozdíly pohybují kolem  $0,1 - 0,2 \text{ g/m}^3$ .

Relativní vlhkost vychází z teploty a absolutní vlhkosti, výsledky srovnání jednotlivých lokalit podtrhuje. Relativní vlhkost na půdním prostoru v údolí je o 5 % vyšší než na zbylých lokalitách. I přesto, že průměrné hodnoty relativní vlhkosti vzduchu na půdním prostoru zbylých lokality jsou

velmi podobné, podle histogramu relativních vlhkostí vidíme, že rozložení hodnot je u lokality na rovině velmi odlišné než v lokalitách na kopcích.

Jak už bylo zmíněno výše, model růstu plísní není pro zkoumaný půdní prostory úplně ideální. Podmínky na půdním prostoru jsou příliš dynamické. Model dobře funguje ve stabilnějších podmínkách např. crawl space. Ovšem k pouhému hrubému srovnání variant postačí. Na grafu (Graf 4.2.4) je vidět, že nejrychleji stoupající trend má křivka lokality v údolí. Na základě tohoto poznání, lze říci, že právě v lokalitě v údolí se v půdním prostoru bude plísním dařit nejlépe. Určitě by bylo zajímavé sledovat trend křivky růstu plísní po celý rok.

## 5 ZÁVĚR

Pro měření klimatických podmínek byla vybrána čtyři stanoviště. Jednalo se o lokalitu ve vesnici na rovině uprostřed rozptýlené vesnické zástavby. Další měřené místo bylo u soutoku vodních toků ve stíněném údolí na kraji vesnice. Další dvě stanoviště byla na kopcích nad vesnicí na kraji polí. Jednotlivá stanoviště se vyskytovala ve stejném klimatickém regionu v Podkrkonoší v obci Peřimov, vzdálenost mezi nimi byla do 1 km. Na těchto lokalitách probíhalo měření teploty a relativní vlhkosti vzduchu po dobu 10 týdnů. Zaznamenané výsledky byly zkalibrovány a vyhodnoceny. Výsledky z měření ukázaly, že obě lokality na kopcích mají srovnatelné hodnoty. Stanoviště ve vesnici vyšlo jako nejteplejší a nejsušší, zato s nejvýraznějšími výkyvy hodnot. Lokalita v údolí u řeky měla nejvyšší vlhkost vzduchu a nejchladnější podmínky.

Naměřené hodnoty byly dále porovnány s daty ČHMÚ naměřenými meteorologickou stanicí ve Vrchlabí. Tato meteorologická stanice je nejbližší stanicí od měřené oblasti. Bylo zjištěno, že hodnoty naměřené na kopcích byly hodnotám z meteorologické stanice nejpodobnější.

Dále byly vytvořeny numerické teplotní a vlhkostní modely, které ukázaly tepelně-vlhkostní chování vzduchu na přirozeně větraném půdním prostoru ve všech měřených lokalitách. Výsledky z modelů byly vloženy do matematického modelu růstu plísní „VTT mould growth model „ (24). Ukázalo se, že model dobře funguje za dlouhodobě stabilnějších podmínek, ale u hodnot, které více kolísají, nefunguje zcela správně. Na jeho základě lze alespoň vzájemně porovnat měřené lokality. Podle tohoto modelu vyšel největší index plísní v lokalitě v údolí. Nejméně příznivé podmínky pro růst plísní by byly na půdním prostoru umístěných na kopcích.

Výsledky numerických modelů ukázaly, o kolik je rozdílné tepelně-vlhkostní chování vzduchu v půdním prostoru na pozorovaných lokalitách. Denní teplota v půdním prostoru na rovině dosahuje běžně o 4 °C více než na ostatních lokalitách. Ty mají denní teploty stejné. V noci můžeme naměřit o 3 °C nižší teploty na půdním prostoru v údolí než na kopci. Ovšem na rovině běžně bude ještě o jeden stupeň méně, než v údolí. Absolutní vlhkost vzduchu na půdě najdeme nejvyšší v údolí. Zde hodnota bývá 0,2 g/m<sup>3</sup> vyšší než v ostatních měřených lokalitách. Průměrně se lokality rozcházejí v absolutní vlhkosti v půdním prostoru o 0,1-0,2 g/m<sup>3</sup>. Relativní vlhkost v půdním prostoru přes den bývá v údolí a na rovině srovnatelná, tedy o 5-10 % vyšší než na kopcích. Přes noc je většinou nižší hodnota jen na rovině, a to o 5 % relativní vlhkosti než ve zbylých lokalitách.



Výsledky práce ukázaly, že klimatické podmínky na různých stanovištích na jednom malém území jsou odlišné. Dle zaznamenaných hodnot víme i o kolik. Ukázalo se, že zjištěné rozdíly hodnot zkoumaných stanovišť nejsou natolik vysoké, aby zcela zásadně ovlivnily tepelně-vlhkostní chování přirozeně větraných prostor. Je dobré si uvědomit, že většina stavebních parcel není ideálním místem pro umístění meteorologické stanice. Tedy čím méně ideální místo pro meteorologickou stanici, tím více se budou reálné klimatické podmínky rozcházet od naměřených hodnot nejbližší meteorologickou stanicí. V extrémnějších případech by tedy tyto rozdíly mohly mít zásadní dopad na chování vzduchu na půdním prostoru. V této práci však záměrně nebyly vybírány lokality, které mají extrémní klimatické podmínky.

## Seznam použitých zdrojů:

1. **Čermák, Milan.** Synoptická stanice. <http://maruska.ordoz.com>. [Online] 2015.  
[http://maruska.ordoz.com/zajimavosti/synopticka\\_stanice](http://maruska.ordoz.com/zajimavosti/synopticka_stanice).
2. **ČHMÚ.** Meteorologické stanice ČHMÚ. <http://portal.chmi.cz>. [Online]  
[http://portal.chmi.cz/files/portal/docs/poboc/OS/stanice/ShowStations\\_CZ.html](http://portal.chmi.cz/files/portal/docs/poboc/OS/stanice/ShowStations_CZ.html).
3. **Climatologist, The State.** *Publication of the American Association of State Climatologists: Heights and Exposure Standards for Sensors on Automated Weather Stations.* 1985.
4. **EPA.** *On-Site Meteorological Program Guidance for Regulatory Modeling Applications.* North Carolina 27711 : Office of Air Quality Planning and Standards, 1987. Sv. EPA-450/4-87-013.
5. **Tanner, Bertrand D.** *Automated Weather Stations.* 1990. stránky p.73-98.
6. **WMO.** *Guide to Meteorological Instruments and Methods of Observation.* Geneva, Switzerland : World Meteorological Organization , 1983.
7. **COMET SYSTEM, s.r.o.** Dataloggery. *Comet systems.* [Online]  
<http://www.cometsystem.cz/produkty/reg-S3121>.
8. **Company, R. M. Young.** TEMPERATURE & HUMIDITY, Multi-Plate Radiation Shield.  
<http://www.youngusa.com>. [Online] <http://www.youngusa.com/products/2/11.html>.
9. **Výzkumný ústav meliorací a ochrany půdy, v.v.i.** Katalog BPEJ. <http://mapy.vumop.cz/>. [Online]  
<http://mapy.vumop.cz/>.
10. Kvantil. *cs.wikipedia.org*. [Online] <https://cs.wikipedia.org/wiki/Kvantil#Kvartil>.
11. Kvartilový graf (boxplot). *wikisofia.cz*. [Online]  
[https://wikisofia.cz/wiki/Grafick%C3%A9\\_zobrazen%C3%AD\\_dat](https://wikisofia.cz/wiki/Grafick%C3%A9_zobrazen%C3%AD_dat).
12. **ČHMÚ.** Základní informace: pobočka ČHMÚ Hradec Králové. <http://portal.chmi.cz>. [Online]  
<http://portal.chmi.cz/o-nas/organizacni-struktura/pobočka-hradec-kralove/zakladni-informace>.
13. **Staněk, Kamil.** *Šíření vodní páry a povrchová teplota, SF2 – Podklady pro cvičení.* 2010.
14. **0540-2, ČSN 73.** Tepelná ochrana budov - Část 2: Požadavky. *Normové hodnoty součinitele prostupu tepla UN, 20 jednotlivých konstrukcí dle ČSN 73 0540-2:2011 Tepelná ochrana budov - Část 2: Požadavky.* [Online] <http://stavba.tzb-info.cz/tabulky-a-vypocty/136-normove-hodnoty->

soucinitele-prostupu-tepla-un-20-jednotlivych-konstrukci-dle-csn-73-0540-2-2011-tepelna-ochrana-budov-cast-2-pozadavky.

15. **DEK.** Dřevoštěpková OSB deska . [www.dek.cz](http://www.dek.cz). [Online]

<https://www.dek.cz/produkty/detail/3010301690-osb-eurostrand-3-tl-22mm-2500x1250-n-sv-44ks>.

16. **Lstiburek, Joseph.** BSD-102: Understanding Attic Ventilation. *BSC, Building Science Corporation*. [Online] 2006.

17. **Walker, I.S., Forest, T.W. and Wilson.** An Attic-Interior Infiltration and Interzone Transport Model of a House. [editor] Elsevier Science Ltd. *Building and*. místo neznámé : Pergamon Press, stránky p.701-718.

18. **Walker, I.S.** Single zone air infiltration modelling. *M.Sc. Thesis, Department of Mechanical Engineering*. Edmonton : University of Alberta, 1989.

19. **Liddament, M.W.** *A guide to energy efficient ventilation*. St Albans : AIVC, 1996. ISBN:9780946075850.

20. **Straube, J., Burnett, E.** *Building Science for Building Enclosures*. místo neznámé : Building Science Press, 2005. ISBN:0975512749.

21. **Veverka, Petr.** Meteostanice: In-počasí. *In-počasí*. [Online] [http://www.in-pocasi.cz/meteostanice/stanice.php?stanice=zelezny\\_brod](http://www.in-pocasi.cz/meteostanice/stanice.php?stanice=zelezny_brod).

22. **ASHRAE.** ASHRAE Handbook -- Fundamentals, Chapter: Ventilation and Infiltration. *ashrae*. [Online] 2005. <https://www.ashrae.org/advertising/handbook-cd-commercial-resources/fundamentals/ventilation-and-infiltration>.

23. **Kopecký, Pavel.** Šíření tepla, vzduchu a vlhkosti v budovách a stavebních prvcích. *Stavební tepelná technika*. [Online] 2014.

24. **Hukka, A., and H. Viitanen.** A mathematical model of mould growth on wooden material. *Wood Science and Technology* 33, str. 475-485 . [Online] 1999. [http://www.civil.uwaterloo.ca/beg/CE708/woodsci\\_Viitanen\\_mold\\_model.pdf](http://www.civil.uwaterloo.ca/beg/CE708/woodsci_Viitanen_mold_model.pdf).

## Obsah CD

Diplomová práce

Výsledky měření

Dynamický tepelně-vlhkostní model větraného půdního prostoru

Výsledky modelu

Fotodokumentace

## Seznam grafů

Graf 3.1.1: Naměřené hodnoty relativní vlhkosti v laboratoři $\pm 5\%$ od etalonu (kalibrace dataloggerů)	19
Graf 3.1.2: Grafy pro určení koeficientu lineární regrese (zleva: #1 datalogger, #2 datalogger, #4 datalogger)	19
Graf 3.1.3: Naměřené hodnoty relativní vlhkost bez kalibrace, které mají 100% RH	20
Graf 3.1.4: Histogram rel. vlhkosti z ostrého měření po kalibraci (vpravo)	20
Graf 3.1.5: Histogram rel. vlhkosti z ostrého měření bez kalibrace (vlevo)	20
Graf 3.1.6: Histogram rel. vlhkosti z ostrého měření po kalibraci bez 100% RH (uprostřed)	20
Graf 3.1.7: Boxplot hodnot dataloggerů bez kalibrace	21
Graf 3.1.8: Boxplot hodnot dataloggerů po kalibraci	
Graf 3.2.1: Celkový graf naměřených teplot a vybraný týden	23
Graf 3.2.2: Celkový graf naměřených relativních vlhkostí a vybraný týden	24
Graf 3.2.3: Celkový graf absolutních vlhkostí a vybraný týden	25
Graf 3.2.4: Graf 14 denní průměry teplot v jednotlivých lokalitách	27
Graf 3.2.5: Graf 14 denní průměry teplot v jednotlivých lokalitách	27
Graf 3.2.6: Graf 14 denní průměry – vývoj teplot	27
Graf 3.2.7: Graf 14 denní průměry relativní vlhkosti v jednotlivých lokalitách	28
Graf 3.2.8: Graf 14 denní průměry – rozdíl relativní vlhkosti v jednotlivých lokalitách	29
Graf 3.2.9: Graf 14 denní průměry – vývoj relativní vlhkosti v jednotlivých lokalitách	29
Graf 3.2.10: Graf 14 denní průměry absolutní vlhkosti v jednotlivých lokalitách	30
Graf 3.2.11: Graf 14 denní průměry- rozdíly absolutní vlhkosti	30
Graf 3.2.12: Graf 14 denní průměry- vývoj absolutní vlhkosti	30
Graf 3.2.13: Histogram naměřených teplot	31
Graf 3.2.14: Histogram naměřených teplot –polynomické funkce	32
Graf 3.2.15: Histogram naměřených relativních vlhkostí	33
Graf 3.2.16: Histogram absolutní vlhkosti	33

Graf 4.1.1: Validace numerického teplotního modelu – ověření teploty .....	43
Graf 4.1.2: Validace numerického teplotního modelu – ověření měrné tepelné kapacity .....	44
Graf 4.1.3: Validace numerického teplotního modelu – ověření funkčnosti větrání .....	44
Graf 4.1.4: Vykreslení průběhu teplot na půdním prostoru na kopci č. 1 v období 21.5. - 28.5. ....	45
Graf 4.1.5: Vykreslení průběhu vypočítané absolutní vlhkosti ve všech uzlech na půdním prostoru na kopci č. 1 v období 21.5. - 28.5. ....	47
Graf 4.1.6: Vykreslení průběhu vypočítané relativní vlhkosti na půdním prostoru na kopci č. 1 v období 21.5. - 28.5. ....	47
Graf 4.1.7: Graf indexu plísní podle velikosti větracích otvorů v jedné lokalitě.....	49
Graf 4.2.1: Graf teplot $T_{attic}$ v týdnu 21.5. – 28.5. v jednotlivých lokalitách .....	51
Graf 4.2.2: Graf absolutní vlhkosti $v_{attic}$ v týdnu 21.5. – 28.5. v jednotlivých lokalitách .....	51
Graf 4.2.3 : Graf relativní vlhkosti $RH_{attic}$ v týdnu 21.5. – 28.5. v jednotlivých lokalitách .....	51
Graf 4.2.4: Graf indexu růstu plísní na dřevěných materiálech .....	52
Graf 4.2.5 : Histogram vypočítaných teplot vzduchu na půdním prostoru .....	53
Graf 4.2.6: Histogram vypočítaných absolutní vlhkosti vzduchu na půdním prostoru .....	53
Graf 4.2.7: Histogram vypočítaných relativních vlhkostí vzduchu na půdním prostoru .....	53

## Seznam obrázků

Obr. 0.1: Meteorologická stanice Maruška, Hostýnské vrchy (1) .....	9
Obr. 0.1: Mapa automatizovaných meteorologických stanic ČHMÚ (2).....	10
Obr. 3.1.1: Datalogger Comet S3121 (7)      Obr. 3.1.2: Radiační štít Multi-Plate model 41003 (8).....	12
Obr. 3.1.3: Mapa klimatických regionů (9) .....	14
Obr. 3.1.4: Lokace měřených míst a stanice ČHMÚ .....	15
Obr. 3.1.5: Lokace měřených míst.....	15
Obr. 3.1.6: Umístění dataloggeru #1 na kopci č.1 .....	16
Obr. 3.1.7: Umístění dataloggeru #2 na rovině .....	16
Obr. 3.1.8: Umístění dataloggeru #3 v údolí.....	17
Obr. 3.1.9: Umístění dataloggeru #4 na kopci č.2 .....	17
Obr. 3.1.10: Plánek umístění všech čidel se vzájemnými souvislostmi .....	18
Obr. 4.1.1: Schéma matematického modelu přirozeně větrané půdního prostoru.....	37
Obr. 4.1.2: Skica zjednodušení střešní konstrukce pro matematický model .....	38
Obr. 4.1.3: skica uvažovaných rozměrů půdy .....	39
Obr. 4.1.4: Meteorologická stanice v Železném Brodě (21) .....	40
Obr. 4.1.5 Schéma matematického teplotního modelu .....	42

Obr. 4.1.6: Schéma vlhkostního modelu .....	45
---	----

## Seznam tabulek

Tab. 3.2.1: srovnání maximálních, minimálních a průměrných teplot.....	22
Tab. 3.2.2: srovnání maximálních, minimálních a průměrných relativních vlhkostí .....	23
Tab. 3.2.3: srovnání maximálních, minimálních a průměrných absolutních vlhkostí .....	25
Tab. 4.1.1: Tabulka skladby zatepleného stropu k nevytápěné půdním prostoru .....	38
Tab. 4.1.2: Tabulka použitých parametrů OSB desky .....	39
Tab. 4.2.1: Tabulka maximálních, minimálních a průměrných vypočítaných teplot na půdním prostoru z měřeného období .....	49
Tab. 4.2.2: Tabulka maximálních, minimálních a průměrných vypočítaných absolutních vlhkostí na půdním prostoru z měřeného období .....	50
Tab. 4.2.3: Tabulka maximálních, minimálních a průměrných vypočítaných relativních vlhkostí na půdním prostoru z měřeného období .....	50