

Západočeská univerzita v Plzni
Fakulta aplikovaných věd
Katedra kybernetiky

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Návrh prototypu pro stabilizaci klimatických
podmínek v konventu plaského kláštera

PROHLÁŠENÍ

Předkládám k posouzení a obhajobě bakalářskou práci zpracovanou na závěr studia na Fakultě aplikovaných věd Západočeské univerzity v Plzni.

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci vypracoval samostatně a výhradně s použitím odborné literatury a pramenů, jejichž úplný seznam je její součástí.

V Plzni dne 16. května 2008

Anotace

Tato práce se zabývá návrhem a realizací zařízení pro získání dat potřebných k určení optimálního způsobu větrání v budově konventu bývalého cisterciáckého kláštera v Plasích.

Práce se věnuje současnému stavu konventu a způsobům měření klimatických veličin uvnitř i vně budovy. Následuje popis realizace měřicího hardwaru a softwaru, popis získaných dat a souhrn výsledků.

Klíčová slova: klášter Plasy, konvent, vlhkost, teplota, rosný bod, voda, vzduch, větrání, WinCon, Microlog, C#, .NET, Visual Studio, Octave.

Annotation

This work concerns the design and realization of a device for acquisition of data needed to determine the correct methods of ventilation in the convent building of the former Cistercian monastery in Plasy.

The work dwells on the present condition of the convent and means of measurement of climatic values inside and outside the building. This is followed by the description of the designed measuring hardware and software, acquired data and summary of the results.

Key words: Plasy monastery, convent, humidity, temperature, dew point, water, air, ventilation, WinCon, Microlog, C#, .NET, Visual Studio, Octave.

Použité značení

Značení veličin a proměnných v této práci, vycházející ze značení v použité literatuře, může být vzhledem ke konvencím používaným v kybernetice zavádějící. Ve snaze předejít případnému nedorozumění při čtení této práce zde uvádím přehled použitého značení:

t	teplota
t_s	teplota sytosti vzduchu
m	hmotnost
p	tlak
p_p''	tlak syté páry
p_p	parciální tlak par
ρ_p	měrná hmotnost par ve vzduchu
ρ_p''	hmotnost par v 1 m ³ vzduchu ve stavu nasycení
f	absolutní vlhkost
φ	relativní vlhkost

Obsah

1	Formulace problému	7
1.1	Historie a dispozice plaského kláštera	7
1.2	Technická stránka konventu	8
1.2.1	Vodní systém	8
1.2.2	Větrací systém	11
1.2.3	Rajský dvůr a vzdušník	11
1.2.4	Hlavní schodiště a chodby	11
1.3	Současné znalosti o větrání	12
1.4	Současné technické výzkumy v konventu	12
1.4.1	SPELEO - Řehák	12
1.4.2	GEMA ART GROUP	13
2	Přehled řešení problematiky	13
2.1	Suchý vzduch	13
2.2	Vlhký vzduch	14
2.3	Absolutní a relativní vlhkost	14
2.4	Rosný bod	15
2.5	Výpočet rosného bodu	15
2.5.1	Výchozí úvahy	15
2.5.2	Realizace	16
3	Návrh funkcí prototypu	18
3.1	Návrh měřicí části	18
3.2	Návrh řídicí části	18
4	Návrh technického řešení	18
4.1	Micrology	18
4.2	Centrální zařízení	19
4.3	Čidla	19
4.3.1	Zvolené čidlo	20
4.3.2	Zapojení modulů	20
4.3.3	Převod napětí na RH	21
4.3.4	Převod napětí na teplotu	22
4.3.5	Protidešťový kryt	23
4.4	Obrazovka	24
4.5	Výběr měřicích míst	24
4.5.1	Finální umístění přístrojů	26
5	Realizace softwaru	28
5.1	Požadavky na software	28
5.2	První verze - technologický test	28
5.3	Cesta k finální verzi	29
5.3.1	Požadavky pro psaní .NET aplikací pro WinCon	29
5.4	Finální verze aplikace	30

6	Experimentální ověření	33
6.1	Instalace zařízení	33
6.2	Zkouška spolehlivosti	33
6.3	Získaná data	33
6.3.1	Záznamy o větrání	34
6.3.2	Zajímavé povětrnostní podmínky	35
6.4	Nová pravidla pro větrání	40
6.5	Poradní tabulka	40
6.6	Shrnutí výsledků	41

1 Formulace problému

Cílem mé bakalářské práce je navrhnout a realizovat technické zařízení pro získání dat potřebných k určení optimálního způsobu větrání v budově konventu bývalého cisterciáckého kláštera v Plasích. Plaský klášter je národní kulturní památkou a samotná budova konventu („ubytovny“ mnichů) je i budovou pozoruhodnou nejen po stránce umělecké, ale i technické. Je to rozsáhlá budova vystavěná v první třetině osmnáctého století v meandru řeky Střely, vybavená unikátním systémem dřevěných základů uměle zatopených vodou. V budově se také nachází neméně unikátní ventilační a klimatizační systém, který sloužil k regulaci teploty a kompenzaci vysoké vlhkosti vzduchu v budově. Od konce osmnáctého století, kdy byl klášter zrušen se však ani jednomu ze systémů nevěnovala náležitá pozornost ani údržba a budova prodělala v minulosti řadu necitlivých stavebních úprav, které stav těchto systémů ještě zhoršily.

Výsledky této práce budou využity pro obnovení funkce větracího systému v současných, či v brzké době plánovaných fázích stavebních úprav budovy. Výsledky by měly vést k doporučení takového způsobu větrání, který by zamezoval kondenzaci vlhkosti v nejchladnějších částech budovy, tedy v přízemí, a současně napomáhal co nejeфекtivněji zvyšovat teplotu v budově během letního období. V současné době se větrání konventu řídí podle pravidel odvozených ze zkušenosti a z domněnek, která dosud nebyla podložena žádným objektivním měřením všech směrodatných veličin, které udávají kvalitu vzduchu vzhledem k budově, tedy teploty a vlhkosti současně ve všech patrech budovy a venku. Dosud používaná pravidla i s popisem dílčích pozorování, která vedla k jejich vytvoření, jsou uvedena v kapitole 1.3.

1.1 Historie a dispozice plaského kláštera

Plaský klášter byl založen v roce 1144 knížetem Vladislavem II. Jednalo se o první panovnický založený klášter cisterciáckého řádu v Čechách. Již první budovy kláštera byly situovány do údolní nivy řeky Střely. Toto místo zcela vyhovovalo cisterciáckým požadavkům.

Tradicí cisterciáckých mnichů bylo stavět kláštery v blízkosti vody a na zamokřených půdách. Toto chování mělo několik důvodů: V zamokřené, či dokonce bažinaté krajině nebyl život klášterní komunity narušován ostatními lidmi a navíc při stavbě kláštera na takovéto půdě se nezabírala půda okolní, případně vhodná pro zemědělskou činnost. Cisterciáčtí mniši se průběhem času stali experty na stavby v bažinách a na využívání vody. Stejně tak vynikali i svou činností v zemědělské oblasti a zkulturnění krajiny a v Plasích tomu nebylo jinak. Současná podoba krajiny v okolí kláštera na sobě dodnes nese známky působení cisterciáků.

Původní klášterní budovy byly pobořeny při útoku husitů v roce 1421. Klášter byl revitalizován po roce 1621 císařem Ferdinandem II. a následovala vlna stavební činnosti trvající až do zrušení kláštera. Konvent (dokončen 1739) byl projektován architektem Janem Blažejem Santinim a částečně Kiliánem Ignácem Dientzenhofferem. Budova konventu má půdorys ve tvaru čtverce o straně cca 80 metrů. Uprostřed budovy se nachází zahrada, tzv. rajský dvůr a na západní roh budovy navazuje nemocniční křídlo. Běžná výška stropů místností v budově je cca 6 metrů. V konventu se nachází více než 120 místností s asi 380 okny.

Cisterciáčtí mniši obývali plaský klášter až do roku 1785, kdy byl klášter zrušen

(spolu s řadou jiných) výnosem císaře Josefa II. Plaští mniši pak byli nuceni odejít do zbylých klášterů a far na českém území. Majetek kláštera pak připadl správě Náboženského fondu, což byla forma vlastnictví podobná státnímu statku.

V roce 1826 koupil celé plaské panství tehdejší státní ministr a kancléř rakouského císařství Klement Lothar Václav Pomuk Metternich - Winneburg. Budovy bývalého kláštera Metternichům sloužily převážně jako hospodářské. U severozápadního křídla konventu byl Metternichy z velké části přestavěn pivovar. Dne 27. srpna 1894 propukl v tomto pivovaru požár, který trval celkem 3 dny a rozšířil se až na konvent. Při požáru byla kompletně zničena střecha a druhé patro konventu. Propadly se krovy a stropy. Díky požární pojistce však byly škody v celkové výši 150000 zlatých opraveny do jara roku 1895.

V období vlastnění Metternichy byla odstraněna část hlavního schodiště v severozápadním křídle konventu mezi přízemím a prvním patrem. Důvod této stavební úpravy není znám. Předpokládá se, že již tehdy docházelo k poškození a degradaci samonosné konstrukce schodiště kondenzující vlhkostí.

Plaské panství patřilo Metternichům až do roku 1945, kdy bylo zestátněno na základě Dekretů prezidenta republiky (takzvaných Benešových dekretů). Následně se pokračovalo ve využívání budov k hospodářským účelům. Letní refektář sloužil jako sýpka až do 70. let 20. století, v přízemí konventu byla například pošta, v bývalém nemocničním křídle pak byty. Obrat nastal po roce 1989, kdy se začalo s koncepčními opravami a celý areál se po malých krůčcích začíná vzhledově i technicky vracet do lepšího stavu.

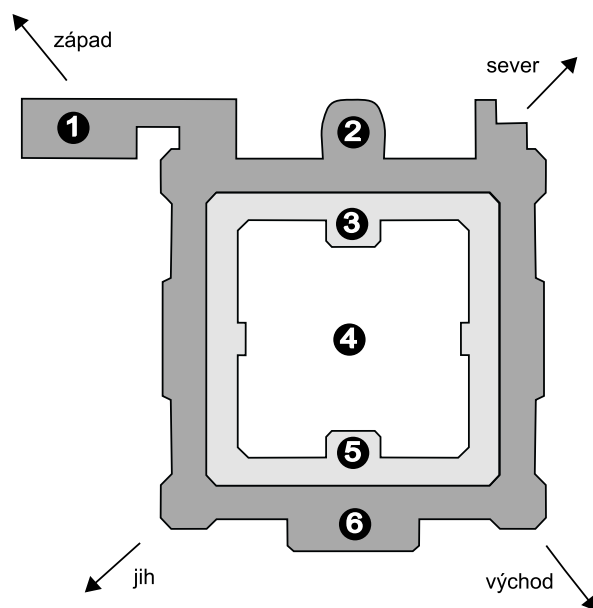
1.2 Technická stránka konventu

Vzhledem k tomu, že konvent je vystavěn na bažinatém podkladu a říčních náplavách, bylo nutné zajistit stabilitu budovy důmyslným základovým systémem. Tento základový systém je tvořen více než 5000 dubovými pilíři (tzv. pilotami), které jsou zatlučeny do půdy. Na těchto pilotách je pak položen rošt z dubových trámů o průřezu průměrně 30 cm. Na tomto dubovém roštu je pak vrstva kamenného zdiva proloženého břidličnými vrstvami (izolace proti vztlínající vlhkosti), na kterou ve výšce cca 3 m nad roštem navazuje zdivo cihlové. Systém pilířů a roštu se nachází pod všemi traktovými zdmi konventu. Je tedy přítomen pod vnější obvodovou zdí, i zdí obepínající rajský dvůr. Stejně tak se nachází i pod zdí, která odděluje přízemní ambitovou chodbu od obvodových místností. Všechny podlahy v přízemním patře jsou pak vyneseny nad úroveň roštu pomocí klenebných pasů. Prostor pod zimním refektářem (zimní jídelnou) v jihovýchodním křídle je provětráván pomocí sítě vzdušných kanálů.

Z důvodu konzervace základového systému je do jeho dubové konstrukce zabudován důmyslný vodní systém, jehož účelem je udržovat veškeré části pilot a roštu pod vodní hladinou a tedy bez přístupu vzduchu. Dubové dřevo se za takových podmínek časem stává pevnějším.

1.2.1 Vodní systém

Dříve vodní systém fungoval jako přetlakový. Důmyslná síť dřevěných potrubí přiváděla čistou vodu z pramenů přímo pod základy budovy do dubového roštu, odkud byla rozváděna kanálky v roštu a mezerami mezi pilíři do všech míst dřevěné konstrukce.



Obrázek 1: Orientace budovy konventu a její hlavní části

1 – nemocniční křídlo; 2 – kapitulní síň

3 – rizalit severního schodiště a severní vodní zrcadlo; 4 – rajský dvůr; 5 – rizalit jižního schodiště a jižní vodní zrcadlo; 6 – rizalit zimního a letního refektáře

Koryta přivádějící vodu (například z lesního potoka nad současnou silnicí na Kralovici) byla vybavena mechanickými i chemickými filtry. Do koryta byla po určité délce vsazena filtrační schránka se šterkem pro zachycování mechanických nečistot a obdobná schránka s koksem pro filtraci chemickou - hlavně absorpci látek, které by mohly sloužit jako živiny pro řasy a bakterie, které by pak mohly negativně ovlivňovat kvalitu vody ve vodním systému a následně i stav dřevěné konstrukce.

Tím, že byla čerstvá voda přiváděna z vyšších poloh přímo pod rošt konventu, vytlačovala ze základového systému vodu starou. Tím byla zaručena její dostatečná obměna a zamezovalo se hnití.

Ke kontrole kvality a množství vody ve vodním systému sloužily (a dodnes slouží) dva malé bazény, barokními prameny nazývané *vodní zrcadla*. Takzvané jižní vodní zrcadlo se nachází v jihovýchodním křídle konventu, přes ambitovou chodbu naproti již zmiňovanému zimnímu refektáři. Severní vodní zrcadlo se nachází na opačné straně budovy, tedy v severozápadním křídle. Od obou zrcadel pak stoupají hlavní schodiště konventu. Bližší popis hlavních schodišť se nachází v části 1.2.4. Dno vodních zrcadel je tvořeno poslední (nejvyšší) vrstvou trámů základového roštu. Pokud je systém stabilizovaný, hloubka vody v zrcadlech se pohybuje okolo 45 centimetrů.

U jižního zrcadla je také možno spatřit jednu z hlavních napájecích štol vodního systému. Jedná se o takzvanou Modrou štolu. Modrá štola je asi 1,75 metru vysoký a 85 cm široký zděný tunel nahoře ukončený klenbou. Podlahu Modré štolky tvoří dubové fošny, které jsou do roštu zajištěny dřevěnými kolíky. Modrá štola vede v podzemí ze severovýchodního rohu konventu pod podlahou ambitové chodby a u zrcadla zahýbá vpravo. V místě vyústění je ve zdi modré štolky vytesán latinský nápis *AEDIFICIUM HOC SINE AQUIS RUET*: Bez vody se tato stavba zřítí. V části roštu pod podlahou Modré štolky se nachází zásobovací vodní kanálek. Samotný rošt v Modré štolce je za-

plaven vodou do stejné výšky, jako jižní zrcadlo. Dříve do Modré štolý směřovala voda přiváděná již zmiňovaným dřevěným potrubím ze směru od Kralovic.

Hladina vody je ve vodním systému udržována na požadované úrovni pomocí přepadových kanálků. Požadovaná (přepadovými kanálky udržovaná) úroveň vody je pevně daná konstrukčním uspořádáním základů budovy a podle dosavadních poznatků není možné ji nějak změnit (přenastavit). Přebytečná voda odtéká takzvanou *Královskou štolou* do řeky.

Královská štola je umělým podzemním ramenem řeky Střely. Jedná se o zděný tunel o délce cca 300 metrů, který vede od severozápadní části klášterního areálu do části jihozápadní, kde je v současnosti silniční most přes řeku. Královská štola odděluje část proudu řeky a tato voda za dob fungování kláštera sloužila k pohonu mlýnského kola. Dále pak voda proudí pod nemocničním křídlem konventu, kde byla dříve využívána ke splachování odpadu ze sociálních zařízení. (Jedná se o unikátní konstrukci samosplachovacích barokních záchodů.) Voda se do řeky vrací v místě již zmiňovaného silničního mostu. Královská štola také slouží pro odvádění přebytečné vody z vodního systému.

Systém přepadových kanálků zajišťoval, aby se v případě nadbytku vody její hladina v konventu nezvyšovala. Budova je však také vybavena mechanismy pro udržení hladiny v případě dlouhotrvajícího sucha. Taková situace však již k řešení vyžadovala pomoc obyvatel kláštera, tedy mnichů.

V severním rohu budovy se v suterénu nachází takzvaná napouštěcí místnost, která má nalévací otvor na úrovni vnějšího terénu a kamennou podlahu. Úkolem mnichů bylo dopravovat vodu z řeky a vlévat ji otvorem do napouštěcí místnosti, kde se podlahou vsakovala do vodního systému. Případné mechanické nečistoty pak zůstávaly na dně napouštěcí místnosti a do základového systému se již nedostávaly.

Vodní systém je navíc konstruován tak, aby se dešťová voda, která spadne v bezprostřední blízkosti konventu, nedostávala do základů budovy. Odvedení dešťové vody od budovy je zajišťováno takzvanými odvodňovacími kanály. Dešťová voda stékající k budově zvenku je zachycována kanály, které se nacházejí pod zemí na vnějším obvodu konventní budovy. Voda, která naprší na rajský dvůr uprostřed budovy, je zachycována obdobným systémem kanálů, které vedou příčně pod povrchem rajského dvora. Dešťová voda ze střechy je zachycována oběma systémy odvodňovacích kanálů podle toho, zda stéká do dvora, či ven. Všechna zachycená voda kanály teče do Královské štolý a následně do řeky.

V období od roku 1826 až do roku 1990 však bohužel docházelo k poškozování vodního systému a základů budovy. Vodní systém byl zčásti využíván jako septik, dostávaly se do něj odpadní vody z pivovaru, později sodovkárny. Postupem času byla stavebními činnostmi v okolí kláštera zničena původní zásobovací potrubí přivádějící čerstvou vodu. Zaneseny a poničeny byly rovněž obvodové odvodňovací kanály odvádějící vodu dešťovou. Vodní systém přestal fungovat jako přetlakový a začal fungovat jako podtlakový. Do základů se vsakovala voda ze silnice, která v zinně obsahuje rozpuštěnou posypovou sůl. Stejně tak se pod budovu vsakuje voda z polí s obsahem hnojiv, které podporují růst řas ve vodních zrcadlech, což vede ke snižování kvality vody ve vodním systému a ohrožuje dubovou základovou konstrukci.

1.2.2 Větrací systém

Vzhledem k tomu, jak vysoké vlhkosti je budova vystavena, je vybavena také neméně důmyslným větracím systémem. Do tohoto větracího systému jsou zahrnuty následující stavební prvky:

- Síť podzemních vzduchových kanálů, vzdušnicková chodba pod rajským dvorem a vyústky vzdušníku pod okny v přízemní chodbě (vzdušnickový systém), větrací místnost u jižního vodního zrcadla s komínkem vyúsťujícím na rajský dvůr
- Rozsáhlý prostor vymezený dvěma hlavními samonosnými schodišti, ambitové chodby a okenní ventilační křídla v ambitech a v místnostech

1.2.3 Rajský dvůr a vzdušník

Rajský dvůr uprostřed konventní budovy je oproti terénu vně budovy o cca 4,5 metru navýšen. Jedná se o stavební úpravu, která plní hned několik funkcí:

1. Zemina rajského dvora zakrývá fragmenty starších konventních budov.
2. Tím, že je rajský dvůr navýšen, není tolik zastíněn obvodovými zdmi budovy a tím více osvětlen Sluncem, což svědčilo okrasným rostlinám, které zde pravděpodobně byly v době fungování kláštera pěstovány.
3. Po obvodu celého rajského dvora vede v podzemí tzv. Hlavní vzdušnicková chodba. Ze vzdušnickové chodby vedou průduchy pod všechna okna v přízemní ambitové chodě (která jsou v tomto patře budovy asi 4,5 metru nad podlahou).
4. V letním období se hmota rajského dvora do určité hloubky prohřívá a tohoto efektu je v konventu během podzimního období využíváno jako akumulčních kamen. V době, kdy je venkovní vzduch chladnější, než zemina na rajském dvoře, dochází ve vzdušnickové chodbě k jeho ohřívání. Ohřátý vzduch putuje průduchy pod okny do ambitové chodby. Ve chvíli, kdy byl vzduch ze vzdušnickového systému příliš studený, bývaly průduchy zacpávány slámou a s opětovným použitím tohoto systému se čekalo až na další sezónu.
5. U jižního vodního zrcadla se nachází podzemní místnost, do které je přístup od zrcadla a která je propojena otvory se vzdušnickovou chodbou a povrchem rajského dvora. Dříve byl na rajském dvoře otvor z této místnosti zakončen malým komínem, vyskládaným z vodorovně položených čtvercových kamenných desek o straně 50 cm. Ve středu každé desky se nachází čtvercový otvor o straně cca 10 cm. Tyto desky jsou dodnes k vidění položené u vstupních schodišť do rajského dvora. V minulosti rozebraný komínek je v současné době nahrazen plastovou rourou o průměru 20 cm a výšce cca 1 m.

1.2.4 Hlavní schodiště a chodby

Po vnitřním obvodu každého patra budovy vede tzv. ambitová, neboli křížová chodba. Na každém patře budovy se v ambitu nachází cca 50 oken. V minulosti byly ambitové chodby ve všech patrech nepřerušeny.

V současnosti se v přízemním patře nachází v prostorách ambitu dílny údržby kláštera a Základní umělecká škola, jejichž prostory jsou odděleny zděnými příčkami. Prostor ZUŠ je vymezen příčkami, které dosahují až ke stropu a zamezují pohybu vzduchu. Dílny jsou od zbytku chodby odděleny příčkami sahajícími do výšky cca tří metrů a v pohybu vzduchu nijak výrazně nebrání.

Ambitová chodba v prvním patře, na kterém se v několika místnostech nachází hlavní prohlídkový okruh a většina exponátů, probíhá kolem dokola nepřerušena.

Polovina chodby ve druhém patře je v současné době oddělena příčkami od zbytku budovy. Tyto příčky sahají až ke stropu a zamezují pohybu vzduchu. Druhá polovina chodby je s ostatními patry budovy propojena oběma hlavními schodišti. V nejbližších letech se plánuje tyto příčky zbourat a u schodišť ve druhém patře postavit mříže.

Ambitové chodby ve všech patrech jsou propojeny skrze hlavní schodiště, která se nachází v jihovýchodním a severozápadním křídle budovy.

1.3 Současné znalosti o větrání

- Optimální proudění vzduchu nastává ve chvíli, kdy je venku vyšší teplota, než v ambitové chodbě ve druhém patře.
- Z pozorování se zjistilo, že ve výše uvedeném případě je vnější vzduch vtahován do budovy okny, ochlazuje se, tedy těžkne a klesá jednotlivými patry do přízemí, kde opouští budovu dveřmi.
- Obrácený směr proudění vzduchu je nežádoucí, protože by se pak vlhký a studený vzduch od vodních zrcadel dostával do vyšších pater budovy. Díky tomu, že první a druhé patro má obvykle vyšší teplotu, nedocházelo by zde sice ke kondenzaci vlhkosti ze vzduchu, ale tato podlaží by se ochlazovala. Míra případného ochlazování při stoupavém pohybu vzduchu však není dosud známa.
- Efektivnější je větrat tak, že jsou otevřena pouze okna ve druhém patře a dveře v přízemí. Takzvaný obrácený komínový efekt je pak výraznější a podle dříve provedených dílčích měření pak relativní vlhkost ve druhém patře výrazně klesá. Obrácený komínový efekt je naopak podle stejných dílčích měření rozmělněn, pokud se otevřou okna ve všech patrech.
- Podle pana Josefa Řeháka staršího (viz níže) je také lepší větrat na linii druhé patro – přízemí, protože jinak je vzduch do ambitů nasáván komíny i se sazemi.
- Rajský dvůr má díky částečnému oddělení od okolí své vlastní mikroklima a teploty měřené zejména blíže k jeho povrchu se mohou znatelně lišit od těch měřených ve stejné výšce nad okolním terénem.

1.4 Současné technické výzkumy v konventu

1.4.1 SPELEO - Řehák

Od počátku 90. let 20. století provádí výzkum, měření a opravy související s vodním systémem konventu firma SPELEO - Řehák. Díky firmě SPELEO se v posledních letech podařilo obnovit značnou část funkčnosti vodního systému a udržovat tak vodu v

základech v dobrém stavu a na správné hladině. Pro účely sledování a vyhodnocování funkce stabilizačního vodního systému a vlivu dešťových srážek na něj má firma SPELEO již několik let v konventu umístěnu soustavu měřicích zařízení od jihočeské firmy FIEDLER-MÁGR. Soustava se skládá z několika částí:

- Celá soustava je řízena registrační a řídicí jednotkou, která je umístěna u hlavního schodiště u jižního zrcadla. Do paměti registrační jednotky se pak ukládají všechny naměřené hodnoty. Měření je v současné době prováděno s periodou 10 minut se synchronizací na každou desátou minutu hodiny.
- Vnější částí je 60 cm vysoký sloupek, který je umístěn na rajském dvoře u jižního zrcadla, nesoucí teploměr a srážkoměr.
- Dále je měřicí soustavou sledována hladina a teplota vody v jižním i severním zrcadle. Pro měření severního zrcadla jsou vedeny kabely k čidlům pod trávnickem přes celý rajský dvůr.

V současné době spolupracuji s firmou SPELEO na úrovni výměny dat a zkušeností při měření a plánuje se i osobní setkání s jejími zástupci.

1.4.2 GEMA ART GROUP

V létě roku 2007 nainstalovala firma GEMA ART GROUP, zabývající se převážně restaurátorskou činností, sadu zařízení pro měření relativních vlhkostí a teplot v prostoru pod hlavním jižním schodištěm (tedy nad vodním zrcadlem) za účelem získání dat pro plánovanou rekonstrukci spodní části schodiště vedoucí z přízemí do prvního patra. Firma GEMA ART GROUP pro měření používá celkem čtyři zařízení „klima logger“ německého výrobce TFA-Dostmann. Zmíněné klima loggery jsou schopny měřit a zaznamenávat hodnoty relativní vlhkosti a teploty do interní paměti a umožňují jejich stažení do PC. Zařízení jsou schopna komunikovat s bezdrátovými čidly téhož výrobce, jejich nevýhodou je však poměrně malá paměť - do 3000 vzorků. Při použité vzorkovací periodě jedné hodiny se tedy paměť zaplní po čtyřech měsících a z tohoto důvodu byly již na podzim roku 2007 paměti všech zařízení zaplněny a do května 2008 GEMA ART GROUP data ještě nestáhla. Od dotyčné restaurátorské firmy mám sice přislíbeno poskytnutí dat, ale komunikace uvázla na mrtvém bodě taktéž na podzim roku 2007.

2 Přehled řešení problematiky

Části 2.1 až 2.4 jsou založeny na informacích získaných z [2]. Části, které následují, tyto informace a znalosti dále rozvíjejí.

2.1 Suchý vzduch

Suchý vzduch je směsí několika plynů, v níž asi 99% tvoří směs dusíku a kyslíku. Ve vzduchu jsou kromě dusíku a kyslíku ve větším množství pouze argon a kysličník uhličitý. Vodík a vzácné plyny jsou ve vzduchu obsaženy v tak malých množstvích, že prakticky nepřicházejí v úvahu.

2.2 Vlhký vzduch

V atmosférickém vzduchu je obsaženo vždy určité množství vodních par. Směs suchého vzduchu a vodních par nazýváme *vlhký vzduch*. Vodní páry se ve vzduchu nejčastěji vyskytují v přehřátém stavu.

Existuje velký rozdíl mezi směsí několika různých plynů a směsí plynu a par. Složky ve směsi plynů se totiž mohou vyskytovat v libovolném poměru. Množství par v plynu (v našem případě ve vzduchu) je omezeno. Toto omezení je dáno tím, že tlak syté páry p_p'' je závislý na teplotě sytosti t_s . Teplota sytosti je teplota bodu varu při tlaku $p_s = p_p''$. Ve směsi par se vzduchem je t_s dána teplotou této směsi, tedy teplotou vlhkého vzduchu.

Tlak p_p'' vystupuje ve směsi jako *nejvyšší možný parciální tlak par*, spolu s parciálním tlakem vzduchu p_v . (Parciální tlak par je značen p_p .) Podle Daltonova zákona se součet parciálního tlaku par a parciálního tlaku vzduchu rovná tlaku směsi tohoto vzduchu a par, tedy tlaku vlhkého vzduchu. Tlak vzduchu, s nímž se pracuje v sušárenství, klimatizaci a podobných aplikacích se zpravidla rovná (jen s malými odlišnostmi) tlaku barometrickému, tedy $p = p_b = p_v + p_p$.

Teplota par při určitém tlaku může být libovolně vyšší, než teplota syté páry při tomto tlaku (teplota sytosti t_s). Teplota par však nemůže být nižší, než t_s . Při teplotě nižší než t_s dojde ke kondenzaci par. Z tohoto důvodu nemůže nikdy být parciální tlak par obsažených ve směsi se vzduchem vyšší než tlak syté páry p_p'' pro vlhký vzduch dané teploty.

Tím, že parciální tlak par je omezen teplotou směsi, je teplotou omezeno též množství par, které je vzduch schopen pojmout. Pokud je ve vzduchu při dané teplotě menší množství par, než odpovídá nasycenému stavu, je parciální tlak p_p menší než tlak syté páry p_p'' a pára se ve vzduchu nachází v přehřátém stavu.

Pokud je za normálního atmosférického tlaku (1013,25 hPa, 760 torr) teplota vzduchu, a tím i par v něm obsažených, větší než 100 °C, může se pára mísit se vzduchem v libovolném poměru podobně jako při míšení plynů. V těchto podmínkách se také pára vyskytuje pouze v přehřátém stavu.

2.3 Absolutní a relativní vlhkost

Hmotnost vlhkosti obsažená v 1 m³ vlhkého vzduchu se nazývá absolutní vlhkost. Protože je toto množství vztaheno na jednotku objemu směsi, nazývá se též objemová vlhkost. Pokud vezmeme objem vzduchu $V = 1 \text{ m}^3$, pak tento objem:

1. Je objemem par o tlaku p_p . Hmotnost par m pak představuje měrnou hmotnost ρ_p (tedy hustotu) těchto par. Z tohoto důvodu bývá někdy absolutní vlhkost f označována také ρ_p
2. Je objemem vlhkého vzduchu o tlaku p .
3. Je objemem suchého vzduchu o tlaku p_v . Hmotnost suchého vzduchu pak představuje měrnou hmotnost ρ_v .

Hmotnost par ve vzduchu ve stavu nasycení se označuje ρ_p'' . Hodnota ρ_p'' s teplotou vzduchu roste, protože stoupá hodnota tlaku sytosti. Se zvyšující se teplotou může být ve vzduchu obsaženo zvyšující se množství par.

Množství par ve vzduchu, tedy absolutní vlhkost ϱ_p může nabývat hodnot v mezích od $0\varrho_p''$ do $1\varrho_p''$. Jak již bylo řečeno výše, horní mez tohoto intervalu závisí na teplotě vzduchu. V [2] se tedy uvádí, že absolutní vlhkost není charakteristická pro vlhkost vzduchu, protože stejné množství par ϱ_p může být ve vzduchu přítomno ve stavu přehřátém, či sytém.

Z tohoto důvodu se zavádí pojem relativní vlhkost, označovaný φ . Jedná se o poměr množství par aktuálně obsažených ve vzduchu k maximálnímu množství par, které může být ve vzduchu obsaženo při dané teplotě. Tedy:

$$\varphi = \frac{\varrho_p}{\varrho_p''} \quad (1)$$

Poměr φ se nazývá relativní vlhkost. Jedná se o bezrozměrnou veličinu. Maximální hodnoty $\varphi = 1$ relativní vlhkost dosáhne, jedná-li se o vzduch, který je parami nasycen. V takovém případě platí, že $p_p = p_p''$ a $\varrho_p = \varrho_p''$.

2.4 Rosný bod

Pokud je vlhký vzduch ochlazován při konstantním (ve většině případů atmosférickém) tlaku, absolutní vlhkost se nemění až do určité teploty při které se páry ve vzduchu dostanou do stavu nasycení, tedy $\varrho_p = \varrho_p''$. Do toho okamžiku relativní vlhkost stoupá, až dosáhne maximální hodnoty $\varphi = 1$. Dalším ochlazováním dojde ke kondenzaci přebytečných par. Tím se absolutní vlhkost vzduchu snižuje. Relativní vlhkost však zůstává beze změny a platí $\varphi = 1$. Tento stav, při kterém je vzduch parami nasycen se nazývá rosný bod. Obvykle se pod pojmem rosný bod rozumí i teplota, při které tento stav nastane.

2.5 Výpočet rosného bodu

Části konventu kolem vodních zrcadel, jejichž teplota je převážně určována teplotou vody v základech, jsou výrazně studenější než zbytek budovy. Pokud by se do těchto míst dostal vzduch, jehož rosný bod je vyšší, než teplota u zrcadel, došlo by při jeho ochlazení ke kondenzaci vlhkosti, což by hlavně ohrožovalo již tak poškozené schodiště u jižního zrcadla. Z tohoto důvodu by tedy větrání mělo probíhat jen tehdy, když rosný bod vnějšího vzduchu je nižší, než teplota u vodních zrcadel (obecněji než nejnižší teplota v budově). Bylo tedy vhodné najít metodu pro zjištění rosného bodu vzduchu, u kterého je známa teplota a relativní vlhkost, což jsou veličiny, pro jejichž měření je na trhu dostupná velká škála zařízení.

2.5.1 Výchozí úvahy

Snažil jsem se najít takový postup výpočtu rosného bodu, který by byl snadno algoritmovatelný a bylo jej možno provádět jak ručně, tak strojově. Pro následnou tvorbu výpočetního algoritmu jsem použil program *GNU Octave*. Mé úvahy byly následující:

V [2] je uvedena tabulka vlhkého vzduchu, kde jsou mimo jiné tabelovány i hodnoty ϱ_p'' pro vzduch při různých teplotách od -30°C do $+100^\circ\text{C}$ s rozlišením 1°C . Pokud znám teplotu t a relativní vlhkost φ vzduchu, mohu pomocí této tabulky určit jeho absolutní vlhkost ϱ_p podle následujícího vztahu:

$$\varrho_p = \varrho_p''(t) \cdot \varphi \quad (2)$$

kde $\varrho_p''(t)$ je hmotnost par obsažená v nasyceném vzduchu o teplotě t . Nyní stačí v tabulce nalézt takovou hodnotu ϱ_p'' , která je nejbližší vypočtené hodnotě ϱ_p . Teplota, ke které přísluší tato hodnota ϱ_p'' je hledanou teplotou rosného bodu posuzovaného vzduchu.

Uvedený postup je vhodný pro ruční řešení. Pro strojové řešení a automatizaci výpočtu však již vhodný není. Pro automatizaci výpočtu by bylo nutné poskytnout výpočetnímu programu hodnoty ϱ_p'' pro uvažovaný rozsah teplot vzduchu. Toto je možné provést dvěma způsoby:

1. Poskytnout Octave přístup k části tabulky, která by byla během výpočtu rosného bodu reprezentována například maticí, ve které by na každém řádku byla uvedena teplota a k ní příslušná hodnota ϱ_p'' .
2. Popsat závislost mezi teplotou vzduchu a příslušnou hodnotou ϱ_p'' pomocí nějakého matematického vztahu a nechat výpočetní algoritmus pracovat pouze s tímto vztahem.

2.5.2 Realizace

Nakonec jsem se rozhodl pro druhou možnost, protože by pak bylo možno vyjádřit vztah mezi t a ϱ_p'' stručněji a pokud by toto vyjádření mělo spojitý charakter, odpadla by potřeba interpolovat tabulkové hodnoty při jejich vyhledávání, což by bylo potřeba při řešení prvním způsobem. Jako zdroj dat jsem využil tabulku vlhkého vzduchu v [2].

Na tomto místě je třeba uvést, že jsem ve zmíněné publikaci odhalil chybu v uvedeném množství vodní páry v m^3 při 20°C ve stavu nasycení. V [2] je uvedeno, že při 20°C je v 1m^3 vzduchu ve stavu nasycení obsaženo 18,29 g vodní páry. Tato hodnota je však ve vztahu k hodnotám při teplotách 19 a 21°C podivná. Na internetových stránkách TZB-info (viz [7]) je pro 20°C uveden údaj 17,30 g vodní páry, který se v kontextu jeví jako korektní. Hodnoty množství vodní páry v [2] pro ostatní teploty v použitém rozsahu jsou již správné.

Matematický vztah jsem se rozhodl hledat ve tvaru polynomu v proměnné t , aproximujícího hodnoty $\varrho_p''(t)$. Pro získání koeficientů polynomu jsem použil L_2 aproximace (metody nejmenších čtverců). Aproximaci jsem prováděl pro $t \in \langle -15; +40 \rangle^\circ\text{C}$. Nejprve jsem pomocí výpočetního skriptu Octave, který jsem za tímto účelem napsal, provedl aproximaci polynomem druhého a pak i třetího stupně. Tvary obou získaných polynomů jsou následující:

Polynom 2. stupně:

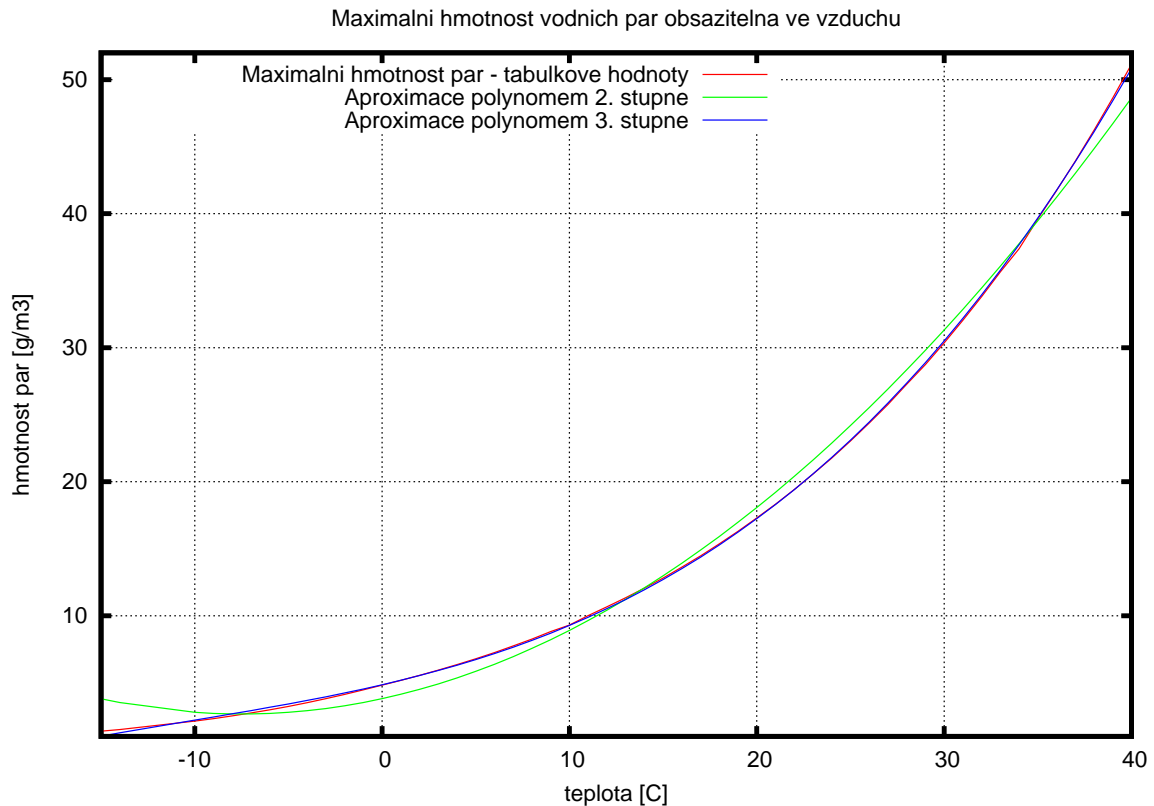
$$\varrho_p''(t) \hat{=} 0,020369(t)^2 + 0,305774(t) + 3,813661 \quad (3)$$

Polynom 3. stupně:

$$\varrho_p''(t) \hat{=} 0,0002930315(t)^3 + 0,0089180266(t)^2 + 0,3237624776(t) + 4,8543563652 \quad (4)$$

Na obrázku 2 na straně 17 jsou vykresleny tabulkové hodnoty a jejich aproximace. Výsledky hovoří ve prospěch polynomu 3. stupně, který je, jak se dalo předpokládat, přesnější. Dále jsem tedy se rozhodl pracovat s aproximujícím polynomem 3. stupně.

Maximální množství par, které může být obsaženo ve vzduchu o dané teplotě t je tedy možno v daném rozsahu t poměrně přesně zjistit dosazením této teploty do rovnice (4). Množství par, které je ve vzduchu aktuálně obsaženo pak získáme ze vztahu (2). Teplotu



Obrázek 2

rosného bodu pak zjistíme tak, že ve vztahu (4) dosadíme za $q_p''(t)$ aktuální množství páry získané pomocí vztahu (2) a pak hledáme takové t , pro které je rovnice splněna. Vzhledem k tomu, že aproximace $q_p''(t)$ je ve vztahu (4) popsána pomocí polynomu 3. stupně, bude mít naše rovnice 3. kořeny. Popisující polynom je však na celém definičním oboru rostoucí funkcí t a tak pouze jeden kořen bude reálný. Tímto kořenem je hledaná hodnota t .

Výše popsaný výpočetní postup jsem implementoval ve výpočetním a programovacím jazyce *Octave* vytvořil jsem funkci, jejímiž parametry jsou aktuální teplota a relativní vlhkost a návratovou hodnotou je teplota rosného bodu. Tato funkce je kompatibilní i s výpočetním prostředím *Matlab* a je součástí elektronické přílohy k práci. Funkce pro výpočet rosného bodu vykazuje dostatečnou přesnost pro teploty od -10°C do $+40^{\circ}\text{C}$, respektive pro maximální hmotnosti vodní páry odpovídající daným teplotám. Pro teploty nižší narůstá nepřesnost výpočtu způsobená nedokonalostí aproximace. Rosný bod má pak ve skutečnosti nižší hodnotu, než je vypočteno. Uvedený rozsah použitelnosti je však pro podmínky konventu plně postačující.

3 Návrh funkcí prototypu

3.1 Návrh měřicí části

Hlavními funkcemi prototypového měřicího zařízení by měl být sběr a vizualizace údajů o relativní vlhkosti a teplotě vně konventu a na ambitových chodbách ve všech patrech. Měření by mělo probíhat na všech místech současně s periodou vzorkování 5 až 10 minut, která se ze zkušenosti jeví jako postačující pro zachycení dynamiky systému.

Naměřená data by měla být ukládána ve formátu, který umožní jejich další zpracování, například textový soubor ve formátu csv. Prototypové zařízení by mělo umožňovat sledování vývoje měřených veličin na obrazovce, kde by obsluha měla informace nejen o hodnotách aktuálních, ale také minulých. Vzhledem k velkým rozměrům budovy konventu je obtížné zajistit měření na požadovaných místech pomocí jediného centrálního zařízení s čidly připojenými pomocí kabelů. Ideální by v tomto případě bylo použít čidla bezdrátová.

Pro pokrytí dvou měřicích míst v interiéru je však možno použít datalogery *MicroLog PRO EC750* značky *Fourier Systems*, které jsou ve vybavení kláštera. Tyto datalogery jsou kompaktní, bateriemi napájená zařízení s integrovaným teplotním a vlhkostním čidlem, dostatečnou paměťovou kapacitou a možností stahování naměřených dat do PC a jejich následný export do csv.

3.2 Návrh řídicí části

Z architektonických a finančních důvodů není možno řídit větrání v budově přímo například instalací servomechanizmů ovládajících okenní křídla v ambitech (a dveře v přízemí). Celkové automatické řízení větrání by zahrnovalo instalaci akčních prvků na cca 80 až 100 oken, což by byl i bez ohledu na již zmíněnou finanční stránku i velký zásah do vzhledu budovy. Za současné situace je výhodnější vytvořit formu poradního systému, pomocí kterého by obsluha (v tomto případě kastelán, průvodci či hlídači) určovala, zda jsou v danou chvíli povětrnostní podmínky pro větrání vhodné či ne. Otevírání či zavírání oken a dveří by následně bylo prováděno ručně.

Při domluvách s kastelánem, panem Pavlem Duchoněm, vyplynulo, že zmíněný poradní systém by měl být co nejjednodušší a v ideálním případě by měl mít formu malé papírové kartičky, určené hlavně pro hlídače, ze které by se dalo snadno zjistit zda větrat, či nevětrat. Požadavkem také bylo, aby vstupem tohoto „poradního systému“ byl co nejmenší počet veličin. Vytipování kritických veličin pak bylo cílem měření, které bylo prováděno během této práce.

4 Návrh technického řešení

V této části se budu věnovat vesměs návrhu měřicí části zařízení, která bude sloužit k získání dat pro vytvoření výše zmíněného „poradního systému“.

4.1 Micrology

Jak již bylo řečeno, datalogery *MicroLog PRO EC750* jsou kompaktní zařízení (velikosti hokejového puku) s velmi snadnou instalací na místo měření, dlouhou výdrž

a velkou pamětí. Pro stažení dat je však nutné měření přerušit a celý datalogger odnést k PC, což je nevýhodou tohoto zařízení. (Jako volitelné příslušenství je však možno dokoupit modul pro bezdrátový přenos dat.) Plaský klášter má k dispozici dvě tato zařízení, která jsou za normálních okolností využívána ke sledování klimatických podmínek v místnostech s instalovaným nábytkem. Na klášterním počítači je nainstalován i přehledný software pro stahování naměřených dat, který je schopen také dodatečně k danému měření vypočítat a zobrazit hodnoty rosného bodu.

Microlog je schopen pracovat v prostředí o teplotě -40°C až 80°C a relativní vlhkosti 0 až 100% (bez kondenzace). Teplota je měřena s rozlišením 0.1°C až 0.2°C (podle pracovních podmínek) a s přesností $\pm 0,2^{\circ}\text{C}$. Relativní vlhkost je měřena s rozlišením 0.1% a s přesností $\pm 3\%$.

4.2 Centrální zařízení

Další dvě měřicí místa, z toho jedno v exteriéru bylo nutno pokrýt zařízením, jehož návrh a realizace je předmětem této práce. Vzhledem k tomu, že zbývající dvě měřicí místa bylo možné zvolit tak, aby od sebe byla vzdálena nejvýše 10 metrů (Jedná se o ambitovou chodbu v prvním patře a měření venkovní teploty na vnějším obvodu budovy.) bylo možné použít koncepci jednoho centrálního zařízení s čidly připojenými kabelem. Jako centrální zařízení jsem zvolil průmyslový počítač WinCon. Důvody k této volbě byly následující:

1. Jedná se o mechanicky odolné a spolehlivé zařízení.
2. Běží na něm operační systém reálného času Windows CE.
3. I když je WinCon závislý na napájení ze sítě, v případě výpadku se ihned po obnovení dodávky proudu nastartuje. Navíc utilita ve WinConu umožňuje zadat seznam aplikací, které mají být spuštěny po startu operačního systému.
4. Wincon je možné vybavit řadou vstupních a výstupních modulů.
5. Vzhledem k tomu, že ve WindowsCE je nainstalován i Microsoft .NET Compact Framework 1.0, je možné napsat měřicí a vizualizační aplikaci například v jazyce C# ve vývojovém prostředí Visual Studio. Výše uvedená kombinace usnadňuje vývoj aplikace samotné a hlavně pak vývoj vizualizační části (grafického rozhraní). Díky této skutečnosti jsem také první verzi měřicí aplikace začal psát v rámci předmětu Programové prostředky řízení (KKY/PP).

4.3 Čidla

Dalším prvkem měřicí soustavy v 1. patře konventu jsou čidla samotná. Jak již bylo řečeno, je třeba měřit teplotu vzduchu a jeho relativní vlhkost. Z hodnot těchto veličin je pak možné určit i vlhkost absolutní (hmotnost vodní páry obsažené v jednom m^3 vzduchu) a rosný bod (teplotu, při které má daný vzduch 100%-ní relativní vlhkost). Při výběru čidel jsem se řídil následujícími kritérii:

- Vlhkostní čidlo musí být přesné. Většina nejrozšířenějších – kapacitních vlhkostních čidel v nižší cenové kategorii má přesnost $\pm 5\%RH$ (Relative Humidity),

což není zcela příznivá hodnota. Ovšem taková čidla se dají koupit i za 300 Kč. Problémem je ale samotné měření s nimi. – Bude rozvedeno níže.

- Vlhkostní čidlo musí být schopno pracovat i při vysokých vlhkostech a mít rychlou desaturaci. Pokud na takovém čidle zkondenzuje voda, je schopno měřit ihned po osušení (snížení relativní vlhkosti v prostředí tak, aby se voda odpařila).
- Čidla by měla být schopna spolupráce s WinConem. Výstup čidel by měl být napěťový a měřitelný pomocí modulu analogových vstupů WinConu (i-8017H). Pokud by čidla bylo možno napájet stejnosměrným napětím z modulu analogových výstupů WinConu (i-8024), umožnilo by to hardwarové zjednodušení celé měřicí soustavy a snížení počtu jednotlivých součástí. Kapacitní čidla zakoupená jako samostatné součástky musejí být napájena střídavým napětím a jako výstupní hodnotu je nutné měřit právě jejich kapacitu, která je závislá na RH, což klade zvláštní nároky na měřicí zařízení.
- Čidla musejí být dostatečně malá, aby jejich instalace nebyla v expozičních prostorách příliš nápadná a aby bylo možno čidlo pro měření venkovního vzduchu zabudovat do krytu proti přímému slunečnímu záření a dešti. V tomto směru je na trhu velké množství čidel.
- Cena čidel by neměla být příliš vysoká. Cenové rozpětí vlhkostních čidel na trhu se pohybuje od 300 do 4000 Kč. U teplotních čidel je rozptyl obdobný. Ceny se pohybují od desítek korun za termistory až po několik tisíc za odporové teploměry Pt100. Přesnost, trvanlivost a další kladné vlastnosti čidel jsou pochopitelně zohledněny v jejich ceně.

Čidla splňující výše uvedená kritéria jsem hledal v internetových obchodech a jako nejlepší variantu jsem vybral modul vyráběný firmou Humirel a prodávaný po internetu například firmou Conrad Elektronik.

4.3.1 Zvolené čidlo

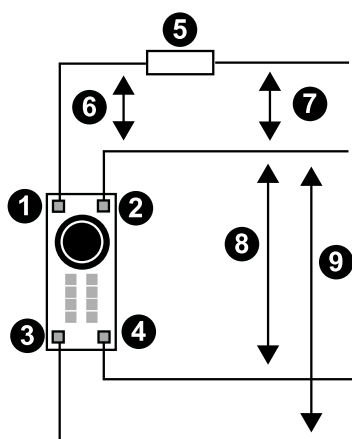
Jedná se o analogový modul HTM1735, který v sobě má zabudované kapacitní vlhkostní čidlo, termistor a podpůrnou elektroniku. Napájení vlhkostní části modulu je prováděno stejnosměrným napětím v rozsahu 4,75 až 5,25 Voltu (5V nejlépe).

Výstupem vlhkostního čidla je opět stejnosměrné napětí, které je přímo úměrné relativní vlhkosti a napájecímu napětí. Čidlo se vyznačuje vysokou linearitou, rychlou desaturací, schopností pracovat i ve vysoké relativní vlhkosti a přesností $\pm 3\%RH$ (hodnota udávaná v dokumentaci jako typická) až $\pm 5\%RH$ (maximální).

Termistor využívaný při měření teploty pak má odpor $10k\Omega$ při $25^{\circ}C$. Velikost jeho odporu v závislosti na teplotě jsou uvedeny v datovém listu, který je možno stáhnout na internetových stránkách výrobce, nebo na stránkách Conrad Elektronik. Pro účely měření pro moji bakalářskou práci byly Katedrou kybernetiky zakoupeny dva moduly HTM1735, každý za cca 1300 Kč.

4.3.2 Zapojení modulů

Na obrázku 3 na straně 21 se nachází schéma zapojení použitého čidla.



Obrázek 3: Schéma připojení modulu.

1 – NTC: vývod z jedné svorky termistoru; druhá svorka termistoru je napojena na zem (GND); 2 – GND: zem modulu; 3 – Vcc: svorka pro napájení vlhkostního čidla; 4 – Vout: svorka výstupu vlhkostního čidla; 5 – $1k\Omega$ rezistor; 6 – napětí na termistoru; 7 – napájecí napětí obvodu s rezistorem (5) a termistorem; 8 – výstupní napětí odpovídající relativní vlhkosti; 9 – napájecí napětí vlhkostního čidla

4.3.3 Převod napětí na RH

Převod výstupního napětí vlhkostního čidla na odpovídající hodnotu relativní vlhkosti je při nominální hodnotě napájecího napětí relativně snadný a uvedený v datovém listu k modulu. Z informací uvedených v dokumentaci plyne následující: Hodnota napětí 8 ve schématu na obrázku 3 (Vout) je přímo úměrná relativní vlhkosti vzduchu a velikosti napájecího napětí. Pro napájecí napětí $V_{cc} = 5V$ platí následující vztah:

$$V_{out} = 25,68 \cdot RH + 1079 \quad (5)$$

(pro Vout v mV a RH v procentech)

Z tohoto plyne pro výpočet RH další vztah, který je rovněž uveden v datovém listu:

$$RH = 0,03892 \cdot V_{out} - 41,98 \quad (6)$$

Pro jiné (obecné) hodnoty napájecího napětí V_{cc} lze tedy odvodit vztah, který již v datovém listu uveden není:

$$V_{out} = (25,68 \cdot RH + 1079) \cdot \frac{V_{cc}}{5}$$

Pro zjednodušení zápisu si $\frac{V_{cc}}{5}$ označím jako parametr p . Pak platí následující:

$$V_{out} = (25,68 \cdot RH + 1079) \cdot p$$

$$\frac{V_{out}}{p} = 25,68 \cdot RH + 1079$$

$$\frac{V_{out}}{p} - 1079 = 25,68 \cdot RH$$

$$\frac{V_{out}}{p \cdot 25,68} - \frac{1079}{25,68} = RH$$

Po zpětném rozepsání parametru p :

$$\frac{V_{out} \cdot 5}{V_{cc} \cdot 25,68} - \frac{1079}{25,68} = RH$$

Napájecí napětí V_{cc} na všech použitých napěťových svorkách modulu analogových výstupů bylo nastaveno na 5V. Při testování soustavy WinConu a čidel jsem naměřil (i s pomocí modulu analogových vstupů) skutečné hodnoty napětí $V_{cc} = 4,8V$. Pokud ve vztahu pro výpočet RH dosadím za V_{cc} 4,8V, dostanu vztah následující (pro V_{out} v mV a RH v procentech):

$$RH = 0.040563 \cdot V_{out} - 42$$

Pro V_{out} ve Voltech:

$$RH = 40.563 \cdot V_{out} - 42$$

Na tomto místě je třeba zmínit, že po nasazení měřicího zařízení do konventu jsem do konfiguračního souboru zadal (jak se ukázalo při revizi výpočtu během psaní textu bakalářské práce) chybné koeficienty pro převod výstupního napětí na relativní vlhkost. Tato chyba, která není nijak velká (WinCon zobrazuje hodnotu RH o necelá 2% nižší, než se správnými koeficienty, byla způsobena chybnou interpretací údajů v datovém listu, který se problematice použití napájecího napětí vlhkostního čidla různého od 5V věnuje jen velice stručně. Můj chybný postup vycházel ze vztahu (6) a ne z (5), jako postup správný:

$$RH = (0,03892 \cdot V_{out} - 41,98) \cdot \frac{5}{V_{cc}}$$

Odtud jsem pak pro $V_{cc} = 4.8V$ a V_{out} ve Voltech dostal chybné hodnoty koeficientů:

$$RH = 40.542 \cdot V_{out} - 43.729$$

Vzhledem k tomu, že měřicí program do výstupních souborů ukládá kromě přepočítaných hodnot také přímo naměřené hodnoty napětí, není obtížné správné hodnoty naměřených dat rekonstruovat přímo z nich, či k chybně přepočítané hodnotě přičíst 1,73. Je plánováno nechat WinCon v konventu měřit až do začátku června 2008. Z tohoto důvodu bude vhodné provést opravu koeficientů přímo ve WinConu výměnou konfiguračního souboru měřicího softwaru.

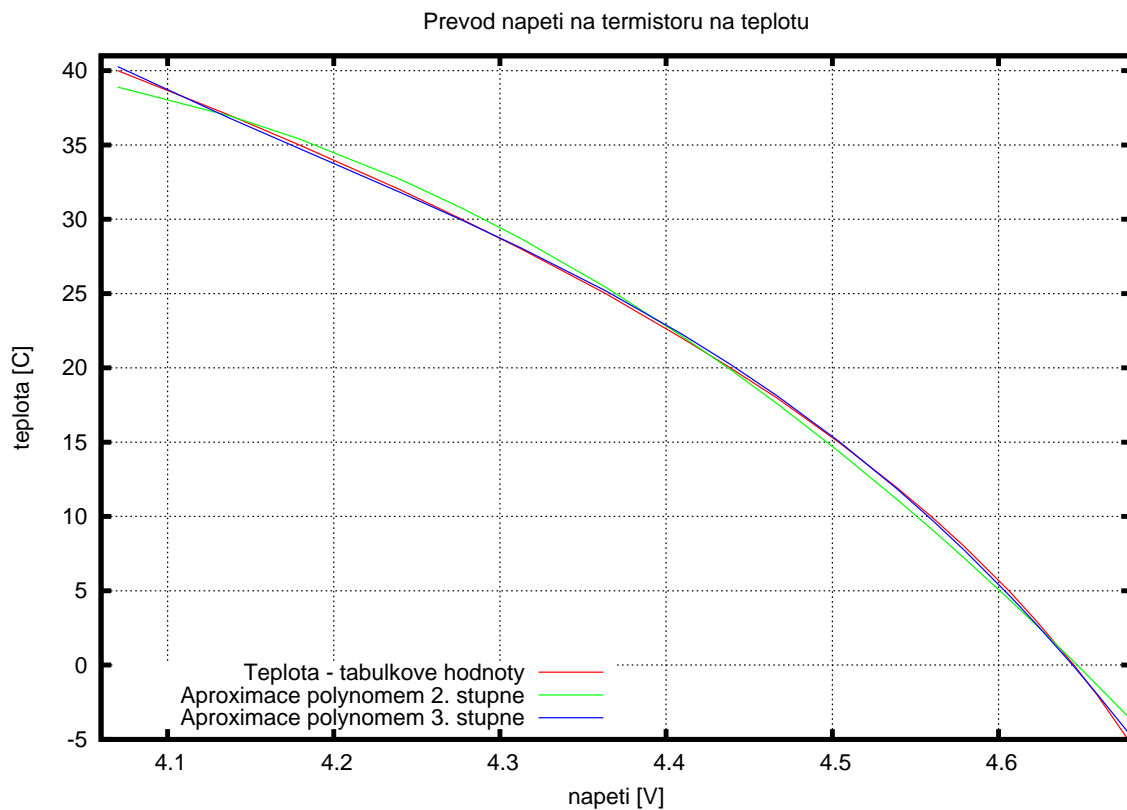
4.3.4 Převod napětí na teplotu

Dalším úkolem bylo nalézt matematickou funkci, která by popisoval vztah mezi naměřeným napětím na termistoru a teplotou tak, aby bylo možno přepočítávat napětí na teplotu přímo v softwaru běžícím ve WinConu. Pro tento účel by hledaná funkce měla být polynomem, nejlépe do 3. stupně. Koeficienty polynomu jsem se, obdobně jako pro výpočet rosného bodu, rozhodl hledat pomocí L_2 aproximace.

V datovém listu jsou tabelovány hodnoty odporu termistoru pro teploty od $-30^{\circ}C$ do $+80^{\circ}C$ s rozlišením $1^{\circ}C$ a i s uvedenou maximální velikostí odchylky způsobenou nepřesností termistoru.

Pro nalezení koeficientů polynomu jsem využil výpočetní program Octave. Do textového souboru jsem přepsal celkem 19 tabulkových hodnot teploty a příslušného odporu z rozsahu -5°C až $+40^{\circ}\text{C}$. Tento soubor pak byl zpracován pomocí vlastnoručně vytvořeného výpočetního skriptu, který provedl následující operace:

K načteným hodnotám odporu vypočetl příslušné hodnoty napětí na termistoru, které by byly naměřeny při jeho sériovém spojení s $1\text{k}\Omega$ rezistorem (jak je znázorněno na schématu 3) a napájením 4,8 Volty. Dále provedl pomocí metody nejmenších čtverců nalezení koeficientů polynomů 2. a 3. stupně, které aproximují průběh závislosti teploty na naměřeném napětí. Tyto koeficienty byly vypsány do textového souboru a byl vykreslen graf znázorňující úspěšnost aproximace. Tento graf je uveden na obrázku 4.



Obrázek 4

Z důvodu větší přesnosti jsem zvolil přepočítání z napětí na teplotu provádět pomocí polynomu 3. stupně. Tento polynom má následující tvar:

$$t(u_t) \hat{=} -132,375(u_t)^3 + 1664,710(u_t)^2 - 7026,600(u_t) + 9987,401 \quad (7)$$

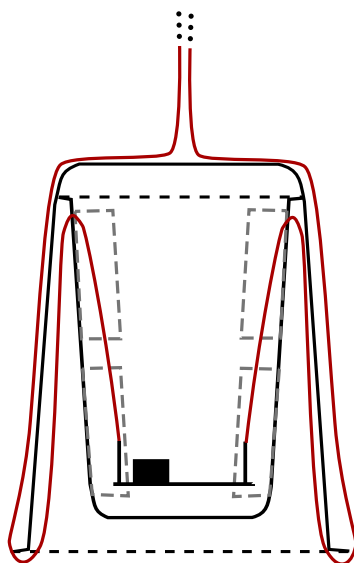
kde t je měřená teplota a u_t napětí na termistoru. Uvedený výpočet se i při revizi jeví v pořádku a správný.

4.3.5 Protidešťový kryt

Jak bude uvedeno později, v kapitole 4.5.1, WinCon byl během měření umístěn v prvním patře konventu, jedno z čidel bylo instalováno do ambitové chodby a druhé čidlo bylo využito pro měření teploty a vlhkosti vnějšího vzduchu. Kvůli ochraně před

přímým slunečním zářením a deštěm bylo nutno vnější čidlo zabudovat do krytu, který by jej dostatečně chránil a současně umožňoval vzduchu kolem něj proudit.

Jako materiál na výrobu krytu jsem použil dva kelímky od jogurtu: jeden malý a jeden velký. Tyto kelímky jsou do sebe vsazeny tak, jak je ukázáno na obrázku 5. Ve stěnách menšího kelímku jsou prořezány otvory umožňující jeho provětrávání. Vodiče (dvoužilové kabely) od modulu, který je vložen v menším kelímku, jsou z tohoto kelímku vytaženy dvěma z otvorů (každý na opačné straně) a následně jsou vedeny po vnější straně většího kelímku nahoru, kde jsou k sobě slepeny lepicí páskou. Větší kelímek je pak obalen bílým papírem a následně igelitovou fólií. Díky tomu, že shora nevede dovnitř krytu žádný otvor, je tak čidlo dobře zabezpečeno proti vniknutí dešťové vody.



Obrázek 5: Kryt vnějšího čidla

4.4 Obrazovka

Pro účel zobrazování měřených hodnot je k WinConu připojena osmipalcová dotyková obrazovka NAVILOCK.

4.5 Výběr měřicích míst

Při umisťování měřicích přístrojů v konventu bylo nutné brát v potaz následující faktory:

- **Bezpečnost zařízení:** Všechny části měřicího systému musejí být umístěny tak, aby byly těžko dostupné pro náhodné zloděje. Zařízení musejí být také zajištěna proti náhodnému poškození, například při úklidových, nebo stavebních pracích. Současně ale zařízení musejí být přístupná pro autorizovanou obsluhu.
- **Napájení:** Jak již bylo řečeno, WinCon je závislý na napájení ze sítě a je tedy nutné jej umístit k elektrické zásuvce alespoň na dosah prodlužovací šňůry.

- Estetická stránka: Součásti měřicího systému by měly do expozičních prostor zasahovat co nejméně. Expozičními prostorami je myšlena i přístupná část přízemní ambitové chodby a všechna křídla ambitové chodby v prvním patře kromě křídla severovýchodního. V žádném případě by neměly být přes expoziční prostory vedeny kabely, ať už by se jednalo o kabely k čidlům, či kabely napájecí. Návštěvníci by mohly o nekryté kabely vedoucí přes prohlídkovou trasu zakopnout a poranit se, případně poškodit zařízení. Jedinou myslitelnou variantou by bylo vést kabel při zdi, či pod kobercem.
- Schopnost získat potřebná data: V souladu s těmito všemi omezeními musejí být zařízení, respektive jejich čidla umístěna tak, aby se podařilo naměřit hodnoty teplot a vlhkostí jak vně budovy, tak i uvnitř v cestě proudícího vzduchu. Čidla nesmějí být v kontaktu se zdi.

Možnosti pro umístění zařízení v kombinaci jednoho WinConu se dvěma čidly a dvou klášterních Micrologů tedy byly následující:

Přízemí

Pro měření vlhkosti a teploty v přízemí by byl použit druhý Microlog. Část přízemního ambitu (30 metrů) je veřejně přístupná. Zbývající část je již součástí prohlídkové trasy a je přístupná pouze s průvodcem. Tato část je od části volně přístupné oddělena dřevěným zábradlím s vrátky. Při umísťování Micrologu do přízemního ambitu bylo nutné brát velký zřetel na bezpečnost zařízení. V úvahu tedy přicházelo upevnit Microlog na podpěrný trám hlavního schodiště u jižního zrcadla, kde by se nacházel ve volně nepřístupné části, či jej pověsit pod bezpečnostní kameru (asi 3 metry nad zemí) v rohu ambitu v blízkosti zábradlí. Tam by se nacházel sice v části přístupné, ale v dostatečné výšce na to, aby byl případný zloděj nápadný. Navíc by byla krádež kamerovým systémem zaznamenána z bezprostřední blízkosti.

Podle apriorních předpokladů by Microlog v každé z uvedených variant zaznamenával odlišné hodnoty v závislosti na svém umístění. Vzduch v oblasti vodního zrcadla bude chladnější a bude obsahovat více vody, než vzduch ve zbytku ambitu. Důležitou roli při zpracování dat z přízemního ambitu bude tak jako tak hrát jejich interpretace.

Jako nouzová možnost se jevílo umístění Micrologu v severovýchodním křídle ambitu, kde se nacházejí dílny údržby. V této variantě by odpadl bezpečnostní problém, protože dílny jsou od zbytku ambitu odděleny příčkou se zamykatelnými dveřmi. Nad příčkou je pak dostatečný prostor pro proudění vzduchu. Případný prach (například z truhlářské dílny) by ale mohl poškodit vlhkostní čidlo Micrologu.

První patro

Pro měření v prvním patře bylo plánováno použít WinCon. S ohledem na bezpečnost a estetickou stránku mohl být WinCon na dvou místech:

První možností byly expoziční místnosti knihovního křídla v severovýchodní části budovy. V úvahu by přicházel jak hlavní knihovní sál, tak přilehlá místnost s vystaveným nábytkem z pracoven opatů. Z těchto místností by pak bylo možno vytáhnout skrz dveře kabely na chodbu, kde by bylo na dveřích uchyceno čidlo pro měření vnitřní

teploty a vlhkosti, a skrz okno ven, kde by v protidešťovém krytu bylo z okna zavěšeno čidlo pro měření veličin vnějších. Výhodou tohoto místa by bylo to, že vnější čidlo by bylo po většinu dne ve stínu a měřilo by tedy teplotu objektivně. Nevýhodou je naopak to, že po zavírací době konventu jsou expoziční prostory procházeny hlídači se psy, a bylo by nutné zařízení zabezpečit tak, aby odolalo zvědavosti hlídačských psů. WinCon by navíc musel být napájen pomocí dlouhé prodlužovací šňůry.

Druhou možností pak byla místnost bývalé turistické pokladny v jihovýchodním křídle na východ od hlavního schodiště. WinCon by byl opět uvnitř místnosti a čidla vytažena ven na kabelech dveřmi a oknem. Díky svému dřívějšímu účelu je místnost vybavena elektrickými zásuvkami. Nevýhodou je to, že vnější čidlo by bylo v dopoledních hodinách osvětlováno Sluncem. Odpoledne by pak již bylo čidlo ve stínu vytvářeném rizalitem letního refektáře. Pokud se bude s tímto faktem počítat při interpretaci naměřených dat, neměl by být zdrojem problémů. Místnost navíc není součástí prohlídkové trasy a není procházena hlídači. Je osazena pohybovým čidlem alarmu a lze ji zamykat. Jedinou částí, kterou by měřicí přístroje zasahovaly do prohlídkové trasy je pak čidlo pro měření vnitřního vzduchu.

Druhé patro

Vlhkost a teplota v ambitu 2. Patra by byla měřena Micrologem zavěšeným na klice dveří v blízkosti hlavního schodiště. Tak by byl Microlog v dostatečné výšce od podlahy a dostatečně daleko od zdi, aby měřil teplotu a vlhkost vzduchu objektivně. Ve druhém patře navíc není třeba brát takový důraz na bezpečné umístění zařízení, protože je přístupné pouze autorizovanému personálu.

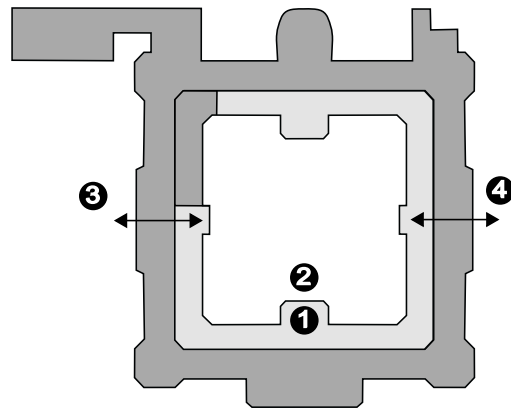
4.5.1 Finální umístění přístrojů

Po domluvě s kastelánem, panem Pavlem Duchoněm, jsme z výše uvedených variant zvolili místa, která, jak doufáme, jsou nejlepší z pohledu výše uvedených kritérií.

V přízemí jsme se rozhodli zavěsit Microlog na podpěrný trám schodiště. Pro tuto variantu jsem se rozhodl proto, že toto místo reprezentuje nejhorší podmínky, které se z hlediska obsahu vodních par ve vzduchu v konventu vyskytují. Pokud se správným větráním podaří udržet teplotu v tomto místě dlouhodobě a s dostatečným odstupem nad rosným bodem, půjde o znatelný úspěch. Navíc tak mohou být získána podpůrná data pro plánovanou rekonstrukci tohoto schodiště. Microlog visí na trámu ve výšce cca 2,5 m nad schodištěm.

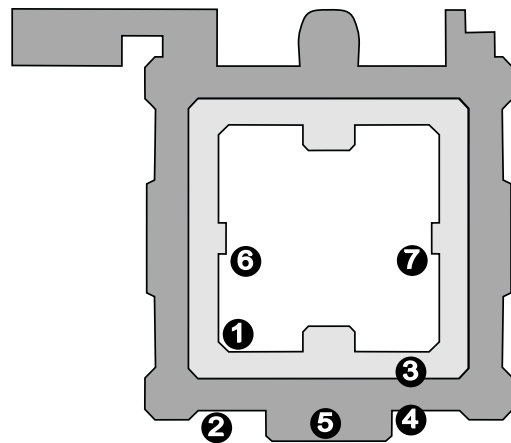
V prvním patře byl po zvážení kladů a záporů WinCon nainstalován do bývalé pokladny. Vzhledem k tomu, že se jedná o místnost, jejíž interiér a ani dveře nemají historickou hodnotu, bylo možno protáhnout kabely k čidlu na chodbě dírou v horním rohu zárubně dveří a čidlo na zárubeň uchytit. Do expozičních prostor tak zasahuje pouze minimální objem vybavení. Tím, že jsou kabely protaženy skrz zárubeň, nedochází k jejich skřípnutí při zavírání dveří. Navíc bylo možno dát do místnosti stůl, na kterém stojí WinCon i s monitorem, což usnadňuje obsluhu zařízení a nedostává se do něj prach. WinCon i monitor je pro jistotu napájen přes přepěťovou ochranu.

Ve druhém patře byl Microlog umístěn tak, jak je popsáno výše. V tomto případě nebylo třeba volit z různých variant a bylo možno přímo realizovat tu nejvýhodnější.



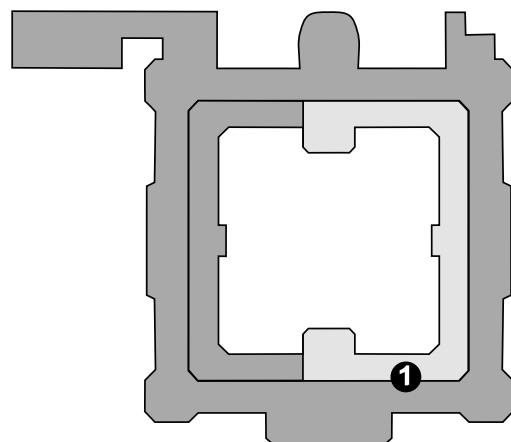
Obrázek 6: Přízemí (Části ambitové chodby průchozí pro vzduch jsou značeny světle šedě.)

1 – jižní zrcadlo, měření 1. Micrologem; 2 – umístění vnější části meteorologické stanice firmy SPELEO-Řehák; 3 – hlavní vchod; 4 – vrata do dílen údržby



Obrázek 7: První patro

1 – lihový teploměr umístěný zvenku na okně; 2 – čidlo vnější vlhkosti a teploty integrované do zabezpečovacího systému; 3 – vnitřní čidlo WinConu; 4 – vnější čidlo WinConu; 5 – letní refektář 6 a 7 – schodiště na rajský dvůr



Obrázek 8: Druhé patro s vyznačeným umístěním druhého Micrologu (1)

5 Realizace softwaru

5.1 Požadavky na software

Na software využitý pro měření pomocí WinConu jsou kladeny následující požadavky:

1. Program má být v první řadě spolehlivý. Plánuje se, že poběží nepřetržitě i několik týdnů.
2. Program musí být schopný běžet na libovolné adrese (v libovolné složce) ať již na CompactFlash paměťové kartě ve WinConu, nebo na USB Flash disku připojeném vně WinConu.
3. Software musí být schopen pracovat s modulem analogových vstupů (i-8017H) a modulem (i-8024) analogových výstupů zapojeným do WinConu.
4. Naměřené hodnoty napětí z výstupů čidel musejí být přepočítávány na hodnoty fyzikálních veličin, tedy teplotu a relativní vlhkost.
5. Na obrazovce připojené k zařízení musejí být zobrazovány aktuální i minulé hodnoty měřených veličin.
6. Čas sejmутí vzorku musí být synchronizován s hodinami WinConu tak, aby i v případě restartu měření (například následkem výpadku proudu) docházelo k sejmутí vzorku vždy ve stejný čas. Sejmутí vzorku musí být například prováděno každou pátou minutu hodiny bez ohledu na to, v jaký čas byl program spuštěn.
7. Při snímání vzorku musí být softwarově odstraněn šum měřicí karty, který zhoršuje přesnost měření.
8. Jak již bylo uvedeno výše, naměřené hodnoty by měly být ukládány ve formátu, který umožní jejich další zpracování a bude snadno čitelný. V této oblasti se jako velmi výhodný jeví textový soubor s daty oddělenými středníkem (comma separated values - csv).
9. Každý den by se měl pro ukládání dat zakládat nový soubor. Toto umožní lepší orientaci v naměřených datech, ale i zachování obsahu souborů z minulých dní v případě, že by při zápisu do souboru došlo k chybě, která by jeho obsah znehodnotila.
10. Musí být možné ukládat do souboru současně naměřené hodnoty napětí i vypočítané hodnoty měřených fyzikálních veličin.
11. Program musí umožňovat výběr složky, kam se budou naměřená data ukládat.

5.2 První verze - technologický test

Jak jsem již uvedl výše, první verzi aplikace pro měření s důrazem na analogový vstupní modul i-8017H jsem vytvořil jako semestrální práci z předmětu KKY/PP (Programové prostředky řízení) v pátém semestru. Tato verze programu byla schopna snímat napětí na svorkách vstupního modulu s předem danou periodou vzorkování. Získané

hodnoty napětí byly následně přepočítávány na základě koeficientů uložených v konfiguračním XML souboru. Hodnoty z kanálů (svorek), které byly v konfiguračním souboru označeny, byly následně vykreslovány do grafu v okně aplikace a současně ukládány do výstupního souboru na připojeném USB Flash disku, po blocích o velikosti definované v tomtéž konfiguračním souboru. Díky ukládání vzorků po větších blocích nedochází k tak častým zápisům na paměťové médium a to má vliv na zvýšení jeho životnosti. Původní verze programu již byla schopna pracovat s modulem analogových vstupů zasunutým do libovolného slotu WinConu a pro každý den měření vytvářela nový soubor.

Tato aplikace však nikdy při testech neběžela více než několik hodin a nikdy nebyla nasazena v reálných podmínkách. Během psaní této aplikace jsem se však naučil vytvářet programy pro WindowsCE.NET a WinCon tak, aby byly schopné pracovat s jeho specifickými hardwarovými vlastnostmi a zjistil, co je v rámci .NET Compact Framework realizovatelné. Podařilo se mi také získat příslib zapůjčení WinConu pro budoucí jarní měření v konventu.

5.3 Cesta k finální verzi

I přesto, že původní verze aplikace byla funkční a schopna měřit, její nasazení při skutečném měření by nebylo uspokojivé, hlavně kvůli převážně statickému vnitřnímu řešení a omezeným schopnostem přepočítávání naměřených hodnot napětí na hodnoty měřených fyzikálních veličin, což by výrazně ztěžovalo práci případné obsluze, která by sledovala obrazovku s vizualizací. Vizualizace by pak neplnila svůj hlavní účel, tedy zjednodušit obsluhu odečítání aktuálních hodnot sledovaných veličin. Navíc by každá případná úprava v programu, například kvůli budoucím čidlům, či vstupním / výstupním modulům byla velmi zdlouhavá a nesla by s sebou velké riziko zanesení chyb do programu.

Situaci jsem se rozhodl řešit kompletním přepsáním programu na základě znalostí získaných při jeho tvorbě. Nabízí se otázka, zda nebylo možné udělat program pořádně již od začátku. Mým názorem i v současné době zůstává, že možné by to bylo, ale tvorba takového programu by zabrala stejné množství času, jako cesta „dvoustupňového“ vývoje. Pokud totiž tvůrce programu nemá s danou platformou žádné předchozí zkušenosti, musí si jednotlivé funkce a způsoby nejdříve odzkoušet a najít nejlepší cesty, což by při tvorbě programu „načisto“ vyžadovalo například tvorbu několika menších programů pro otestování jednotlivých funkcí a vlastností.

5.3.1 Požadavky pro psaní .NET aplikací pro WinCon

Na tomto místě je vhodné zmínit se o tom, co je třeba k vývoji, odlaďování a finálnímu vydání .NET aplikací pro použité zařízení WinCon-8731 s operačním systémem Windows CE .NET 4.1.

Architektura .NET Framework (z dílny firmy Microsoft) využívá filozofie virtuálního stroje, který poskytuje prostředí (včetně knihoven) pro běh aplikací pro něj napsaných. Runtimeové prostředí .NET zajišťuje například správu paměti a tak zvyšuje i bezpečnost běžících aplikací.

Vzhledem k tomu, že verze operačního systému, která je v zařízení (Případně lze stáhnout na stránkách výrobce WinConu.) obsahuje platformu .NET Compact Fra-

mework verze 1.0, jsou na vývoj aplikací kladena jistá omezení. Ve verzi Compact (z důvodu úspory místa v externí paměti zařízení) nejsou obsaženy některé knihovny a funkce, které ve „velké“ verzi .NET Frameworku jsou. Navíc verze 1.0 je dnes již poměrně zastaralá. Nejnovější dostupná verze .NET Frameworku je v současné době verze 3.5.

Z důvodu jisté zastaralosti operačního systému a .NET Frameworku ve WinConu bylo nutné pro vývoj měřicího programu využívat také starší verzi vývojového prostředí, které bylo schopno pro danou verzi .NET Frameworku aplikace překládat. Použito bylo tedy vývojové prostředí Microsoft Visual Studio 2003. (V současné době je již vývojové prostředí ve verzi 2008, které je o dvě verze novější.) Dané vývojové prostředí pak již poskytuje všechny nástroje pro vývoj, odlaďování a finální sestavení aplikace.

Aby bylo možno ve Visual Studiu psát programy pro platformu WinCon, je nutné (nejlépe ze stránek výrobce), stáhnout softwarový vývojový balík (SDK) pro WinCon a příslušnou dokumentaci. Vývojový balík pak nainstalujeme podle instrukcí v dokumentaci.

Při zakládání projektu ve vývojovém prostředí pak zvolíme typ Smart Device Application pro platformu Windows CE. Po vytvoření projektu je pak třeba do referencí přidat odkaz na knihovnu Wincon.dll, která se nainstalovala spolu s SDK. Další informace týkající se postupů odlaďování a spouštění aplikací je již možno najít v dokumentacích k vývojovému prostředí, či k WinConu. Účelem této práce není být v této oblasti podrobným návodem.

5.4 Finální verze aplikace

Struktura finální aplikace využívá objektového přístupu. Hlavní třídou je WinConDevice, která představuje samotné zařízení WinCon. Stejně jako její hardwarový předobraz obsahuje WinConDevice pole slotů pro rozšiřující karty. Dále jsem pro použití v aplikaci vytvořil následující třídy:

MainForm

Třída oddělená od System.Windows.Forms.Form. Jedná se o okno grafického rozhraní, na kterém je umístěn graf zobrazující trend měřených veličin a textová pole s aktuálními hodnotami těchto veličin. Barvu čar a pozadí grafu a textových polí lze měnit v konfiguračním souboru.

Chart

Okno grafu oddělené od System.Windows.Forms.Panel. Tato třída slouží k vykreslování trendů měřených veličin. Velikost časového úseku, který je na grafu zachycen je možno specifikovat v konfiguračním souboru. MainForm a Chart jsou jedinými částmi aplikace, které má uživatel možnost při běhu přímo vidět. Vše ostatní se odehrává na negrafické úrovni.

IModule

Představuje virtuální vstupní modul a vytváří rozhraní pro komunikaci se vstupními moduly v rámci aplikace. nejedná se ale o interface v pravém slova smyslu.

I8217H

Jedná se o softwarový potějšek modulu analogových vstupů i-8017H. Třída I8217H je oddělena od IModule a implementuje funkce, které jsou specifické pro daný typ modulu.

IChannel

Tato třída představuje vstupní kanál modulu i-8017H. Původně jsem zamýšlel vytvořit ji tak, aby mohla přebírat funkce vstupního kanálu jakéhokoliv modulu, avšak vzhledem k časovým nárokům a nepotřebnosti takového řešení pro mé měření jsem od tohoto záměru upustil.

V současné verzi aplikace je tedy každý z osmi vstupních kanálů modulu i-8017H představován instancí třídy IChannel, která je vybavena funkcí ke snímání vzorku z příslušného kanálu a získané hodnoty jsou pak udržovány přímo v instancích IChannelu, kde je možno k nim přistupovat pomocí metody `ShowSample()`.

Při testech měření s čidly, prováděných před samotnou instalací zařízení, jsem zjistil, že napětí na termistoru mezi jednotlivými vzorky znatelně „šumí“. Vlivem šumu by měření dosahovalo přesnosti $\pm 2^\circ\text{C}$, což je naprosto nepostačující. Vše nasvědčovalo tomu, že šum je generován někde uvnitř měřicího obvodu a nikoli okolím, má nulovou střední hodnotu a vysokou frekvenci. Situaci jsem následně vyřešil tak, že v čas určený pro sejmутí vzorku se ze všech vstupů (i pro RH) provede rychle za sebou série měření a vypočte se aritmetický průměr každého vstupu, a dále se pracuje s touto hodnotou. Zda se má toto „průměrování v bodě“ provádět, je možno nastavit v konfiguračním souboru. Dílčí vzorky jsou pak snímány s periodou 10 ms v počtu stanoveném v konfiguraci. Při měření v konventu je průměr vytvářen z 10 dílčích vzorků a dosahuje se tak přesnosti zhruba $\pm 0,3^\circ\text{C}$, což je postačující.

ISignal

Představuje vstupní signál. Hodnota vstupního signálu může v daný okamžik záviset na hodnotách z více vstupních kanálů. Signál také umožňuje přepočítávat naměřenou hodnotu napětí (hodnotu z příslušného kanálu) na hodnotu měřené fyzikální veličiny. Předpis pro tento přepočet má následující tvar:

$$\text{Hodnota signálu} = \frac{\sum_i k_i \cdot h_i^{m_i}}{\sum_j k_j \cdot h_j^{m_j}} \quad (8)$$

Každý signál má definován počet koeficientů ve jmenovateli (i) a v čitateli (j). Ve výše uvedeném vztahu představuje h hodnotu naměřenou na příslušném kanálu (Jeden kanál může být použit ve více koeficientech.), m mocninu této hodnoty a k násobek. Hodnoty m a k jsou definovány v konfiguračním souboru. Z uvedeného vyplývá, že hodnotu signálu je možno získat jako podíl polynomů, jejichž proměnnými jsou hodnoty příslušných kanálů. Aktuální vypočtená hodnota signálu je uchovávána v příslušné instanci třídy spolu s hodnotami minulými. Velikost bloku uchovávaných hodnot závisí na velikosti bloku vzorků pro ukládání a pro vykreslování definované v konfiguračním

souboru. Uvedené platí i pro velikost bloku uchovávaných hodnot v instancích třídy IChannel.

MeasurementControl

Třída MeasurementControl hlídá časování měření a případnou synchronizaci s hodinami. Ve správný čas pak MeasurementControl vynucuje sejmutí vzorků. Zajišťuje také časování zápisů naměřených dat do výstupních souborů. Funkcí této třídy je v současné verzi aplikace také ovládání modulu analogových výstupů i-8024. Po spuštění aplikace jsou aktivovány všechny čtyři napěťové výstupy modulu i-8024 a napětí na nich je nastaveno na 5V. Toto je pevně nastaveno na úrovni zdrojového kódu a není tedy ovlivnitelné v konfiguračním souboru. Toto řešení jsem použil převážně z časových důvodů a v případě rozšiřování aplikace by bylo lepší pracovat s výstupním modulem analogicky jako s modulem vstupním, který je představován vlastní třídou a jeho vlastnosti je možno nastavit. Pevné nastavení parametrů ve zdrojovém kódu však s sebou nese jisté výhody spočívající v bezpečnosti. Žádnou manipulací s konfiguračním souborem nelze například způsobit zvýšení napětí na napájecích svorkách, které může nabývat až 10V a zničit tak připojená čidla.

Report

Třída report zajišťuje zápis naměřených dat do výstupních souborů. Zápis se provádí buď v bloku vždy po naměření specifikovaného počtu vzorků, nebo při zavírání programu. V případě zápisu při zavírání programu se uloží všechny dosud neuložené vzorky. Každý den se zakládá nový výstupní soubor a data se zapisují ve formátu csv (comma separated values). Na začátku každého výstupního souboru jsou nadepsány sloupce tohoto souboru. Hodnoty definovaných kanálů a signálů získané v jeden čas jsou pak vypisovány vždy na stejné řádce, která začíná datem a časem získání vzorku.

Settings

Settings je třída, která načítá nastavení z konfiguračního souboru. Je využívána téměř všemi ostatními třídami v programu. Vyhledávání a načítání nastavení je řešeno tak, že každý objekt v aplikaci, který nějaké nastavení načíst potřebuje, zavolá metodu třídy Settings, které jako parametr předá své umístění v aplikaci (například 4. koeficient 2. signálu) a položku, jejíž hodnotu chce z konfiguračního souboru zjistit (například mocninu). Podle tohoto umístění se pak nalezne třída Settings požadovanou hodnotu položky a objektu ji vrátí. Konfigurační soubor z důvodu organizace položek využívá formát xml a cestu pro vyhledání požadované položky v souboru nazývám XRL – Xml Resource Locator.

Pro bližší pochopení funkce XRL, či programu jako celku doporučuji nahlédnout přímo do zdrojových kódů aplikace, které jsou součástí elektronické přílohy této práce. Instrukce k použití konfiguračního souboru aplikace jsou obsaženy v okomentované verzi tohoto souboru taktéž obsaženého v elektronické příloze.

6 Experimentální ověření

Tato část se věnuje průběhu samotného měření, zpracování a zhodnocení jeho výsledků.

6.1 Instalace zařízení

Dne 13. dubna 2008 jsem za asistence pana Duchoně nainstaloval do budovy konventu všechna měřicí zařízení způsobem, který je uveden v části 4.5.1 na straně 26. Za čas počátku měření na všech přístrojích je možno považovat 15:30, kdy byla všechna zařízení již v chodu a došlo k odeznění „počátečních podmínek“ vzniklých při jejich instalaci (například zahrátím čidel rukou při jejich instalaci). Kalibraci čidel WinConu jsem prováděl při testování doma a následně i při instalaci v konventu pomocí domácí meteorologické stanice a digitálního teploměru, které byly vždy umístěny spolu s čidly na tepelně izolované podložce. Měřené hodnoty napětí odpovídající teplotě a RH byly v dobré shodě s údaji na kalibračních zařízeních. Chyba měření relativní vlhkosti způsobená chybným přepočtem (viz část 4.3.3 na straně 21) byla v rozsahu měřicí chyby většiny přístrojů a proto jsem ji při kalibraci neodhalil.

Oba Micrology byly nastaveny na měření teploty a relativní vlhkosti s periodou vzorkování 10 minut. WinCon až do 7:20 dne 16. dubna běžel v testovacím režimu s periodou vzorkování 2 minuty a zaznamenával pouze výstupní napětí měřená na čidlech, představující vnější a vnitřní teplotu a relativní vlhkost. Od 7:25 dne 16. dubna pak WinCon již provádí přepočty teplot a relativních vlhkostí podle koeficientů v konfiguračním souboru a do souborů výstupních ukládá jak napětí, tak hodnoty přepočtené. Perioda vzorkování byla prodloužena na 5 minut.

6.2 Zkouška spolehlivosti

Měření bylo provázeno řadou obav. Předně jsem měl obavy o spolehlivost měřícího programu a protidešťového krytu. Další nejistota byla způsobena povědomím o občasných výpadcích proudu v konventu. Celá měřicí soustava se však nakonec ukázala jako velice spolehlivá. Za celou dosavadní dobu měření došlo k jedinému výpadku proudu (23. dubna mezi 5:25 a 6:20), který způsobil ztrátu cca 1 hodiny naměřených dat, která v tu dobu byla jen v operační paměti WinConu. Po obnovení dodávky proudu se WinCon i program sám nastartoval a pokračoval v měření sejmutím vzorku v 6:25.

Jako slabý článek měřicí soustavy se nakonec ukázal Microlog umístěný ve 2. patře, který po stažení dat dne 7. května odmítal přijmout nové nastavení a začít znovu měřit. Toto přičítám již slabé baterii v tomto Micrologu. Patrně ze stejného důvodu vykazují jím naměřená data poněkud vyšší RH a nižší teplotu, než by na daném stanovišti měla být. podle údajů z tohoto Micrologu by ve 2. patře bylo obsaženo více vodní páry, než u vodního zrcadla, což se zdá nerealistické. Pokud se povede tento Microlog znovu nastartovat, bude přesnost jeho měření podrobena bližšímu zkoumání.

6.3 Získaná data

Na následujících stranách 36 až 39 jsou uvedeny grafy relativních vlhkostí a teplot v jednotlivých patrech konventu tak, jak byly v průběhu měření zaznamenány jednotlivými zařízeními. Grafy z Micrologů začínají o půlnoci (v 00:00) 14. dubna 2008. (14.

duben je nultým dnem na grafech.) Grafy z WinConu začínají o půlnoci (také v 00:00) 17. dubna 2008. (17. duben je třetím dnem na grafech.) Všechny grafy končí dne 6. května ve 23:55. Ačkoliv data z ambitové chodby ve druhém patře nejsou patrně v absolutních hodnotách správné, poskytují dobrý obraz o teplotních vlhkostních výkyvech a vlivu větrání na ně během jednotlivých dní.

Teplotní špičky, které se na grafech z ambitových chodeb objevují téměř každý den, jsou způsobeny osvětlením Sluncem, zapadajícím nad severozápadním křídlem budovy. Čidlo na vnějším obvodu bylo naopak osvětlováno vždy několik hodin po východu Slunce.

Na grafech z přízemí a druhého patra, které jsou vytvořeny z dat naměřených Micrology, jsou uvedeny dvě hodnoty rosného bodu. První z nich je vypočtena softwarem Microlab, dodávaném k Micrologům pro stahování a zobrazování dat. Druhá je pak vypočtena pomocí mnou vytvořené funkce pro program Octave. Hodnoty vypočtené mojí metodou až na drobný offset přesně kopírují hodnoty z Microlabu. Příčinu tohoto offsetu se mi nepodařilo zjistit, protože tyto hodnoty vycházejí i při ručním přepočtu pomocí tabulky v [2].

6.3.1 Záznamy o větrání

Po dobu měření zachyceného na grafech bylo v konventu prováděno větrání podle původních pravidel uvedených v části 1.3 na straně 12. Zde jsou uvedeny záznamy o větrání během sledovaného období zaznamenaného na grafech. Jde o přepis z „větracího deníku“, který byl během měření v konventu zaveden.

- 20. dubna 2008 (6. den na grafech):
14:30 – Otevřena okna v ambitu ve druhém a v prvním patře severovýchodního křídla konventu. Dveře byly otevřené již předtím.
15:25 – Zavřena všechna okna. Dveře zůstávají otevřené.
- 21. dubna 2008 (7. den na grafech):
13:40 – Otevřena okna v ambitu ve 2. patře severovýchodního křídla konventu. Otevřeny dveře.
15:30 – Zavřena všechna okna, zavřeny dveře
- 24. dubna 2008 (10. den na grafech):
14:15 – Otevřeno 10 oken v SV křídle ambitové chodby ve 2. patře. Okna zavírají hlídači kolem 18. hodiny večer. Stejně tomu je i ve všech následujících případech.
- 26. dubna 2008 (12. den na grafech):
13:05 – Otevřeno 15 oken v SV křídle ambitové chodby ve 2. patře. Venkovní dveře (hlavní vchod v přízemí) otevřeny ve 12:50.
- 27. dubna 2008 (13. den na grafech):
14:20 – Otevřeno 15 oken v SV křídle ambitové chodby ve 2. patře. Venkovní dveře otevřeny v cca 11:30.
- 28. dubna 2008 (14. den na grafech):
14:30 – Otevřeno 14 oken v SV křídle ambitové chodby ve 2. patře. (Pro tento a následující dny chybí údaje o otevírání dveří.)

- 3. května 2008 (19. den na grafech):
11:30 – Otevřeno 10 oken v SV křídle ambitové chodby ve 2. patře.
- 4. května 2008 (20. den na grafech):
10:10 – Otevřeno 15 oken v SV křídle ambitové chodby ve 2. patře.

V následujících dnech, které již nejsou zachyceny na uvedených grafech, byla otevírána okna ve druhém i prvním patře. Vzhledem k tomu, že měření stále probíhá, není možné do této práce uvést nejaktuálnější výsledky. Za tímto účelem informace o probíhajícím měření umisťuji na své internetové stránky věnované tomuto projektu, jejichž adresa je <http://control.kx.cz/airflow/>. Zde je možno najít informace o výzkumu z předchozích let a také aktuální informace o současném měření. Veškerá data získaná a zpracovaná k danému dni, jsou součástí elektronické přílohy této práce.

6.3.2 Zajímavé povětrnostní podmínky

Na grafech je zachyceno několik zajímavých povětrnostních situací:

- Zvýšení rosného bodu vnějšího vzduchu vlivem oteplení (převážně zvýšení nočních teplot) od 19. do 22. dubna (5. až 8. den na grafech). Zvýšením vnější teploty došlo ke zvýšení výparu vody do ovzduší.

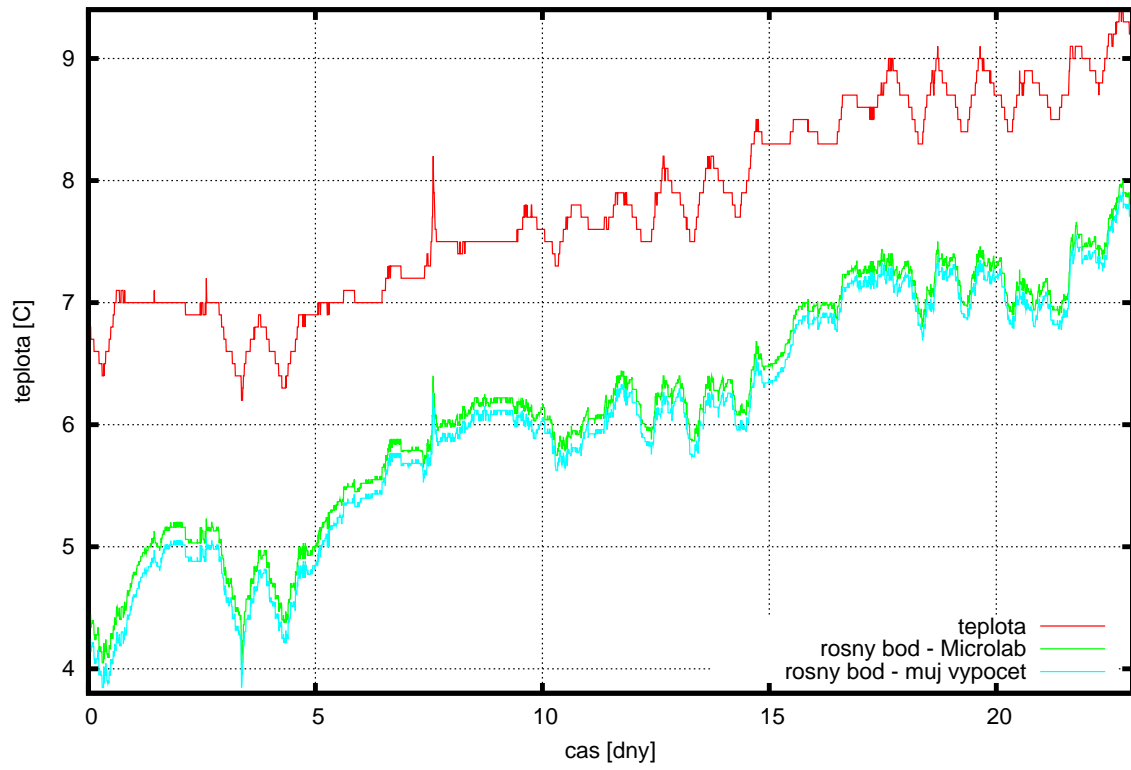
Krátkým otevřením oken ve dnech 20. a 21. dubna tedy došlo ke zvýšení vlhkosti vzduchu v budově konventu.

- Následuje vlna suššího vzduchu od 23. do 28. dubna (9. až 14. den na grafech). Tyto dny bylo větráno často. Podařilo se mírně snížit vlhkost vzduchu (absolutní i relativní) a zvýšit teplotu ve všech patrech budovy.

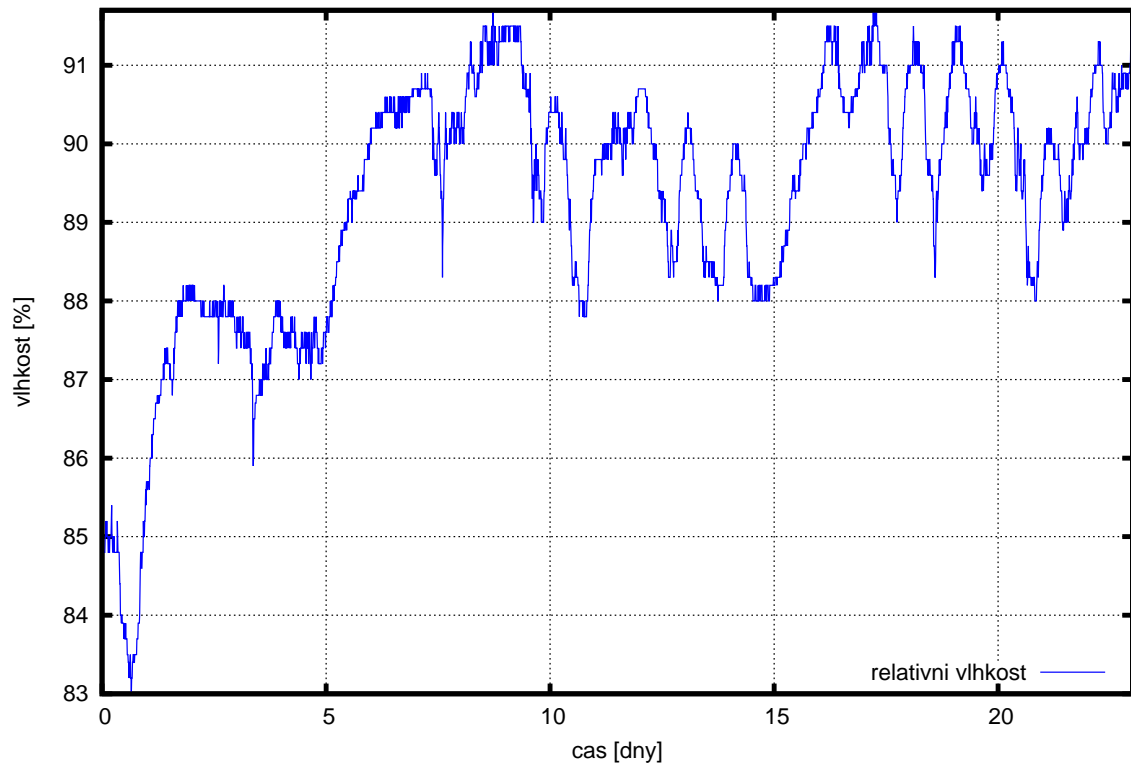
- Po tomto období a celodenních srážkách 29. dubna následuje opět zvýšení obsahu vodný páry ve vzduchu, které je dočasně přerušeno dne 4. května (20. den na grafech).

Dne 29. dubna (15. den na grafech) je patrný velký nárůst vlhkosti vzduchu v budově (absolutní i relativní) i přesto, že byla okna zavřena. Naopak dne 4. dubna (20. den na grafech) dochází vlivem vstupu velmi suchého vzduchu do budovy k výraznému snížení absolutních i relativních vlhkostí ve všech patrech budovy. V následujících dnech však vlhkost opět stoupá.

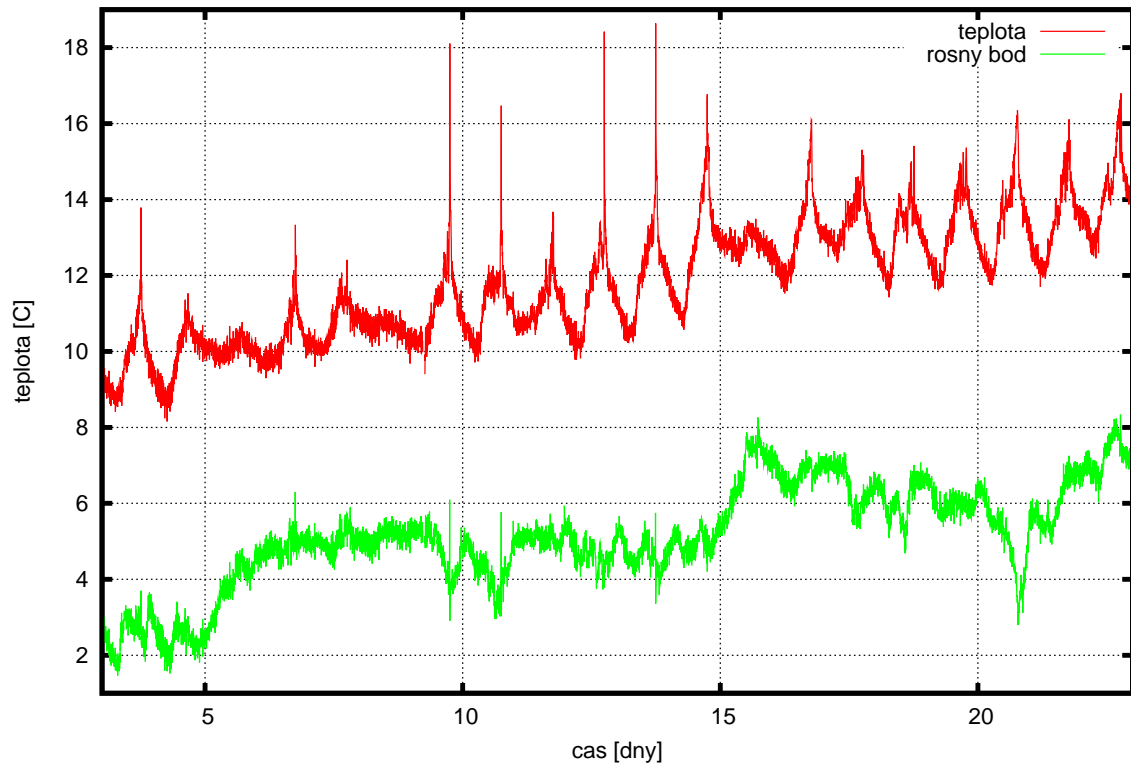
prizemi - u jizniho zrcadla



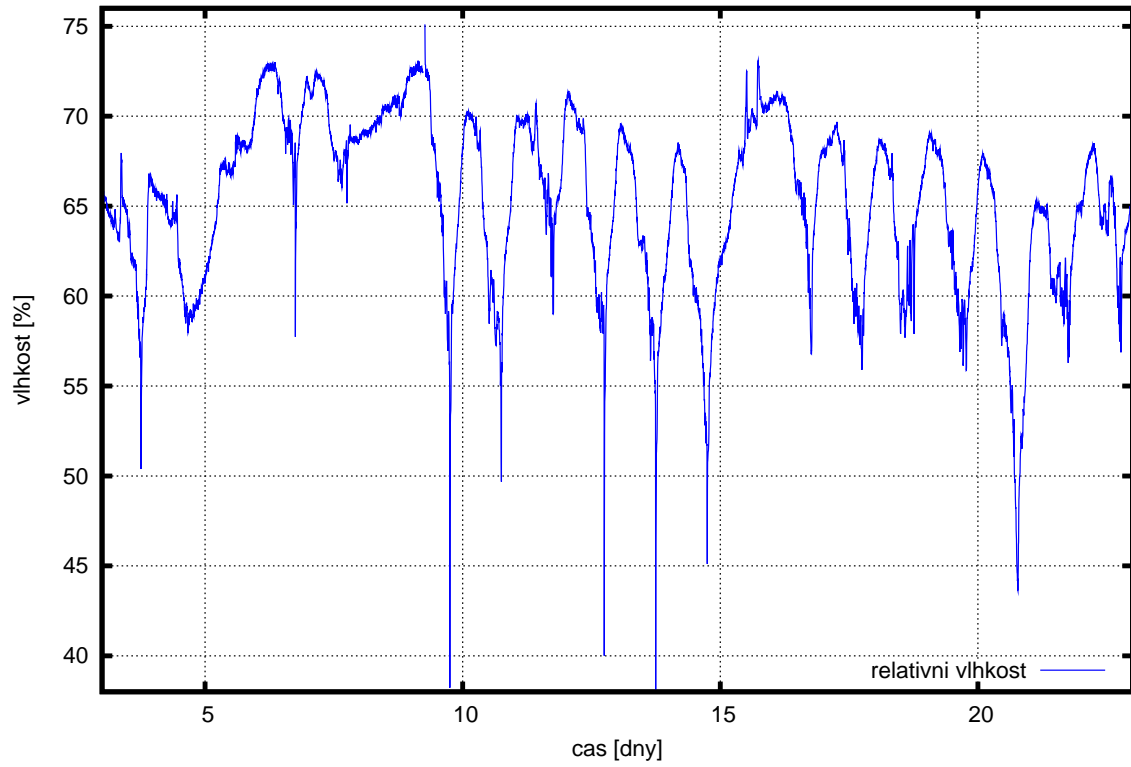
prizemi - u jizniho zrcadla



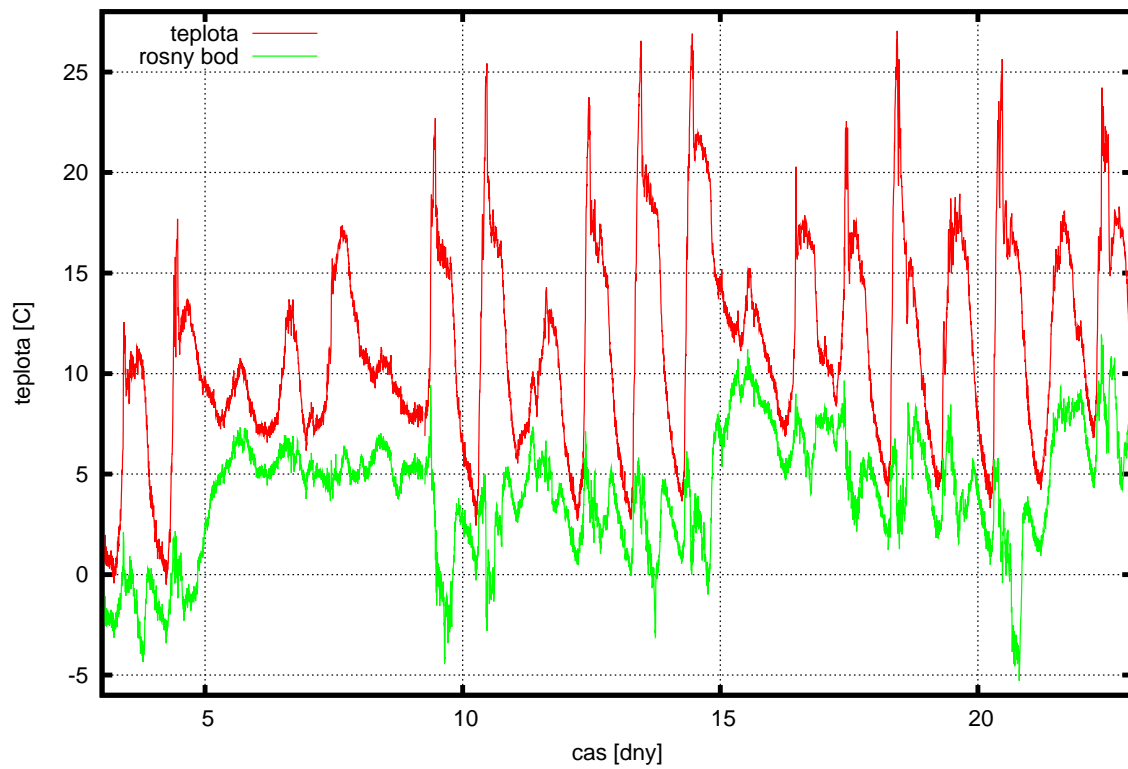
1. patro - ambitova chodba



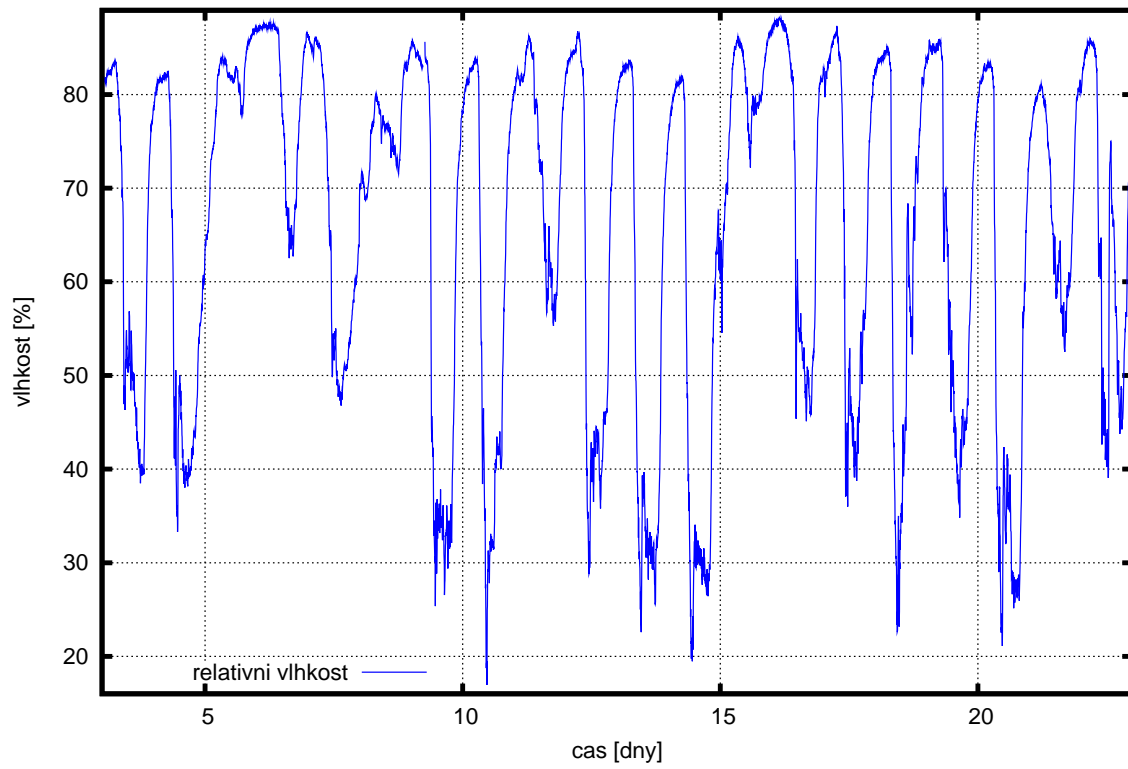
1. patro - ambitova chodba



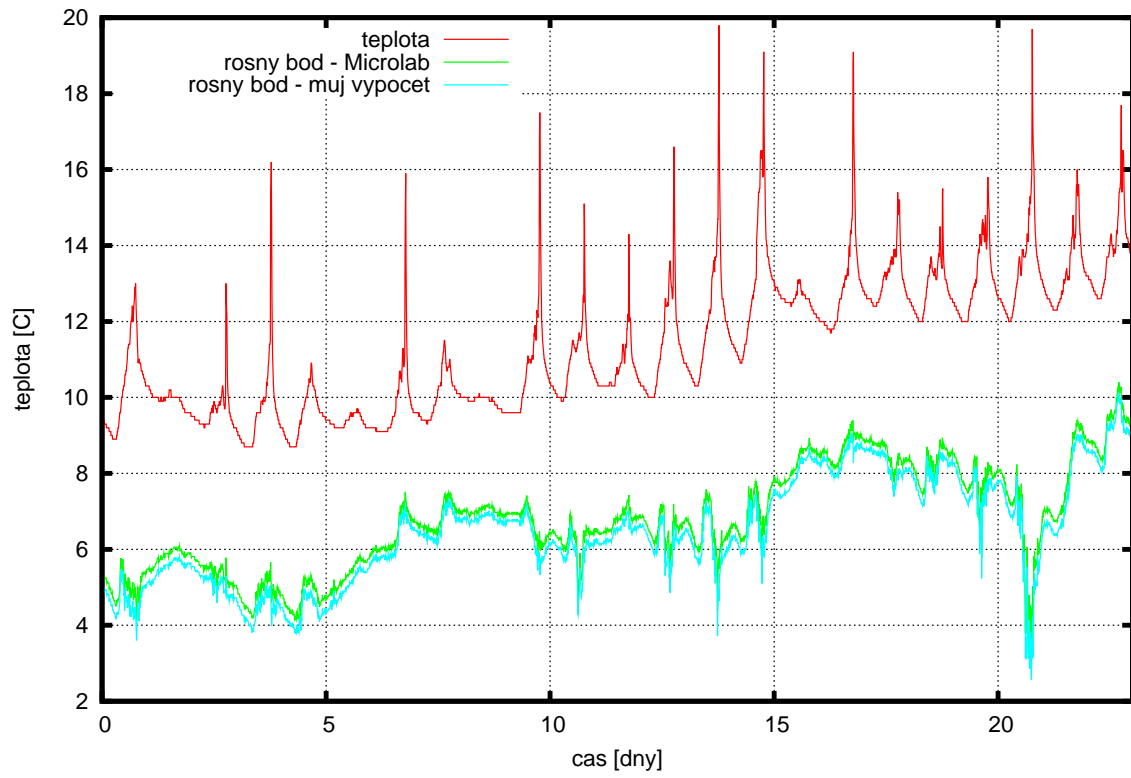
1. patro - vnejsi obvod



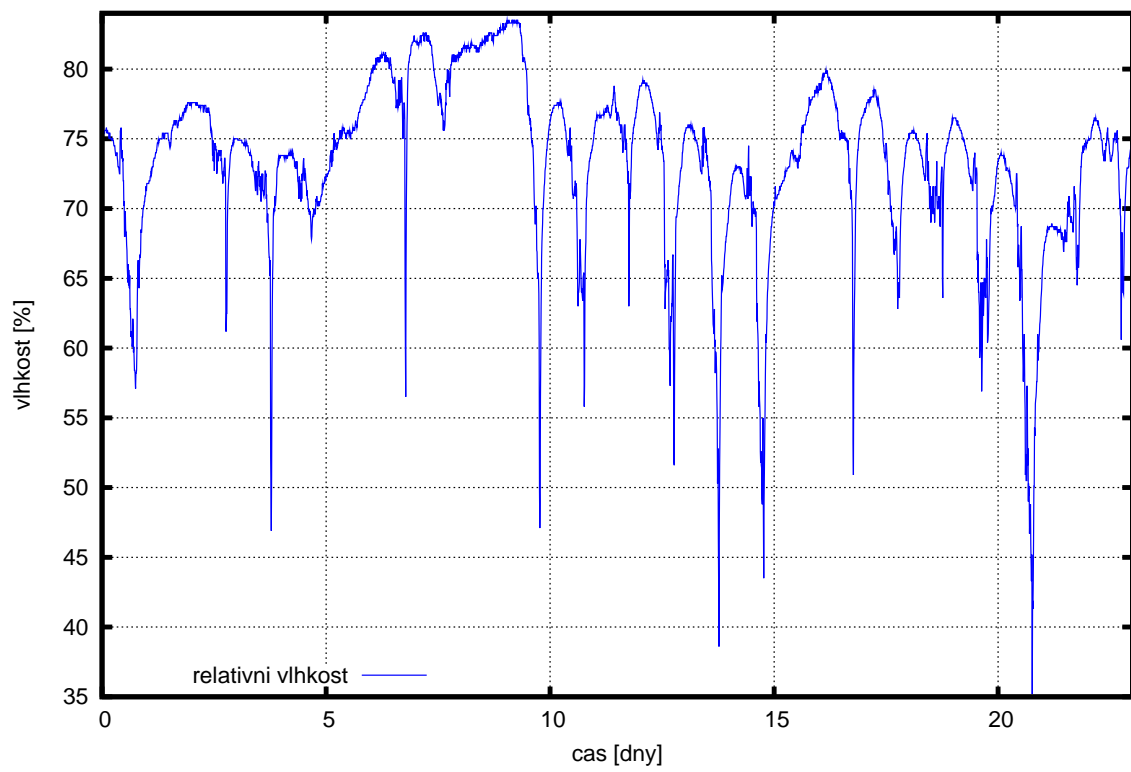
1. patro - vnejsi obvod



2. patro - ambitova chodba



2. patro - ambitova chodba



6.4 Nová pravidla pro větrání

Na základě provedených měření a pozorování vnějších povětrnostních podmínek a jejich vlivu na vnitřek budovy konventu jsem vytvořil sadu pravidel pro větrání, jejichž cílem je současně zvyšovat teplotu a snižovat vlhkost v budově:

1. Pro zahájení větrání, či pokračování v něm musejí být všechna následující kritéria splněna.
2. Vstupní (vnější) vzduch musí mít vyšší teplotu, než nejteplejší vzduch uvnitř budovy.¹
3. Rosný bod vnějšího vzduchu musí mít nižší hodnotu, než je teplota nestudenějšího místa v cestě proudícího vzduchu uvnitř budovy. (Rosný bod vnějšího vzduchu musí mít nižší hodnotu, než je teplota u vodních zrcadel)

Poslední pravidlo je ještě možné „zesílit“ tak, že zde nebude uvažována teplota nejstudenějšího místa, ale teplota rosného bodu vzduchu v nejstudenějším místě. Použití těchto kritérií by v budoucnu mělo minimalizovat vpouštění vlhkého nebo studeného vzduchu do budovy a maximalizovat využití vzduchu suchého a teplého. V současné době ještě nemám dostatek experimentálních dat k určení výhodnosti větrání pomocí oken v různých patrech budovy.

6.5 Poradní tabulka

Vyhodnocení splnění druhého kritéria je poměrně snadné. Stačí porovnat teplotu vzduchu ve druhém patře a teplotu vnějšího vzduchu. Vyhodnocení splnění druhého kritéria je již složitější a neobejde se bez určité formy výpočtu. Jak je již uvedeno v části 3.2 na straně 18, snahou bylo učinit vyhodnocování co nejjednodušší. Pro tento účel jsem se rozhodl vytvořit tabulku, ve které by bylo možno určit rosný bod vzduchu z jeho teploty a relativní vlhkosti. Pro vytvoření tabulky jsem napsal výpočetní skript pro program Octave. Tento skript využívá již vytvořené funkce pro výpočet rosného bodu a je schopen vytvářet tabulky pro zadaný rozsah teplot a relativních vlhkostí s volitelným krokem. Tabulka uvedená v této práci na straně 41 má z prostorových důvodů následující parametry:

- Rozsah teplot od 10 do 30 °C s krokem 1 °C
- Rozsah relativních vlhkostí od 25 do 88% s krokem 7%

Rosný bod vzduchu se tak nachází na řádku s teplotou a sloupci s relativní vlhkostí tohoto vzduchu. Pokud bychom třetí kritérium pro větrání používali v jeho slabší verzi, rozhodování o jeho splnění by vypadalo následovně: V tabulce bychom uvedeným způsobem našli rosný bod vnějšího vzduchu. Pokud je toto číslo nižší, než teplota u zrcadel, kritérium je splněno a je možné větrat. V opačném případě je lepší nechat okna zavřená. Při použití silnější verze kritéria bychom porovnávali rosný bod vzduchu vnějšího a vzduchu u zrcadel.

¹Podle předpokladů by mělo být nejtepleji ve druhém patře. Měření probíhající v tomto místě však bylo ovlivněno nesprávně fungujícím Micrologem a tak tento předpoklad nemohu potvrdit.

Tabulka pro zjištění rosného bodu

$t \backslash RH$	25,0	32,0	39,0	46,0	53,0	60,0	67,0	74,0	81,0	88,0
30,0	6,9	10,8	13,9	16,6	18,9	21,0	22,9	24,6	26,2	27,7
29,0	6,1	9,9	13,1	15,7	18,0	20,1	21,9	23,7	25,2	26,7
28,0	5,2	9,1	12,2	14,8	17,1	19,2	21,0	22,7	24,3	25,7
27,0	4,4	8,2	11,3	13,9	16,2	18,3	20,1	21,8	23,3	24,7
26,0	3,5	7,3	10,4	13,0	15,3	17,3	19,1	20,8	22,3	23,8
25,0	2,6	6,4	9,5	12,1	14,4	16,4	18,2	19,9	21,4	22,8
24,0	1,8	5,6	8,6	11,2	13,5	15,5	17,3	18,9	20,4	21,8
23,0	0,9	4,7	7,7	10,3	12,6	14,5	16,3	17,9	19,4	20,8
22,0	-0,0	3,8	6,8	9,4	11,6	13,6	15,4	17,0	18,5	19,8
21,0	-0,9	2,8	5,9	8,5	10,7	12,7	14,4	16,0	17,5	18,9
20,0	-1,8	1,9	5,0	7,5	9,8	11,7	13,5	15,1	16,5	17,9
19,0	-2,6	1,0	4,1	6,6	8,8	10,8	12,5	14,1	15,6	16,9
18,0	-3,5	0,1	3,1	5,7	7,9	9,8	11,6	13,1	14,6	15,9
17,0	-4,3	-0,8	2,2	4,7	6,9	8,9	10,6	12,2	13,6	14,9
16,0	-5,2	-1,7	1,2	3,8	6,0	7,9	9,6	11,2	12,6	13,9
15,0	-6,0	-2,6	0,3	2,8	5,0	6,9	8,7	10,2	11,6	13,0
14,0	-6,8	-3,5	-0,6	1,9	4,0	6,0	7,7	9,2	10,7	12,0
13,0	-7,5	-4,4	-1,5	0,9	3,1	5,0	6,7	8,3	9,7	11,0
12,0	-8,2	-5,2	-2,5	-0,0	2,1	4,0	5,7	7,3	8,7	10,0
11,0	-8,9	-6,0	-3,4	-1,0	1,2	3,0	4,7	6,3	7,7	9,0
10,0	-9,6	-6,8	-4,2	-1,9	0,2	2,1	3,8	5,3	6,7	8,0

6.6 Shrnutí výsledků

Dosavadní výsledky dosud probíhající práce považuji za úspěšné. V rámci této bakalářské práce jsem úspěšně navrhl a realizoval zařízení pro měření teploty a relativní vlhkosti vzduchu vně i uvnitř budovy konventu plaského kláštera. Následně jsem toto zařízení nainstaloval do konventu, kde spolu s klášterními zařízeními již více než měsíc běží a zaznamenává zmíněné veličiny vnějšího i vnitřního vzduchu.

Po zpracování dosud naměřených dat jsem vypracoval novou sadu pravidel pro větrání v konventu. Používání těchto pravidel (kritérií) by mělo vést ke snížení vlhkosti a zvýšení teploty v budově v jarním a letním období. Aby bylo pro obsluhu možno vyhodnocovat splnění kritérií bez provádění výpočtů, vytvořil jsem tabulku, pomocí které je možno požadovanou informaci velmi snadno zjistit. Celý „poradní systém“, jehož vytvoření bylo cílem této práce je pak možno umístit na jednu stranu papíru A4.

V budoucnu bude moci být do konventu nainstalováno elektronické zařízení, sledující směrodatné veličiny a využívající pravidla vytvořená v této práci, které bude obsluhu signalizovat, zda je výhodné či nutné okna otevřít, nebo zavřít.

Všechna dosud naměřená data, zdrojové kódy mnou vytvořených programů a výpočetních skriptů použitých v této práci, fotodokumentace a datové listy použitých čidel jsou součástí elektronické přílohy. Nejaktuálnější informace o měření jsou zveřejňovány na mých internetových stránkách <http://control.kx.cz/airflow/>.

Reference

- [1] Josef Řehák sen., Josef Řehák jun. Nové poznatky o vodním systému kláštera v Plasích. v *Plaský klášter a jeho minulý i současný přínos pro kulturní dějiny*. 1. vyd. [s.l.] : [s.n.], [2005]. s. 39-48.
- [2] Josef Kalčík, Karel Sýkora: *Technická termomechanika*, Academia Praha (1973)
- [3] Josef Řehák sen.: *Klášter Plasy: Odvodňovací a zavodňovací systém: Speleologický průzkum: druhá část*, 1994
- [4] Josef Řehák sen.: *Klášter Plasy: Odvodňovací a zavodňovací systém: Speleologický průzkum: čtvrtá část*, 1996
- [5] Josef Řehák sen.: *Klášter Plasy - Fotodokumentace*, 1998
- [6] Josef Řehák sen.: *Klášter Plasy - NKP: Vodní a větrací systém: Speleologický průzkum 2006*, Semily 2006
- [7] *TZB-info : stavebnictví, úspory energií, technická zařízení budov* [online]. 2001-2008 [cit. 2008-05-18]. Dostupný z WWW: <http://www.tzb-info.cz>
- [8] *GEMA ART GROUP* [online]. [2008] [cit. 2008-05-18]. Dostupný z WWW: <http://www.gemaart.cz>
- [9] *Projekt Bibliografické citace* [online]. [2004-2008] [cit. 2008-05-18]. Server pro generování bibliografických citací v korektním formátu. Dostupný z WWW: <http://www.citace.com>
- [10] *TFA Dostmann* [online]. [2008] [cit. 2008-05-18]. Internetové stránky výrobce meteorologických stanic pro převážně domácí použití. Dostupný z WWW: <http://www.tfa-dostmann.de>
- [11] *Conrad.cz* [online]. [2008] [cit. 2008-05-18]. Internetové stránky zásilkového obchodu s elektronikou a elektronickými součástkami. Dostupný z WWW: <http://www.icpdas.com>
- [12] *Microsoft Developer Network* [online]. [2008] [cit. 2008-05-18]. Dostupný z WWW: <http://www.msdn.com>
- [13] *ICP DAS* [online]. [2008] [cit. 2008-05-18]. Internetové stránky výrobce WinConu. Dostupný z WWW: <http://www.icpdas.com>
- [14] Průvodcovské texty a interní dokumenty plaského kláštera