

**ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
FAKULTA ELEKTROTECHNICKÁ**

KATEDRA TECHNOLOGIÍ A MĚŘENÍ

DIPLOMOVÁ PRÁCE

Měření mikroklimatu v dozvukové komoře

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
Fakulta elektrotechnická
Akademický rok: 2018/2019

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE
(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Bc. Anežka RUNTOVÁ**
Osobní číslo: **E17N0027P**
Studijní program: **N2612 Elektrotechnika a informatika**
Studijní obor: **Komerční elektrotechnika**
Název tématu: **Měření mikroklimatu v dozvukové komoře**
Zadávající katedra: **Katedra technologií a měření**

Z á s a d y p r o v y p r a c o v á n í :

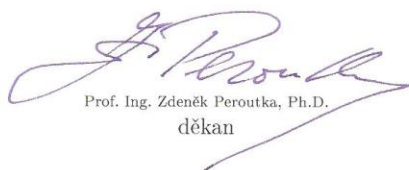
1. Seznamte se s dokumentací k dozvukové komoře a provedením klimatizace.
2. Navrhněte vhodnou metodu pro měření rozložení teploty a vlhkosti v dozvukové komoře.
3. Navrženou měřicí metodu realizujte, proveďte měření a naměřená data vyhodnoťte.

Rozsah grafických prací: podle doporučení vedoucího
Rozsah kvalifikační práce: 40 - 60 stran
Forma zpracování diplomové práce: tištěná/elektronická
Seznam odborné literatury:

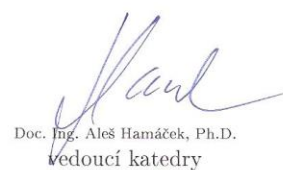
1. Norma ČSN EN ISO 7726
2. Ripka, R., Ďaďo, S., Kreidl, M., Novák, J.: Senzory a převodníky, ČVUT, Praha, 2005

Vedoucí diplomové práce: Ing. Martin Sýkora, Ph.D.
Katedra technologií a měření

Datum zadání diplomové práce: 5. října 2018
Termín odevzdání diplomové práce: 30. května 2019


Prof. Ing. Zdeněk Peroutka, Ph.D.
děkan




Doc. Ing. Aleš Hamáček, Ph.D.
vedoucí katedry

V Plzni dne 5. října 2018

Abstrakt

Předkládaná diplomová práce je zaměřena na zjištění reálného stavu mikroklimatu v dozvukové komoře. Důvodem měření bylo zjistit, do jaké míry se odchyľují naměřené hodnoty od původních a předem nastavených podmínek. Informace o stavu mikroklimatu v komoře je žádaná z toho důvodu, aby bylo možné, zajišťovat neměnné podmínky po celou dobu některých měření (například při měření doby dozvuku), čímž se zajistí i opakovatelnost měření. Měření klimatických podmínek bylo provedeno pomocí kombinovaných senzorů, které snímaly teplotu a relativní vlhkost uvnitř dozvukové komory. Mikroklimatické podmínky byly měřeny po ustálení vzduchu v komoře a také při působení ovlivňujících faktorů. Naměřené hodnoty byly navíc porovnávány s informacemi, které udává ovládací jednotka vzduchotechniky, aby se tak ověřilo, že klimatizační jednotka sděľuje reálná data.

Klíčová slova

dozvuková komora, mikroklima, teplota, relativní vlhkost, klimatizační jednotka, kombinované senzory teploty a vlhkosti

Abstract

The presented master thesis is focused on finding the real situation of the microclimate in the reverberation chamber. The reason for this measurement was to determine, how much the measured values divert from the original and pre-set conditions. Information about the microclimates situation in reverberation chamber are important for ensure constant conditions throughout some measurements (e.g. reverberation measurement), thereby is assurance repeatability of the measurements. Measurement of climatic conditions was performed by using combined temperature and relative humidity sensors, which are located inside the reverberation chamber. The microclimate was measured after stabilizing the air in the chamber and also during the influence of some factors. In addition, the measured values are compared with the information given by the air conditioning control unit to verify, that the air conditioner gives real data.

Key words

reverberation chamber, microclimate, temperature, relative humidity, air conditioning unit, combined temperature and humidity sensors

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou práci vypracoval samostatně, s použitím odborné literatury a pramenů uvedených v seznamu, který je součástí této diplomové práce.

Dále prohlašuji, že veškerý software, použitý při řešení této diplomové práce, je legální.

.....
podpis

V Plzni dne 27.5.2019

Anežka Runtová

Poděkování

Ráda bych touto formou vyjádřila velké poděkování vedoucímu diplomové práce Ing. Martinovi Sýkorovi, Ph.D. za užitečné profesionální rady, cenné zkušenosti a metodické vedení práce. A v neposlední řadě můj vděk dále patří mé rodině a přátelům, kteří mě po celou dobu studia podporovali.

Obsah

OBSAH	8
ÚVOD	9
SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK	10
1 DOZVUKOVÉ KOMORY	11
1.1 PRINCIP DOZVUKOVÝCH KOMOR.....	12
1.2 VYUŽITÍ DOZVUKOVÝCH KOMOR.....	13
1.3 PARAMETRY A NORMY.....	14
1.3.1 Objem dozvukové místnosti.....	15
1.3.2 Tvar dozvukové místnosti.....	15
1.3.3 Teplota.....	15
1.3.4 Relativní vlhkost.....	15
1.3.5 Korekce na změnu pohltivosti vzduchu.....	15
1.3.6 Difuzory.....	16
1.4 FAKTORY OVLIVŇUJÍCÍ MIKROKLIMA KOMORY.....	16
1.5 DOZVUKOVÁ KOMORA FEL.....	17
1.5.1 Klimatizační systém.....	18
2 MIKROKLIMA	20
2.1 DŮVODY MĚŘENÍ MIKROKLIMATU.....	21
2.2 MĚŘENÉ PARAMETRY.....	21
2.3 MĚŘENÍ TEPLoty.....	21
2.3.1 Teploměrné stupnice.....	22
2.3.2 Senzory teploty.....	22
2.3.3 Vlastnosti senzorů teploty.....	23
2.4 MĚŘENÍ VLHKOSTI VZDUCHU.....	24
2.4.1 Senzory vlhkosti.....	25
3 MĚŘICÍ PŘÍSTROJE	28
3.1 DIGITÁLNÍ MĚŘICÍ TECHNIKA.....	28
3.2 STAV MĚŘICÍCH SYSTÉMŮ NA TRHU.....	29
4 PRAKTICKÁ ČÁST	30
4.1 MĚŘICÍ PŘÍSTROJ AHLBORN.....	30
4.1.1 Konektory.....	33
4.1.2 PC program Almemo Control 6.0.....	34
4.2 KOMBINOVANÁ ČIDLA.....	35
4.2.1 Senzor FH A646 – 1.....	35
4.3 PŘÍPRAVA MĚŘENÍ.....	37
4.3.1 Zjištění technického stavu senzorů.....	37
4.3.2 Rozmístění senzorů.....	40
4.4 ZAHRNUTÍ OVLIVŇUJÍCÍCH FAKTORŮ.....	41
4.5 VYBRANÉ MĚŘICÍ METODY.....	42
4.5.1 Měření č. 1.....	43
4.5.2 Měření č. 2.....	43
4.5.3 Měření č. 3.....	43
4.6 VÝSLEDKY MĚŘENÍ.....	44
4.6.1 Měření č. 1.....	44
4.6.2 Měření č. 2.....	48
4.6.3 Měření č. 3.....	50
4.7 ZHODNOCENÍ.....	59
5 ZÁVĚR	61
SEZNAM LITERATURY A INFORMAČNÍCH ZDROJŮ	63
PŘÍLOHY	1

Úvod

Měření se dotýká téměř každé části každodenního života a také je důležitou činností ve vědě, technice a v mnoha dalších odvětvích. Měření, která se týkají mikroklimatu, se provádí velmi často a to hlavně z toho důvodu, aby se zajistily komfortní podmínky pro lidi, případně pro uskladnění různých materiálů, potravin či speciálních předmětů. V rámci této diplomové práce se bude měření mikroklimatu využívat k ověření teplotních a vlhkostních podmínek ve speciální akustické místnosti - dozvukové komoře.

Motivací pro zpracování předkládané diplomové práce bylo zjistit reálný stav mikroklimatu v dozvukové komoře, protože právě změny teploty a relativní vlhkosti mohou mít velký vliv na průběh měření v této komoře. Je nutné docílit vyhovující opakovatelnosti určitých měření právě udržením neměnných podmínek mikroklimatu. V některých případech je ovšem poměrně těžké udržet takto neměnný stav v průběhu celého měření. Problém nastává ve chvíli, kdy je nutné do místnosti vejít a přeorganizovat prováděné měření, čímž se mikroklima uvnitř prostoru změní. Úkolem této práce je tedy zjistit do jaké míry se mohou hodnoty teploty a relativní vlhkosti odchýlit od původního a požadovaného stavu při působení některých faktorů. Další záležitostí, kterou je třeba objasnit, je relevantnost udávaných informací o teplotě a relativní vlhkosti uvnitř komory ovládací jednotkou klimatizace. Cirkulační jednotka má umístěné senzory teploty a vlhkosti v místech vedení potrubí, ale v dozvukové komoře již žádné další senzory umístěné nejsou a hodnoty mikroklimatu v komoře ovládací jednotka pouze dopočítává.

Text diplomové práce je rozdělen do čtyř částí; první pojednává o dozvukových komorách, druhá část popisuje pojem mikroklima, třetí kapitola podává informace o měřicích přístrojích pro zjišťování teploty a vlhkosti okolí a čtvrtá část diplomové práce se zabývá zvolenými měřicími metodami pro zjištění stavu mikroklimatu v dozvukové komoře na fakultě elektrotechnické Západočeské univerzity v Plzni a vyhodnocením jejich výsledků. Závěrečné zhodnocení je provedeno analyzováním dat ze senzorů a také jejich porovnáním s hodnotami udávanými ovládací jednotkou klimatizace.

Seznam symbolů a zkratek

l_{\max}	.....vzdálenost dvou krajních bodů v místnosti [m]
A_T	.....ekvivalentní pohltivá plocha [m ²]
V	.....objem prázdné dozvukové místnosti [m ³]
c_1	.....rychlost šíření vzduchu při teplotě t_1 [m*s ⁻¹]
c_2	.....rychlost šíření vzduchu při teplotě t_2 [m*s ⁻¹]
T_1	.....doba dozvuku prázdné dozvukové místnosti [s]
T_2	.....doba dozvuku dozvukové místnosti po vložení zkušební vzorku [s]
m_1	.....součinitel útlumu vzduchu, vypočítaný podle ISO 9613-1 s ohledem na klimatické podmínky, které panovaly v prázdné dozvukové místnosti během měření [m ⁻¹]
m_2	.....součinitel útlumu vzduchu, vypočítaný podle ISO 9613-1 s ohledem na klimatické podmínky, které panovaly v prázdné dozvukové místnosti s vloženým vzorkem [m ⁻¹]
α	.....součinitel útlumu [dB/km]
t	.....teplota [°C]
T	.....teplota [K]
RH	.....relativní vlhkost [%]
v_a	.....rychlost proudění vzduchu v místnosti [m*s ⁻¹]
NTC	.....negastor
PTC	.....pozistor
R_0	.....odpor při 0°C [Ω]
α	.....součinitel odporu [%]
Y	.....transformovaná veličina v časově ustáleném stavu / vstupní signál
f	.....funkce
X	.....měřená veličina
H	.....množství vody []
t_a	.....suchá teplota [°C]
t_w	.....mokrá teplota [°C]
CO ₂	.....oxid uhličitý
VZT	.....vzduchotechnika a klimatizace

1 Dozvukové komory

Jak název napovídá, jedná se o místnost, která je co nejvíce uzpůsobená tomu, aby její stěny, strop a podlaha co nejméně absorbovaly zvuk, čímž zajistí velmi dlouhou dobu dozvuku. Je toho docíleno nejen díky holým a lesklým povrchům stěn a stropu v komoře, ale dále samotným vzduchem vyplňující prostor a také pomocí předmětů, které jsou v místnosti umístěny. Správná konstrukce těchto komor zajistí mnohonásobný odraz zdroje zvuku od stěn a předmětů v komoře, což má za následek rovnoměrné rozptýlení zvuku uvnitř komory. Zvukové pole v dozvukové komoře se poté takřka blíží difuznímu poli. Na vlastnosti difuzního pole se dále zaměřuje následující podkapitola 1.1. Příklad, jak může vypadat dozvuková komora, je vidět na Obr. 1, kde je ukázka dozvukové komory na fakultě elektrotechnické Západočeské univerzity v Plzni.



Obr. 1.: Akustická laboratoř - dozvuková komora FEL ZČU (převzato z [1]).

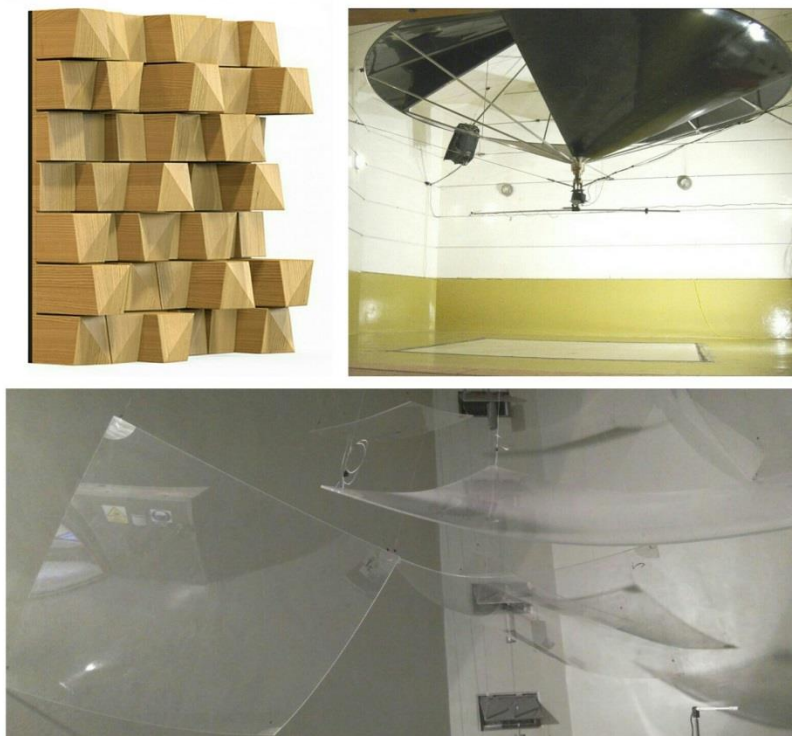
V anglicky psaných textech můžeme nalézt dva možné překlady dozvukové komory a to „*reverberation chamber*“ nebo také „*echo chamber*“. Tento druhý typ překladu se ale užívá spíše v hudební branži jako výraz pro místnost, ve které se nahrává. Pro účely vědeckého měření v komorách je tedy vhodnější používat první překlad.

1.1 Princip dozvukových komor

Důvod, proč dozvukové komory velice dobře odrážejí zvuk, je ten, že povrchy stěn jsou vyrobeny z vysoce odrazivých materiálů. Změna akustické impedance, kterou ve srovnání se vzduchem, tyto materiály představují, je tak velká, že téměř veškerá akustická energie, která dopadá na povrch, se odráží zpět do místnosti, a tudíž stěny pouze v malé míře pohlcují energii a přeměňují ji na teplo. Důsledkem je zmenšení energetických ztrát při měření v dozvukové místnosti, než tomu je ve venkovním prostoru, a proto je zvuk v komoře vnímán s větší hlasitostí.

Pohltivá vlastnost materiálů ovlivňuje hladinu akustického tlaku a následné doznívání zvuku v uzavřeném prostoru, neboli dobu dozvuku, která je značena jako T , udává se v [s] a popisuje, za jaký čas od vypnutí zdroje zvuku došlo k poklesu hladiny akustického tlaku o 60 dB. Protože je pohlcování zvukové energie obvykle závislé na úhlu dopadu zvuku na materiál, jsou povrchy stěn a stropu v komoře uspořádány tak, aby zajistili nesymetrické rozměry komory, a tudíž náhodný dopad zvukových vln. Vzhledem k tomu, že v typicky uzavřených prostorách je rozložení úhlů dopadu značně nepředvídatelné, tak se pro účely normalizace využívá jako základ rovnoměrné úhlové rozložení [2]. Tím, že se vlny několikanásobně odrazí od stěn v místnosti, dojde k rovnoměrnému rozložení akustického tlaku, a tudíž v každém bodě uzavřeného prostoru vznikne stejná intenzita akustického tlaku. [3] Je-li navíc v těchto místnostech akustická intenzita nezávislá na místě v prostoru, můžeme takovéto zvukové pole označit jako difuzní a hovořit o náhodném dopadu zvukových vln [2]. Pro upřesnění, difuzní pole se tedy vyznačuje těmito třemi vlastnostmi. Hustota akustické energie je v každém místě uzavřeného prostoru stejná, dále platí, že každý směr dopadu zvuku je stejně pravděpodobný, tedy že zvukové vlny dopadají na povrchy v místnosti náhodně a za třetí, že akustický tlak je rozložen rovnoměrně a je tvořen součtem veškerých zvukových vln, které se scházejí ze všech různých směrů v daném místě. [4]

V těchto místnostech se také často využívá dalších pomocných systémů pro co největší dosažení difuzního pole. Jedná se například o zavěšené nebo stojanové akustické difuzory, dále o speciálně navržené desky umístující se na zdi nebo rotující křídla, která tvoří další odrazové plochy a tím napomáhají rovnoměrnému rozložení zvuku. [2] Tyto prvky mají předem stanovené parametry, které jsou uvedeny v následující podkapitole (viz. 1.3.6) a vzhled některých difuzorů lze vidět na obrázku pod tímto odstavcem (Obr. 2).



Obr. 2.: Ukázka difuzorů (převzato z [5],[6]).

1.2 Využití dozvukových komor

Dozvukové komory se využívají nejen v akustice, ale také v dalších oborech. Výhodou těchto místností je například schopnost vysoké opakovatelnosti a reprodukovatelnosti výsledků. Častým experimentem prováděným v těchto prostorách je měření akustického výkonu, protože díky podmínkám v komoře, které napomáhají využívat i menší výkony, než vyžadují jiné testovací prostory, lze pro měření použít také menší počet mikrofonů. [7]

Jedním z hlavních měření, pro které se dozvuková komora využívá, je měření doby dozvuku. Při tomto měření je využíváno několika měřicích bodů (čím více bodů, tím je měření přesnější), kde jsou umístěny mikrofony, které jsou vybaveny všesměrovou charakteristikou. Měřicí body jsou od sebe vzdáleny alespoň 1,5 m, od zdroje zvuku 2 m a od povrchu stěn či zkušebnímu vzorku 1 m. Zdroje zvuku musí být nejméně dva, se vzájemnou vzdáleností alespoň 3 m. Měřením různých variant (množství variant je dáno počtem umístění mikrofonů krát počet míst zdroje zvuku), se získá minimálně 12 prostorově nezávislých vyhodnocovaných křivek dozvukového poklesu. Pro docílení vyhovující opakovatelnosti všech variant, je důležité, zajistit po dobu měření tak blízké podmínky teploty a relativní vlhkosti, aby se příslušné korekce na útlum vzduchu v prostoru příliš nelišily. [2]

1.3 Parametry a normy

Následující informace uváděné v této kapitole byly čerpány z normy ČSN EN ISO 354, která se zabývá měřením zvukové pohltivosti v dozvukové komoře [2] a také z normy ČSN ISO 9613-1, která se zaměřuje na útlum při šíření zvuku ve venkovním prostoru [8].

Z tabulek uváděných na Obr. 3 (převzatých z normy ČSN ISO 9613-1), které popisují součinitel útlumu čistých tónů α způsobeného pohlcováním v atmosféře (dB/km), vyplývá, že při teplotě 20 °C a frekvenci 50 Hz dochází k poklesu součinitele útlumu v závislosti na zvyšování relativní vlhkosti. Pokud dojde ke snížení teploty za stejného stavu relativní vlhkosti, je při stejné frekvenci dosaženo zvýšení součinitele útlumu. Jednodušeji řečeno, se zvyšující se teplotou a relativní vlhkostí klesá součinitel útlumu.

(h) Teplota vzduchu: 15 °C											
Vyvolená frekvence (Hz)	Relativní vlhkost (%)										
	10	15	20	30	40	50	60	70	80	90	100
50	$2,68 \times 10^{-1}$	$2,24 \times 10^{-1}$	$1,89 \times 10^{-1}$	$1,41 \times 10^{-1}$	$1,11 \times 10^{-1}$	$9,14 \times 10^{-2}$	$7,74 \times 10^{-2}$	$6,70 \times 10^{-2}$	$5,91 \times 10^{-2}$	$5,28 \times 10^{-2}$	$4,77 \times 10^{-2}$
63	$3,53 \times 10^{-1}$	$3,10 \times 10^{-1}$	$2,72 \times 10^{-1}$	$2,12 \times 10^{-1}$	$1,71 \times 10^{-1}$	$1,42 \times 10^{-1}$	$1,21 \times 10^{-1}$	$1,05 \times 10^{-1}$	$9,27 \times 10^{-2}$	$8,31 \times 10^{-2}$	$7,52 \times 10^{-2}$
80	$4,54 \times 10^{-1}$	$4,13 \times 10^{-1}$	$3,78 \times 10^{-1}$	$3,11 \times 10^{-1}$	$2,57 \times 10^{-1}$	$2,17 \times 10^{-1}$	$1,87 \times 10^{-1}$	$1,63 \times 10^{-1}$	$1,45 \times 10^{-1}$	$1,30 \times 10^{-1}$	$1,18 \times 10^{-1}$
100	$5,77 \times 10^{-1}$	$5,31 \times 10^{-1}$	$5,04 \times 10^{-1}$	$4,41 \times 10^{-1}$	$3,78 \times 10^{-1}$	$3,28 \times 10^{-1}$	$2,85 \times 10^{-1}$	$2,51 \times 10^{-1}$	$2,24 \times 10^{-1}$	$2,02 \times 10^{-1}$	$1,84 \times 10^{-1}$
125	$7,35 \times 10^{-1}$	$6,87 \times 10^{-1}$	$6,47 \times 10^{-1}$	$5,61 \times 10^{-1}$	$4,79 \times 10^{-1}$	$4,28 \times 10^{-1}$	$3,81 \times 10^{-1}$	$3,43 \times 10^{-1}$	$3,12 \times 10^{-1}$	$2,85 \times 10^{-1}$	$2,65 \times 10^{-1}$
160	$9,56 \times 10^{-1}$	$8,28 \times 10^{-1}$	$8,05 \times 10^{-1}$	$7,86 \times 10^{-1}$	$7,40 \times 10^{-1}$	$6,81 \times 10^{-1}$	$6,21 \times 10^{-1}$	$5,65 \times 10^{-1}$	$5,16 \times 10^{-1}$	$4,73 \times 10^{-1}$	$4,36 \times 10^{-1}$
200	1,28	1,04	$9,91 \times 10^{-1}$	$9,89 \times 10^{-1}$	$9,73 \times 10^{-1}$	$9,30 \times 10^{-1}$	$8,74 \times 10^{-1}$	$8,15 \times 10^{-1}$	$7,57 \times 10^{-1}$	$7,04 \times 10^{-1}$	$6,55 \times 10^{-1}$
250	1,78	1,33	1,22	1,21	1,23	1,22	1,18	1,13	1,07	1,02	$9,59 \times 10^{-1}$
315	2,55	1,77	1,54	1,47	1,50	1,53	1,53	1,51	1,47	1,41	1,38
400	3,74	2,44	2,00	1,79	1,81	1,87	1,91	1,92	1,91	1,89	1,85
500	5,58	3,49	2,70	2,23	2,18	2,24	2,31	2,30	2,40	2,41	2,41
630	8,38	5,11	3,80	2,89	2,68	2,68	2,75	2,84	2,91	2,97	3,01
800	$1,25 \times 10$	7,63	5,50	3,89	3,41	3,29	3,31	3,38	3,48	3,57	3,65
1 000	$1,84 \times 10$	$1,15 \times 10$	8,17	5,45	4,51	4,18	4,08	4,08	4,15	4,25	4,35
1 250	$2,65 \times 10$	$1,74 \times 10$	$1,23 \times 10$	7,90	6,22	5,49	5,17	5,05	5,05	5,11	5,20
1 600	$3,69 \times 10$	$2,60 \times 10$	$1,86 \times 10$	$1,17 \times 10$	8,90	7,55	6,88	6,51	6,35	6,30	6,32
2 000	$4,93 \times 10$	$3,63 \times 10$	$2,82 \times 10$	$1,77 \times 10$	$1,31 \times 10$	$1,08 \times 10$	9,50	8,75	8,31	8,07	7,95
2 500	$6,25 \times 10$	$5,48 \times 10$	$4,22 \times 10$	$2,69 \times 10$	$1,97 \times 10$	$1,59 \times 10$	$1,38 \times 10$	$1,22 \times 10$	$1,14 \times 10$	$1,09 \times 10$	$1,04 \times 10$
3 150	$7,55 \times 10$	$7,57 \times 10$	$8,21 \times 10$	$4,10 \times 10$	$2,99 \times 10$	$2,38 \times 10$	$2,01 \times 10$	$1,77 \times 10$	$1,81 \times 10$	$1,50 \times 10$	$1,43 \times 10$
4 000	$8,73 \times 10$	$9,99 \times 10$	$8,88 \times 10$	$6,20 \times 10$	$4,57 \times 10$	$3,82 \times 10$	$3,03 \times 10$	$2,64 \times 10$	$2,37 \times 10$	$2,17 \times 10$	$2,03 \times 10$
5 000	$9,74 \times 10$	$1,25 \times 10^1$	$1,22 \times 10^1$	$9,24 \times 10$	$6,87 \times 10$	$5,54 \times 10$	$4,82 \times 10$	$3,99 \times 10$	$3,85 \times 10$	$3,22 \times 10$	$2,98 \times 10$
6 300	$1,06 \times 10^1$	$1,51 \times 10^1$	$1,01 \times 10^1$	$1,35 \times 10^1$	$1,05 \times 10^1$	$8,47 \times 10$	$7,06 \times 10$	$6,11 \times 10$	$5,40 \times 10$	$4,87 \times 10$	$4,47 \times 10$
8 000	$1,14 \times 10^1$	$1,74 \times 10^1$	$2,02 \times 10^1$	$1,90 \times 10^1$	$1,58 \times 10^1$	$1,28 \times 10^1$	$1,08 \times 10^1$	$9,37 \times 10$	$8,28 \times 10$	$7,40 \times 10$	$6,81 \times 10$
10 000	$1,23 \times 10^1$	$1,95 \times 10^1$	$2,42 \times 10^1$	$2,57 \times 10^1$	$2,28 \times 10^1$	$1,92 \times 10^1$	$1,65 \times 10^1$	$1,44 \times 10^1$	$1,27 \times 10^1$	$1,15 \times 10^1$	$1,05 \times 10^1$

(i) Teplota vzduchu: 20 °C											
Vyvolená frekvence (Hz)	Relativní vlhkost (%)										
	10	15	20	30	40	50	60	70	80	90	100
50	$2,70 \times 10^{-1}$	$2,14 \times 10^{-1}$	$1,74 \times 10^{-1}$	$1,25 \times 10^{-1}$	$9,85 \times 10^{-2}$	$7,84 \times 10^{-2}$	$6,60 \times 10^{-2}$	$5,70 \times 10^{-2}$	$5,01 \times 10^{-2}$	$4,47 \times 10^{-2}$	$4,03 \times 10^{-2}$
63	$3,70 \times 10^{-1}$	$3,10 \times 10^{-1}$	$2,60 \times 10^{-1}$	$1,92 \times 10^{-1}$	$1,50 \times 10^{-1}$	$1,23 \times 10^{-1}$	$1,04 \times 10^{-1}$	$8,97 \times 10^{-2}$	$7,90 \times 10^{-2}$	$7,05 \times 10^{-2}$	$6,37 \times 10^{-2}$
80	$4,87 \times 10^{-1}$	$4,32 \times 10^{-1}$	$3,77 \times 10^{-1}$	$2,90 \times 10^{-1}$	$2,31 \times 10^{-1}$	$1,81 \times 10^{-1}$	$1,52 \times 10^{-1}$	$1,41 \times 10^{-1}$	$1,24 \times 10^{-1}$	$1,11 \times 10^{-1}$	$1,00 \times 10^{-1}$
100	$6,22 \times 10^{-1}$	$5,79 \times 10^{-1}$	$5,29 \times 10^{-1}$	$4,29 \times 10^{-1}$	$3,51 \times 10^{-1}$	$2,94 \times 10^{-1}$	$2,52 \times 10^{-1}$	$2,20 \times 10^{-1}$	$1,94 \times 10^{-1}$	$1,74 \times 10^{-1}$	$1,58 \times 10^{-1}$
125	$7,78 \times 10^{-1}$	$7,48 \times 10^{-1}$	$7,12 \times 10^{-1}$	$6,19 \times 10^{-1}$	$5,21 \times 10^{-1}$	$4,45 \times 10^{-1}$	$3,88 \times 10^{-1}$	$3,39 \times 10^{-1}$	$3,02 \times 10^{-1}$	$2,72 \times 10^{-1}$	$2,47 \times 10^{-1}$
160	$9,65 \times 10^{-1}$	$8,31 \times 10^{-1}$	$8,19 \times 10^{-1}$	$6,49 \times 10^{-1}$	$7,52 \times 10^{-1}$	$6,60 \times 10^{-1}$	$5,82 \times 10^{-1}$	$5,18 \times 10^{-1}$	$4,65 \times 10^{-1}$	$4,21 \times 10^{-1}$	$3,84 \times 10^{-1}$
200	1,22	1,14	1,14	1,12	1,05	$9,50 \times 10^{-1}$	$8,58 \times 10^{-1}$	$7,76 \times 10^{-1}$	$7,05 \times 10^{-1}$	$6,44 \times 10^{-1}$	$5,91 \times 10^{-1}$
250	1,58	1,39	1,39	1,42	1,39	1,32	1,23	1,13	1,04	$9,66 \times 10^{-1}$	$8,95 \times 10^{-1}$
315	2,12	1,74	1,69	1,75	1,78	1,75	1,68	1,60	1,50	1,41	1,33
400	2,95	2,23	2,08	2,10	2,19	2,23	2,21	2,18	2,08	2,00	1,90
500	4,25	2,97	2,80	2,52	2,63	2,73	2,79	2,80	2,71	2,63	2,53
630	6,25	4,12	3,99	3,06	3,13	3,27	3,40	3,48	3,52	3,52	3,49
800	9,38	5,92	4,62	3,84	3,77	3,89	4,05	4,19	4,31	4,39	4,43
1 000	$1,41 \times 10$	8,72	6,53	5,01	4,85	4,88	4,80	4,98	5,15	5,30	5,42
1 250	$2,11 \times 10$	$1,31 \times 10$	9,53	6,81	5,97	5,75	5,78	5,82	6,10	6,29	6,48
1 600	$3,13 \times 10$	$1,98 \times 10$	$1,42 \times 10$	9,83	8,00	7,37	7,17	7,18	7,31	7,48	7,68
2 000	$4,53 \times 10$	$2,99 \times 10$	$2,15 \times 10$	$1,41 \times 10$	$1,12 \times 10$	9,88	9,25	9,02	8,98	9,06	9,21
2 500	$6,35 \times 10$	$4,48 \times 10$	$3,26 \times 10$	$2,10 \times 10$	$1,81 \times 10$	$1,37 \times 10$	$1,25 \times 10$	$1,18 \times 10$	$1,15 \times 10$	$1,13 \times 10$	$1,13 \times 10$
3 150	$8,54 \times 10$	$6,82 \times 10$	$4,94 \times 10$	$3,18 \times 10$	$2,39 \times 10$	$1,88 \times 10$	$1,75 \times 10$	$1,61 \times 10$	$1,53 \times 10$	$1,48 \times 10$	$1,45 \times 10$
4 000	$1,09 \times 10^1$	$8,51 \times 10$	$7,41 \times 10$	$4,85 \times 10$	$3,61 \times 10$	$2,94 \times 10$	$2,54 \times 10$	$2,29 \times 10$	$2,13 \times 10$	$2,02 \times 10$	$1,94 \times 10$
5 000	$1,33 \times 10^1$	$1,32 \times 10^1$	$1,09 \times 10^1$	$7,39 \times 10$	$5,51 \times 10$	$4,44 \times 10$	$3,79 \times 10$	$3,36 \times 10$	$3,06 \times 10$	$2,86 \times 10$	$2,71 \times 10$
6 300	$1,56 \times 10^1$	$1,75 \times 10^1$	$1,58 \times 10^1$	$1,12 \times 10^1$	$8,42 \times 10$	$6,78 \times 10$	$5,74 \times 10$	$5,04 \times 10$	$4,54 \times 10$	$4,18 \times 10$	$3,91 \times 10$
8 000	$1,75 \times 10^1$	$2,21 \times 10^1$	$2,15 \times 10^1$	$1,68 \times 10^1$	$1,28 \times 10^1$	$1,04 \times 10^1$	$8,78 \times 10$	$7,88 \times 10$	$6,98 \times 10$	$6,28 \times 10$	$5,81 \times 10$
10 000	$1,93 \times 10^1$	$2,67 \times 10^1$	$2,84 \times 10^1$	$2,42 \times 10^1$	$1,94 \times 10^1$	$1,68 \times 10^1$	$1,35 \times 10^1$	$1,18 \times 10^1$	$1,05 \times 10^1$	$9,53 \times 10$	$8,79 \times 10$

Obr. 3.: Součinitel útlumu čistých tónů způsobeného pohlcováním v atmosféře (dB/km) pro normální atmosférický tlak (101,325 kPa) [8].

1.3.1 Objem dozvukové místnosti

Objem těchto místností by měl dosahovat hodnoty nejméně 150 m³, ale nově stavěné komory by měly mít minimální objem 200 m³. Maximální hodnota objemu místnosti by neměla překročit 500 m³, protože poté nelze přesně měřit zvukovou pohltivost na vysokých kmitočtech. [2]

1.3.2 Tvar dozvukové místnosti

Pro správný tvar místnosti musí být splněna tato podmínka:

$$l_{max} < 1,9 V^{\frac{1}{3}} \quad (1)$$

Příčemž l_{max} značí nejdelší vzdálenost udávanou v metrech dvou krajních bodů v místnosti, tedy například velikost tělesové úhlopříčky (pokud se jedná o pravoúhlý prostor) a V , které představuje objem místnosti v kubických metrech. Dalším požadavkem na tvar místnosti je poměr stěn, který nesmí být poměrem malých celých čísel. Pokud by tak bylo, docházelo by k nerovnoměrnému rozložení vlastních kmitů. A poslední podmínkou je to, aby vždy dvě protější stěny včetně stropu a podlahy nebyly rovnoběžné. [2]

1.3.3 Teplota

Změny teploty mohou mít poměrně velký vliv na dobu dozvuku v průběhu měření této veličiny. Teplota místnosti by tak po celou dobu testování měla být nejméně 15 °C. Měřený vzorek by měl být umístěn v komoře dostatečně dlouho před začátkem testování, aby se tak dosáhlo stejné teploty, jako má samotná místnost. [2]

1.3.4 Relativní vlhkost

Pro vlhkost také platí, že má velký vliv na měření doby dozvuku a to zvláště na vysokých kmitočtech při nízké relativní vlhkosti. Relativní vlhkost v místnosti by se měla pohybovat mezi 30 až 90 %. A opět by mělo dojít k vyrovnání vlhkosti komory s umístěným vzorkem před zahájením měření. [2]

1.3.5 Korekce na změnu pohltivosti vzduchu

Měření prováděná v prázdné místnosti a v místnosti, v které je umístěn vzorek, by se měla provádět při stejné teplotě a relativní vlhkosti. Aby se tak nelišily příslušné korekce na útlum zvuku. Jak již bylo v předchozích podkapitolách zmíněno, teplota v místnosti by

měla dosahovat nejméně 15°C a relativní vlhkost by se měla pohybovat mezi 30 - 90% po celou dobu měření. Pro všechna měření se používají korekce na změnu pohltivosti ve vzduchu. Ekvivalentní pohltivá plocha A_T udávaná v $[m^2]$ se vypočítá pomocí vzorce:

$$A_T = 55,3 V \left(\frac{1}{c_2 T_2} - \frac{1}{c_1 T_1} \right) - 4 V (m_2 - m_1), \quad (2)$$

kde V je objem prázdné dozvukové místnosti v jednotkách $[m^3]$, c_1 značí rychlost šíření vzduchu při teplotě t_1 v jednotkách $[m \cdot s^{-1}]$, c_2 je rychlost šíření vzduchu při teplotě t_2 udávaná také v jednotkách $[m \cdot s^{-1}]$, T_1 udává dobu dozvuku prázdné dozvukové místnosti $[s]$, T_2 značí dobu dozvuku dozvukové místnosti po vložení zkušební vzorku $[s]$, m_1 je součinitel útlumu vzduchu, vypočítaný podle ISO 9613-1 s ohledem na klimatické podmínky, které panovaly v prázdné dozvukové místnosti během měření v $[m^{-1}]$ a m_2 značí také součinitel útlumu, ovšem s ohledem na podmínky, které panovaly v dozvukové místnosti s vloženým vzorkem v $[m^{-1}]$. Hodnota m lze vypočítat jako podíl součinitele útlumu α , který je udáván v tabulkách normy ISO 9613-1 a logaritmu $10 \lg(e)$. [2]

1.3.6 Difuzory

Difuzory jsou prvky, které optimalizují rozložení zvukového pole v místnosti ve snaze zajistit ideální difuzní zvukové pole. Instalací difuzorů v dozvukové komoře se zajistí další odrazivé plochy pro zvukové vlny. Způsob odrazení zvukových vln závisí hlavně na typu konstrukce difuzoru. V ideálním případě by tyto systémy měly vypadat jako tenké desky a měly by disponovat nízkou zvukovou pohltivostí a plošnou hmotností 5 kg/m^2 . Doporučuje se, aby se tyto prvky instalovaly o různých velikostech a o ploše jejich jedné strany v rozsahu $0,8 - 3 \text{ m}^2$. Difuzory mohou být mírně prohnuté a jejich orientace musí být náhodná. Pro dosažení správného efektu, musí být difuzory umístěny v rozsahu celé místnosti. [2]

1.4 Faktory ovlivňující mikroklima komory

Protože je důležité zajistit pro prováděné měření v komoře vhodné mikroklimatické podmínky, je účelné se zabývat faktory, které vnitřní prostředí ovlivňují. Jedná se zejména o kombinaci následujících tří okolností. Za prvé, vlastnostmi budovy, které jsou určeny typem použitých stavebních materiálů a technologií, ale také kvalitou provedených prací. Dále může být mikroklima ovlivněno také tím, jakým způsobem je prostor využíván. Zda je v místnosti umístěna klimatizace, zda je prostor pravidelně větrán nebo vytápěn a také jaký druh činnosti je v tomto prostředí vykonáván. [9] Produkce tepla může být ovlivněna

stupněm fyzické námahy osoby nebo může mít na produkci tepla vliv také věk, pohlaví, kondice člověka nebo tepelně izolační schopnost jeho oděvu. Dále nelze opomenout také vlivy z vnějšího prostředí. Těmi jsou v první řadě klimatické podmínky vnějšího okolí, v kterých se objekt nachází a na které působí roční období a také nadmořská výška nebo osazení objektu v terénu. Tyto vnější faktory jsou zároveň ovlivňovány i vlastnostmi stavebních konstrukcí a vnitřními zdroji tepla. [10]

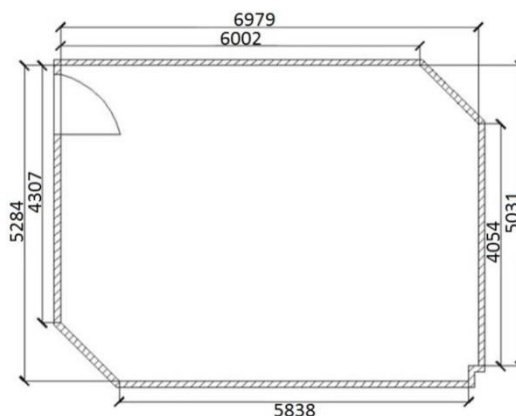
V případě této diplomové práce se budeme zabývat mírou vlivu na mikroklima dozvukové komory konkrétně z důvodu vnitřních faktorů. Těmi může být například již zmíněná vlastní tepelná a vlhkostní kapacita měřeného vzorku, dále použité technologie, jejichž chod, který způsobuje zahřívání, může i výrazně narušovat předepsané tepelné klima nebo také činnost člověka v komoře. A nakonec může být vnitřním faktorem samotný provoz v dozvukové komoře. Tím může být myšleno například otevření dveří v průběhu měření z důvodu potřeby přemístění měřících nebo měřených zařízení. Tento pohyb v dozvukové místnosti je někdy nezbytný, ale právě i tato banalita může komorové mikroklima nevhodně změnit. Klima v objektu je pak optimalizováno pomocí vnitřních systémů vytápění, větrání či klimatizace. [10]

1.5 Dozvuková komora FEL

Dozvuková komora na fakultě elektrotechnické v Plzni byla zprovozněna v létě roku 2004 a slouží jako specializované pracoviště pro měření a testování v oblasti akustiky. [11] Dozvuková komora splňuje požadavky ČSN EN ISO 354 a teplotu a vlhkost je možné regulovat v rozmezích 15 – 30 °C a 35 - 90%. [12] V následující tabulce (Tab. 1) jsou vypsány parametry zmíněné dozvukové komory a na Obr. 4 je zobrazen půdorys místnosti.

Tab. 1.: Parametry dozvukové komory.

Výška místnosti	$h = 6,1 \text{ m}$
Objem místnosti	$V = 214,9 \text{ m}^3$
Celková plocha stěn	$S = 214,4 \text{ m}^2$
Počet difuzorů	$n = 14 \text{ ks}$
Plocha difuzorů	$S_d = 12 \text{ m}^2$



Obr. 4.: Schéma půdorysu dozvukové komory FEL ZČU v [mm].

1.5.1 Klimatizační systém

Klimatizační systémy v budovách slouží k snížení / zvýšení teploty a také k snížení a zvýšení vlhkosti, na rozdíl od ventilace, kde dochází pouze k výměně vzduchu z interiéru za čerstvě nasátý z vnějšku.

Dozvuková komora na fakultě elektrotechnické využívá pro úpravu vzduchu cirkulační jednotku, která je ovládána pomocí digitálního regulátoru TRONIC 2008E. Tento systém byl instalován v roce 2004, kdy byla budova Elektrotechnické fakulty postavena. Klimatizační jednotka byla nucena projít několika rekonstrukcemi a bohužel se nedochovaly veškeré materiály, které by tento systém dostatečně popisovaly. Následující informace byly čerpány z technické zprávy a protokolu o seřízení a měření vzduchotechnického zařízení z roku 2004, který je uveden v seznamu literatury pod číslem [13]. Co se týče technického popisu, klimatizační jednotka je rozdělena na 3 okruhy:

1. Okruh - regulace teploty vzduchu, jeho ohřev a chlazení

Ohřívač je zde tvořen dvěma elektrickými výměníky a chlazení je zajišťováno pomocí přímého výparníku a dvou kondenzačních jednotek. Teplota, přiváděná do místnosti je regulována dle teploty v prostoru s kontrolou teploty na výstupu. Jakékoliv přenastavení požadovaných hodnot se provádí na displeji regulátoru.

2. Okruh – ovládání zařízení

Ovladač vzduchotechniky je umístěn v místnosti před dozvukovou komorou a současně se spuštěním, se také otevře klapka na přívodu a spustí se tak regulace teploty. Na přívodním ventilátoru je umístěn snímač tlakové difference, který kontroluje správný chod jednotky a v případě poruchy (poklesu tlakové difference) je zařízení vypnuto.

3. Okruh – signalizace zaneseného filtru

V případě takovéto signalizace musí obsluha neprodleně zajistit vyčištění filtru.

Dále jsou o klimatizaci v dozvukové komoře k dispozici informace z provedeného revizního měření, které se zaměřovalo na vzduchotechniku akustických komor na fakultě elektrotechnické. To mělo za úkol změřit rychlost proudění vzduchu v potrubních větvích, kde bylo zapotřebí stanovit, jak velké je průtočné množství celých zařízení a také byl kontrolován režim částečného přívodu čerstvého vzduchu z akustické komory do prostor v suterénu. Z výsledků uváděných v protokolu, můžeme zjistit následující informace uvedené v Tab. 2.

Tab. 2.: Informace z protokolu o seřízení a měření vzduchotechnického zařízení [13].

měřící místo: potrubí – přívod clona: r. klapka			
projektovaný výkon	0,55 m ³ /s 2000 m ³ /hod	změřeno:	0,58 m ³ /s 2120 m ³ /hod
proudové zatížení - štítek	1,5 A	změřeno:	1,4 A 1,4 A 1,3 A
rychlost v měřícím místě	4,6 m/s	průřez:	0,128 m ²

Měření bylo provedeno při režimu cirkulace 100% a nebyly zjištěny žádné závady. Zařízení bylo odzkoušeno a dle hodnocení je schopno trvalého provozu.

Při reálných podmínkách se musí provádět ochlazování a vlhčení komory po dostatečně dlouhou dobu, aby se zajistily takto nastavené podmínky po celou dobu prováděného měření a to z toho důvodu, že na klimatické podmínky v místnosti působí také setrvačnost. Stěny a strop jsou ohřáté na vyšší teplotu, a pokud bychom klimatizační jednotku vypnuli dříve, došlo by tak poměrně brzy k opětovnému ohřátí místnosti. Pokud tedy nebyla v dozvukové komoře delší dobu využívána klimatizace, je vhodné ochlazovat a vlhčit komoru nějaký čas i po dosažení požadovaných hodnot.

2 Mikroklima

Mikroklima, označované také jako tepelně vlhkostní podmínky prostředí, je soubor fyzikálních faktorů, které ovlivňují klima vnitřního prostředí, a toto klima je možné určit pomocí několika parametrů: teploty, relativní vlhkosti vzduchu a jeho prouděním, tedy rychlostí vzduchu.

Klimatický stav vnitřního prostředí může být ovlivněn jak klimatickými podmínkami působícími z vnějšku, tak vnitřními faktory, jako je uvolňování vlhkosti a tepla z lidských nebo jiných zdrojů, případně dalších vnitřních původců proudění vzduchu v místnosti. Co se týče vlivu působícího z vnějšího prostředí (větru, teploty a vlhkosti), záleží na kvalitě ochrany prostorů.

Vlivů, které ovlivňují stav vnitřního prostředí, je velké množství. Od hladiny hluku, intenzity osvětlení a síly prašnosti, až po určování psychického komfortu (vliv barev, styl povrchů atd.). Ovšem klimatické podmínky vnitřního prostředí způsobují pouze výše zmíněné tři parametry. [14]

O mikroklimatu je možné hovořit z několika úhlů pohledu. Může se jednat o vlivy mikroklimatu na člověka, na jeho zdraví a pocit pohody či nepohody. Mikroklima místností by mělo být předem určeno a jejich konstrukce by tedy měla být řešena podle požadavků na parametry vnitřního prostředí, které vychází ze tří zákonů. Zákonu č. 183/2006 Sb. – Stavební zákon a související předpisy, dále se touto problematikou zabývá zákon č. 258/2000 Sb. – O ochraně veřejného zdraví a související předpisy a zákon č. 262/2006 Sb. – Zákoník práce a související předpisy. Parametry jsou určovány podle typu vnitřních prostor a také podle činností, které jsou v těchto místnostech vykonávány. Dále se pojmem mikroklima zabývají předpisy pro prostory, kde se uchovávají potraviny nebo pracovní materiály. Také se může jednat o zásady stanovující mikroklima pro speciální předměty, které bývají umístěné ve zvláštních prostorech či vitrínách, kde na ně působí pouze doporučené mikroklimatické podmínky a jejich dodržování je striktně hlídáno. Požadavky na speciální typy prostor (například laboratoře) jsou stanoveny především ve státních normách (ČSN). Ovšem žádná z norem jasně nestanovuje přesné nastavení mikroklimatických podmínek v dozvukové komoře, ani způsob jak mikroklimatické podmínky zjišťovat či udržet. [15]

2.1 Důvody měření mikroklimatu

Vnitřní prostředí musí splňovat hned několik nařízení, ať už se jedná o právní předpisy, jako jsou například zákony, vyhlášky nebo různá nařízení vlády, ale navíc se také v některých případech musí řídit i technickými normami, případně specifickými údaji ve smlouvě. Úroveň kvality vnitřního prostředí totiž ovlivňuje nejen psychiku a zdravotní stav člověka, ale v některých případech také výkonnost přístrojů či relevantnost naměřených dat.

Měření vnitřních klimatických podmínek v místnosti může být nejprve z důvodu kolaudace, kde se tedy zjistí, zda nově postavená místnost splňuje požadované parametry. Dále se může jednat o měření pro kategorizaci prostoru a nakonec, jako v případě této diplomové práce, se může jednat o kontrolní měření s cílem ověřit technické parametry mající vliv na použitelnost místnosti ke specifickému měření, respektive ověřit, zda mikroklima má vliv na relevanci výsledků. [16]

2.2 Měřené parametry

V případě dozvukové komory budeme sledovat měnící se hodnoty teploty a relativní vlhkosti. Veličina teploty vzduchu se značí t , udává se v jednotkách $^{\circ}\text{C}$ a zjišťuje teplotu okolí, kterou lze změřit jakýmkoli teplotním čidlem. Relativní vlhkost má zkratku RH, výsledné hodnoty se udávají v [%] a tato veličina udává poměr mezi aktuálním množstvím vodních par ve vzduchu a množstvím, při jeho plném nasycení.

2.3 Měření teploty

Informace k této kapitole byly převzaty z materiálu uvedeného v seznamu literatury pod číslem [18]. Měření teplotního charakteru místnosti by mělo probíhat tak, že teplota vzduchu by měla být měřena na několika místech v horizontální rovině a jeden z těchto bodů by měl být uprostřed místnosti. Přesné umístění senzorů teploty je ponecháno na úsudku každého experimentálního týmu s ohledem na geometrii a uspořádání místnosti.

Teplota vzduchu se může značně lišit místo od místa a může zde být zřetelné zejména vertikální vrstvení teploty vzduchu v místnosti, tedy že u stropu bude vzduch teplejší než u podlahy. Je tedy vhodné, umisťovat snímače do stejné výšky jako typická zařízení užívaná v dozvukových komorách. Dále je také důležité zabránit tomu, aby se snímač teploty nacházel v průvanu, který může nastat poblíž ohříváných nebo naopak ochlazovaných povrchů. A nakonec by teplota vzduchu v místnosti neměla být měřena méně než půl

metru od jakékoli stěny.

2.3.1 Teploměrné stupnice

Cílem každé stupnice teplot, speciálně termodynamické stupnice, je znázornění teplotních vztahů mezi objekty a událostmi pomocí reálných hodnot. Základ termodynamické stupnice je dán termodynamickou absolutní nulou ($T = 0 \text{ K}$), která se udává v jednotkách kelvin. [19] Vedle Kelvinovy termodynamické stupnice se využívá dalších vedlejších stupnic pro teplotu. Například v anglosaských zemích (hlavně v USA) se využívá stupnice zavedené G. D. Fahrenheitem, která je udávána v jednotkách stupeň Fahrenheita [$^{\circ}\text{F}$]. [20] Pro Evropu je však typická teplotní stupnice uváděna v jednotkách stupeň Celsia [$^{\circ}\text{C}$]. Tu zavedl Švédský astronom Anders Celsius a je určována podle skupenství vody. Při tuhnutí vody udává stupnice $0 \text{ }^{\circ}\text{C}$ a při varu vody $100 \text{ }^{\circ}\text{C}$. Přepočet mezi termodynamickou a Celsiovou stupnicí je následovný:

$$t \text{ [}^{\circ}\text{C]} = T \text{ [K]} - 273,15 \quad (3)$$

$$T \text{ [K]} = t \text{ [}^{\circ}\text{C]} + 273,15 \quad (4)$$

Vzhledem k místním podmínkám a zvyklostem se bude v této diplomové práci pracovat s hodnotami teploty ve stupních Celsia a teplota bude označována písmenem t .

2.3.2 Senzory teploty

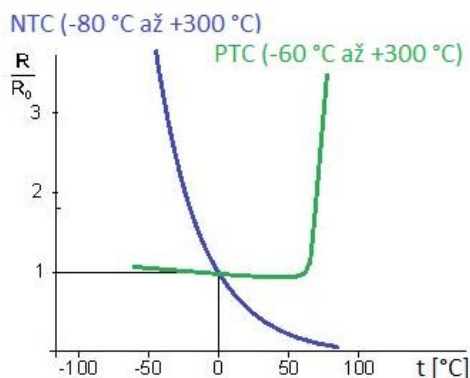
Senzor teploty, někdy také nazýván snímač teploty (snímač je část teploměrového zařízení obsahující teplotní čidlo) nebo čidlo teploty (čidlem je míněná ta část snímače, která převádí teplotu na jinou fyzikální veličinu), představuje funkční prvek, který tvoří vstupní část měřicího řetězce a je v přímém styku s měřeným prostředím. Pojmem senzor můžeme rozumět také detektor tepelného zařízení nebo teploměr, takže pod tímto pojmenováním lze najít většinu teploměrných zařízení.

Senzory se mohou rozlišovat podle několika kritérií. Může se jednat o rozdělení dle fyzikálního principu, kde můžeme nalézt senzory odporové, termoelektrické, polovodičové s PN přechodem a další druhy. Dále lze senzory rozdělit na dotykové a bezdotykové nebo se může jednat o dělení senzorů podle transformace signálu.

V případě této diplomové práce se bude praktická část realizovat pomocí termistorů, které patří mezi nejvyužívanější senzory v elektronice. Termistory se řadí do skupiny polovodičových odporových senzorů teploty a dále se dělí na negastory (NTC) a pozistory

(PTC). Polovodičové odporové senzory pracují na principu teplotní závislosti odporu, což jinými slovy znamená, že při rostoucí teplotě odpor klesá nebo roste. Tento typ senzoru je vyroben z polovodičových feroelektrických materiálů, díky čemuž je možné jej vyrábět ve tvaru válečku, destičky, aj. Výhodami těchto teplotních senzorů jsou například velká teplotní citlivost, malé rozměry, jednoduchý převod odporu na elektrické napětí, případně proud a umožňuje také přímé měření odporu termistoru na větší vzdálenosti. Jejich nevýhodou je nelineární charakteristika. [21]

Podle užitého materiálu má čidlo termistoru buď záporný teplotní součinitel odporu, což v praxi znamená, že při zahřátí senzoru dochází k poklesu odporu a jedná se tedy o NTC termistor a za druhé mohou být polovodičové odporové senzory s kladným teplotním součinitelem, kde naopak při zvýšení teploty dochází i ke zvýšení odporu – PTC termistory. Pozistory se hojně využívají například k omezení proudu obvodem, protože větší množství proudu v součástce vyvolá její ohřátí a tudíž větší odpor. A negastory jsou převážně využívány právě jako teplotní čidla a také proto byl využit při měření praktické části této diplomové práce. Porovnání teplotních závislostí obou termistorů (NTC a PTC) můžete vidět na následujícím grafu (Graf 1). [21]



Graf 1.: Teplotní závislosti termistorů NTC a PTC (R_0 značí odpor při 0°C), (upraveno z [21]).

Běžný negastor dosahuje teplotních rozsahů od -50°C až do $+150^\circ\text{C}$. Co se týče vlastností tohoto senzoru, tak v rozsahu teplot pohybujících se od 0 do $+50^\circ\text{C}$, je nelinearita dána jako $\pm 0,3^\circ\text{C}$ a typická hodnota teplotního součinitele odporu (označovaného α a udávaného v procentech) je pro $+25^\circ\text{C}$ uváděna jako -3 až -6% .

2.3.3 Vlastnosti senzorů teploty

Teplotní senzory disponují určitými vlastnostmi a to statickými a dynamickými. Statické vlastnosti popisují chování senzoru teploty v časově ustáleném stavu. Tento stav

popisuje statická charakteristika, která je dána funkční závislostí ve tvaru:

$$Y = f(X), \quad (5)$$

kde Y je transformovaná veličina v časově ustáleném stavu a X je měřená veličina. [15] Tato diplomová práce se ale věnuje především vlastnostem dynamickým, které uvažují to, že měřená teplota se neustále mění s časem.

Dynamická charakteristika je dána funkční závislostí ve tvaru:

$$Y = f(t), \quad (6)$$

kde Y je vstupní signál a t měřená teplota v závislosti na čase. Dynamické vlastnosti je důležité znát pro správný výběr senzorů do regulátorů teploty nebo pro správné monitorování mezních stavů teplot. Výstupní signál musí tak s co nejmenším zkreslením sledovat teplotu t . Tyto vlastnosti je možné matematicky popsat rovnicemi prvního, druhého a ojediněle vyššího řádu a graficky je možné je znázornit přechodovou charakteristikou, tedy „odezvou na jednotkový skok teploty nebo rychlostní charakteristikou, tj. odezvou na změnu teploty konstantní rychlostí“ [21].

2.4 Měření vlhkosti vzduchu

Vlhkost vzduchu rozlišujeme na relativní a absolutní. Ta absolutní se zaměřuje na skutečnou hmotnost vodní páry v objemové jednotce vzduchu při jasně stanovené teplotě a je udávána v $\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$. Relativní vlhkost je jednoduše řečeno aktuální vlhkost ovzduší. „Je tvořeno poměrem hmotnosti vody h obsažené v objemové jednotce vzduchu za dané teploty k množství vody H , kterého je třeba k nasycení této objemové jednotky při stejné teplotě. Výsledná hodnota je udávána v procentech“ [22]. Vysoká vlhkost způsobuje, že horké dny jsou ještě teplejší a nízká vlhkost může dát lidem pocit suchého hrdla nebo zvýšení výskytu statické elektřiny při dotyku s věcmi. Vlhkost se měří pomocí vlhkoměru.

Vlhkost ovlivňuje mnoho vlastností vzduchu a materiálů, které jsou se vzduchem v kontaktu. Vodní pára je klíčový činitel jak v počasí, tak v klimatu a také je to důležitý atmosférický skleníkový plyn. Mnoho typů průmyslové výroby, testovacích procesů nebo skladovacích prostor je závislých na vlhkosti a jsou tímto faktorem ovlivňovány. Proto se měření vlhkosti používá všude tam, kde je potřeba zabránit kondenzaci, korozi, plísním, deformacím nebo jinému poškození produktů. Je to velice důležité pro potraviny, léčiva,

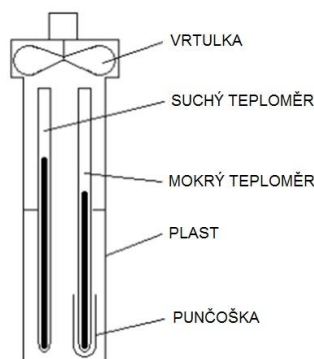
chemikálie, palivo, dřevo, papír atd. [17] Například při vysoké relativní vlhkosti (to znamená při $RH > 70 \%$) dochází k růstu hub a plísní, korozi, degradaci skla, změně vlastností nasákavých materiálů atd. Naopak při nízké relativní vlhkosti ($RH < 30 \%$) dochází k vysušení a zkřehnutí materiálů, deformaci až praskání dřeva nebo také k degradaci lepidel, laků a tmelů. A nakonec ani kolísání relativní vlhkosti není vítanou situací (pokud se RH mění $\pm 0,5 \%$ za hodinu nebo $\pm 5 \%$ za 24 hodin), protože tak může docházet například k poškození v důsledku objemové změny materiálů. [22]

2.4.1 Senzory vlhkosti

Měření vlhkosti vzduchu se může provádět pomocí mnoha přístrojů, které se postupem času vyvinuly od nejstarších a jednoduchých ukazovacích vlhkoměrů až po současné typy s elektrickým nebo číslicovým výstupem. Hlavní metody, které jsou v dnešní době využívány pro zjišťování vlhkosti, jsou psychrometrická nebo hygrometrická metoda a metoda rosného bodu.

2.4.1.1 Psychrometrická metoda

Psychrometrická metoda je zajišťována pomocí psychrometru, kde se měří suchá teplota t_a a mokrá teplota t_w pomocí nuceně větraných teploměrů. Mokrý teploměr je obalen punčoškou, která je neustále navlhčována destilovanou vodou. Kolem obou teploměrů proudí měřený vzduch, který je poháněn hodinovým strojkem nebo elektromotorkem. Hodnoty z obou teploměrů se poté zapíší do psychrometrické tabulky nebo diagramu, z kterých se získá hodnota relativní vlhkosti. U elektronických přístrojů, které využívají psychrometrickou metodu, se neprovádí výpočty pomocí tabulky, ale pomocí vyhodnocovací elektroniky. [23] Princip Assmannova psychrometru, jenž je nejrozšířenějším typem psychrometru, můžete vidět na Obr. 5.



Obr. 5.: Assmannův psychrometr (převzato z [24]).

2.4.1.2 Hygrometrická metoda

Hygrometrická metoda využívá látek, které jsou schopné udržovat svou vlhkost na stejné hodnotě jako relativní vlhkost okolního vzduchu a to díky tomu, že materiál je schopný absorbovat vlhkost z prostředí a měnit tak své vlastnosti. Právě sledováním změn vlastností měřené látky, kterými může být velikost, hmotnost, nebo elektrický odpor či kapacita, je senzor schopen určit hodnotu relativní vlhkosti vzduchu. Pro dosažení co nejpřesnějších výsledků by měla být změna měřené veličiny v lineární závislosti vůči relativní vlhkosti vzduchu. Tuto metodu využívá například momentálně velmi často využívané kapacitní senzory, kde se hodnota vlhkosti převádí ze zjištěného kolísání elektrické kapacity čidla nebo odporová, kondenzační a další čidla. [23] Popis často využívaných vlhkostních čidel je uveden v následujícím textu:

- **Kapacitní senzor**

Princip kapacitního senzoru je takový, že jedna z elektrod čidla je děrovaná a umožňuje tak kontakt okolního vzduchu s polymerním dielektrikem. Vlhkost ze vzduchu, kterou senzor absorbuje je poměrně malá, ovšem vzhledem k velké dielektrické konstantě jsou pro senzor změny kapacity dostatečně viditelné a tudíž měřitelné. Tento typ vlhkoměrů může mít jako výstupní signál kromě kapacity o něco vhodnější elektrické napětí, případně převod přímo na digitální signál. Dalšími výhodami jsou odolnost vůči kondenzaci, přesnost v jednotkách %, dále doba odezvy, která se pohybuje v desítkách sekund a také například nízké rozměry a cena. Právě tento typ senzoru byl využit i pro měření vlhkosti v dozvukové komoře v rámci této diplomové práce. [25]

- **Odporový senzor**

Dále se může zjišťovat vlhkost hygrometrickou metodou pomocí odporového senzoru, který funguje na principu změny vodivosti, která je v některých případech doprovázena absorpcí vody. Senzor je tvořen systémem elektrod, a aby se zabránilo jejich polarizaci, tak se měření musí provádět pomocí střídavého napětí. Tento vlhkoměr je citlivý na kondenzaci a nelze ho využívat při vyšších teplotách, ovšem díky své vysoké přesnosti je stále hojně využívaným typem vlhkoměru. [25]

- **Kondenzační senzor**

Dalším velmi přesným vlhkoměrem je kondenzační senzor, který obsahuje termoelektricky ochlazené zrcátko, na němž se například opticky snímá odrazivost, protože orosení na zrcátku způsobuje velkou změnu odrazivosti a pomocí zpětné vazby se reguluje

intenzita ochlazení, aby se udržovalo zrcátko jen mírně orosené. Teplota zrcátka se snímá pomocí platinového odporového teploměru. [25]

2.4.1.3 Metoda rosného bodu

Třetí metodou je již zmíněná metoda rosného bodu, kde se měří povrch vody při dynamické rovnováze, tedy když je množství vypařené vody z povrchu rovno množství zkondenzované vodní páry ve vzduchu a tudíž již nemůže dojít k dalšímu odpařování vody. Při tomto stavu má vzduch stejnou teplotu jako povrch vody a tato vrstva tak získá 100% relativní vlhkosti. Následně se dle specifických rovnic odvodí závislost relativní vlhkosti a teploty rosného bodu. Tento postup využívá například rosný vlhkoměr. [26]

3 Měřicí přístroje

Pro měření mikroklimatu, tedy pro snímání teploty okolí, vlhkosti a rychlosti vzduchu je zapotřebí získat mnoho dat a naměřených parametrů a je proto výhodné použít měřicí přístroj takový, který dovede co nejvíce usnadnit práci s daty. Přístroj, který co nejefektivněji změří (tím je myšleno, že postačí jeden přístroj pro změření více parametrů), zpracuje a předá informace pro další analýzu. Na měření klimatu vnitřních prostor se klade velký důraz, zvláště u speciálních případů jako jsou laboratoře nebo tzv. čisté prostory (např. nemocnice) a jak již bylo zmíněno, parametry vnitřního prostředí se zabývají tři zákony a několik vyhlášek. Na trhu se proto objevuje množství profesionálních měřicích přístrojů a také firem, které se měřením klimatu vnitřních prostor zabývají.

Na profesionální přístroje pro měření ovzduší jsou kladeny vysoké požadavky, protože musí být schopné změřit mnoho různých veličin za velmi rozdílných podmínek. Přístroje mají možnost využít velkou spoustu speciálních sond, například pro rychlost proudění existují sondy přímo pro vzduchotechnické potrubí, nebo sondy pro měření barometrického tlaku či měření koncentrace CO₂.

Měření je nutné provádět nejen při výstavbě nové místnosti nebo při uvádění vzduchotechniky do provozu, ale provádějí se i kontrolní měření při pravidelné údržbě nebo při reklamacích. [27]

Vzhledem k potřebám měření, kdy je nutné zjišťovat stav měřené veličiny neustále se měnící s časem, je důležité zajistit dostatečné časové logování. Logování v tomto případě představuje jednoduchý výpis dat z teplotního a vlhkostního čidla do souboru. S ohledem na rychlost změn mikroklimatu v dozvukové komoře, by mělo logování s četností 1 – 2 krát za minutu dostatečně popisovat teplotní a vlhkostní vývoj v komoře.

3.1 Digitální měřicí technika

Měřicí přístroje a vlastně veškerá technika si prošla a stále prochází velmi rychlým vývojem a je tudíž možné v dnešní době využívat výhod digitální měřicí techniky. Dříve byly využívány analogové signály, které se přenášely ze sond do vyhodnocovací jednotky (do ručního přístroje) a až zde se signály měnily na digitální. Tento typ zpracovávání signálů je však ovlivněn systémovou nejistotou, která nastává ve většině případů právě na rozhraní přístroj – sonda. V případě digitální techniky je sonda schopná již sama vytvořit

digitální data a ty jsou do přístroje přenášena bez ztráty jakýchkoliv informací. Další výhodou digitální techniky je možnost zohlednit odchylky zjištěné kalibrací již při měření a to tak, že se odchylky uloží pomocí softwaru přímo do sondy a přístroj tak může ukazovat již korigovaná naměřená data. Navíc je také možné, nastavit dobu platnosti kalibrace. Při užití analogové technologie se odchylky zohledňovaly až po měření v dalším kroku manuálně. [27]

3.2 Stav měřících systémů na trhu

V současné době lze na trhu najít několik profesionálních systémů zabývajících se hodnocením tepelného mikroklimatu. Jedná se například o tzv. dataloggery, které jsou využívány k měření a také k uchování dat. Mohou pracovat samostatně, ale také je možné tento typ přístroje propojit s počítačem pomocí dodávaného softwaru a zobrazovat si tak průběhy měřených veličin. Cena dataloggeru se odvíjí od jeho typu a způsobu využití. Může se jednat o domácí použití nebo o profesionální účely, kde mají přístroje zpravidla větší rozměry a také cenu. Dataloggery jsou hojně využívány v průmyslu, vědě či při výuce. [28],[29]

V případě této diplomové práce je cílem měření monitorování teploty a vlhkosti v místnosti, tedy dlouhodobý záznam hodnot v malém rozsahu. Pro tento účel je nejvhodnější zvolit automatizovaný datalogger, který je schopný snadno nahrávat data do počítače, kde se s nimi může později pracovat. Jako vhodné zařízení byl zvolen měřicí systém Almemo firmy Ahlborn, který je tvořen měřicím přístrojem Almemo 2390-5 a třemi senzory Almemo FH A646 – 1. Zařízení Almemo bylo vybráno díky tomu, že je vhodné pro účely naplánovaného měření a zároveň také proto, že je na katedře k dispozici. Tento měřicí systém disponuje mnoha možnostmi a funkcemi, které byly přizpůsobeny konkrétní aplikaci a potřebám měření.

4 Praktická část

Praktická část diplomové práce má za úkol navrhnout a sestavit vhodné rozmístění senzorů teploty a vlhkosti pro měření mikroklimatu dozvukové komory a zjistit tak reálný stav vnitřních podmínek v místnosti.

Praktickou část lze rozdělit na několik dílčích úkolů. Nejprve je zde popsán měřicí systém Almemo, který byl využit pro realizaci měření. Dále se tato kapitola zabývá návrhem vhodné metody a postupu měření a také ověřením funkčnosti jednotlivých snímačů, resp. celého měřicího řetězce. Nakonec se praktická část zabývá samotnou realizací měření a zpracování naměřených dat.

4.1 Měřicí přístroj Ahlborn

Tento typ přístroje je podobný digitálnímu multimetru, ke kterému je možné připojit jednotlivé sondy. Zařízení obsahuje 3 vstupy po 4 kanálech. Naměřená data je možné zobrazovat a částečně uchovávat nejen v připojeném počítači, ale také přímo na přístroji. A zmíněná kombinovaná čidla jsou schopna snímat data rychlostí až 10 krát za vteřinu. Tím, že je využit ucelený systém Almemo, se předejde zmatkům při nastavování čidel, protože lze připojit velké množství senzorů k jakémukoliv měřicímu vstupu na prakticky libovolný měřicí přístroj a to díky vlastním Almemo konektorům, které navíc není potřeba po připojení senzoru programovat, protože je měřicí přístroj automaticky nakonfigurován [30].

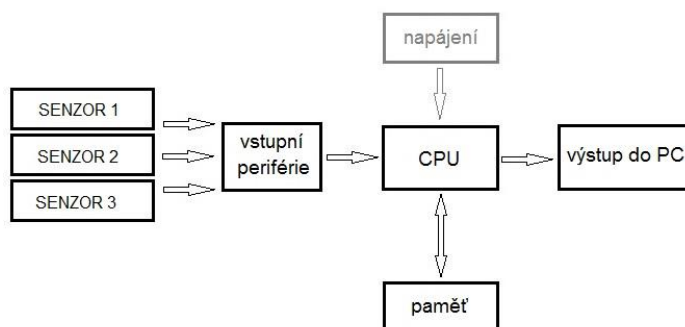
Měřicí přístroj disponuje pamětí EEPROM, kde jsou uloženy všechny parametry, čili opakované programování již není nutné. Zařízení má tři elektricky izolované vstupy a jeho měřicí možnosti jsou poměrně velké. Přístroj obsahuje 12 kanálů v konektorech snímačů a 4 interní kanály s více než 70 měřicími rozsahy. K dispozici jsou dále 2 výstupní konektory, které lze využít pro připojení výstupních modulů, např. analogový výstup, digitální rozhraní, spouštěcí vstup (trigger input) nebo alarmové kontakty. Je zde možnost také propojit několik zařízení najednou a to jednoduše přes síťové kabely. Měřicí přístroj obsahuje klávesnici s pěti tlačítky a 8½ znakovým LCD displejem. Přístroj dále disponuje funkcí zápisu dat (datalogger) s interní pamětí 32 kB nebo s externími konektory, které mají kapacitu až 256 kB. (Do této velikosti paměti se vejde až 50000 naměřených hodnot.) V přístroji může být také aktivováno široké spektrum běžných funkcí a to automaticky nebo individuálně a také řada speciálních funkcí, která jsou ale dostupná pouze přes

rozhraní. [30] Jak toto zařízení vypadá, můžete vidět na Obr. 6.



Obr. 6.: Měřicí přístroj Ahlborn Almemo 2390-5 (převzato z [30]).

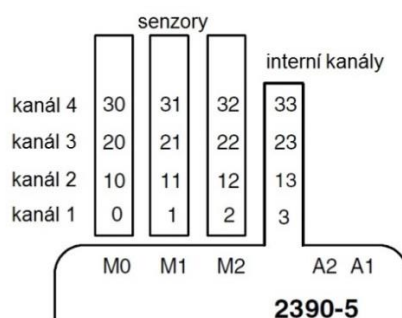
Na Obr. 7 můžete vidět blokové schéma využitého měřicího systému Almemo, který disponuje 3 vstupy, do kterých můžeme umístit jednotlivé kombinované senzory, v našem případě senzory teploty a vlhkosti. Každý tento vstup obsahuje 4 interní kanály. Data ze senzorů jsou dále zpracovávána pomocí mikroprocesoru a ten může informace ukládat přímo do vnitřní paměti dataloggeru nebo do počítače, který je k přístroji připojen pomocí kabelu USB. Paměť je součástí hardwaru dataloggeru a je typu EEPROM, což znamená, že je možné tuto paměť naprogramovat a také z ní později informace mazat. EEPROM je zkratka z anglického názvu „*Electrically Erasable Programmable Read Only Memory*“, což napovídá, že je možné informace v této paměti vymazávat elektricky. Zařízení je možné napájet pomocí dvou alkalicko-manganových akumulátorů v přístroji a/nebo síťovým adaptérem 230 V AC / 12 V DC. Měřicí vstupy, napájení a rozhraní jsou od sebe elektricky izolovány. Přístroje Almemo obsahují 16 bitový A/D převodník s vysokým rozlišením, který umožňuje převod analogového signálu na digitální. V konkrétním případě převod teplotně závislého odporu a elektrické kapacity na elektrický signál.



Obr. 7.: Blokové schéma měřicího systému Almemo.

- **Měřicí kanály**

Měřicí kanály jsou programovány automaticky prostřednictvím Almemo konektorů snímače. Uživatel však může toto nastavení změnit pomocí klávesnice nebo přes rozhraní. Jejich číslování je znázorněno na Obr. 8 a systém značení je takový, že kanál 1 udává pouze čísla konektorů a kanál 2 až 4 je značen dvojicí čísel, kde první znak určuje číslo kanálu a druhé číslo určuje konektory.



Obr. 8.: Zapojení vstupní periférie (převzato z [30]).

- **Jednotky**

Displej může být přizpůsoben pro každý měřicí kanál tak, že na obrazovce a ve výpisu dat (printout) jsou vždy uvedeny správné jednotky. Například když je připojen vysílač (transmitter), tak se jednotky mezi °C a °F automaticky převedou.

- **Výpis naměřené hodnoty**

Každý snímač je identifikován pomocí desetimístního alfanumerického názvu a tento název, zadaný prostřednictvím rozhraní, se následně zobrazí ve výpisu hodnot, nebo pokud je název vyhodnocen počítačem, tak na obrazovce.

- **Korekce naměřené hodnoty**

Senzory v některých případech vyžadují počáteční nastavení. Naměřené hodnoty mohou být korigovány s ohledem na nulový bod nebo alespoň částečným nastavením zisku a mohou být měněny faktorem, základní hodnotou, exponentem a jednotkami.

- **Měřítka**

Opravná měřená hodnota na každém měřicím kanále může být dále opatřena měřítkem z hlediska nulového bodu a zisku a to pomocí základní hodnoty. Polohu desetinné tečky lze nastavit pomocí funkce exponentu. Nastavením hodnoty na nulu a zadáním nominální hodnoty lze měřítka automaticky vypočítat.

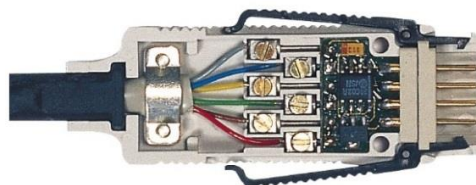
- **Limitní hodnota a alarm**

Na měřicí kanál lze nastavit dvě mezní hodnoty (maximum a minimum). V případě překročení jedné z těchto mezních hodnot, relé výstupních modulů spustí příslušné poplašné kontakty. Hystereze je ve výchozím nastavení nastavena na 10 číslic (digitů), ale může být upravena. Překročení mezních hodnot může být také využito k zahájení nebo zastavení záznamu měřených dat.

4.1.1 Konektory

Moderní měřicí přístroj musí být schopen komunikovat s okolním prostředím například tak, že je možné přenášet naměřená data, provádět příkazy z počítače, spouštět poplachové signály nebo reagovat na spínací impulsy. Aby se tak pokryly všechny tyto potřeby, a aby se zároveň udržel potřebný hardware na minimu, jsou všechna potřebná analogová nebo digitální rozhraní integrována právě do konektorů a propojovacích kabelů. Díky tomu je možné si pro jeden stejný model Almemo vybrat z mnoha výstupních rozhraní, aby tak co nejlépe vyhovovala zadanému úkolu. [31]

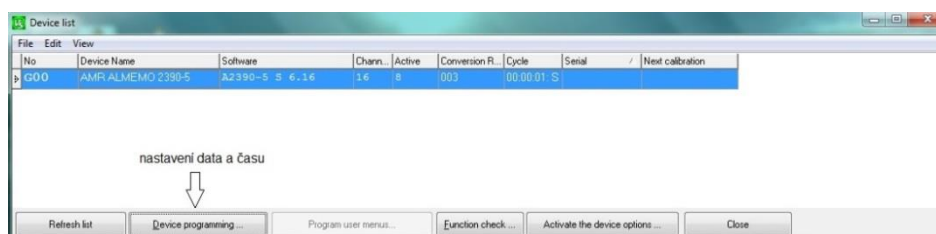
Konektory mohou být několika typů. Může se jednat o druh sloužící k měření, ke komunikaci s okolním prostředím (komunikace mezi dataloggery či s počítačem) nebo o napájecí konektor. A aby nemohlo dojít k umístění konektoru do špatného soketu, je v každém druhu spojky různě umístěn poziční kolík. Co se týká měřicích konektorů, tak se může dále jednat o spojky speciálně naprogramované pro konkrétní aplikaci, jako například měření proudu nebo napětí či elektrického odporu. Jsou k dostání ovšem i takové konektory, které si může uživatel přednastavit podle své vlastní potřeby a to pomocí klávesnice, terminálu nebo softwaru. [31] Standardní konektor Almemo obsahuje 6 svorek – 2 pro napájení snímače a 4 svorky pro měřicí signál a na jeden měřicí vstup lze připojit pouze jeden senzor. Ovšem snímač atmosférické vlhkosti lze obvykle kombinovat se snímačem teploty. Další přidružené parametry jako rosný bod, parciální tlak, entalpie, atd. jsou programovány jako další měřicí kanály. [32] Ukázku takového běžného konektoru Almemo můžete vidět na Obr. 9.



Obr. 9.: Standardní konektor Almemo (převzato z [32]).

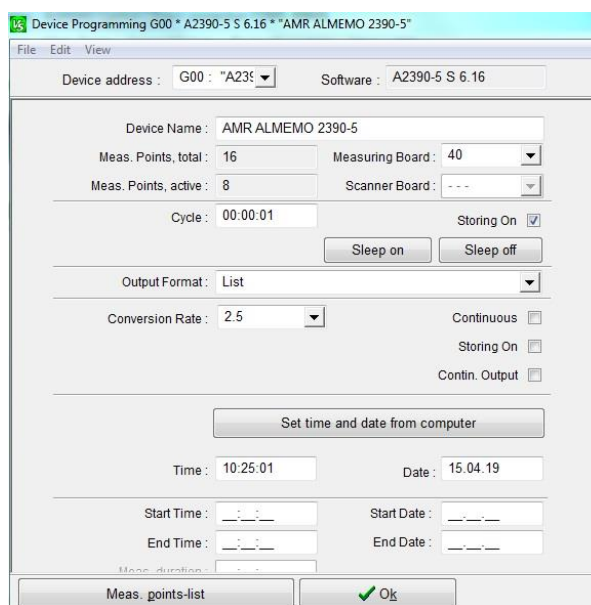
4.1.2 PC program Almemo Control 6.0

Měřicí přístroj lze ovládat pomocí tlačítek přímo na zařízení, ovšem pro jednodušší a přehlednější nastavování údajů před zahájením měření je výhodnější využít počítačového programu Almemo Control. Po připojení měřicího zařízení může uživatel v rozhraní aplikace nadefinovat aktuální čas a datum a poté nastavit začátek a ukončení měření. Dále je zde možnost nastavit četnost zaznamenávání (maximálně 0,1 s) a také způsob ukládání dat. Hodnoty jsou automaticky ukládány ve formě textového dokumentu, ale pro další možnost pracování s daty je vhodnější přespat příponu ukládaného souboru (na *.xlsx), díky čemuž je poté možné otevřít soubor s hodnotami v Excelu. Ukázky prostředí programu Almemo Control 6.0 můžete vidět na následujících snímcích (Obr. 10 až Obr. 12).



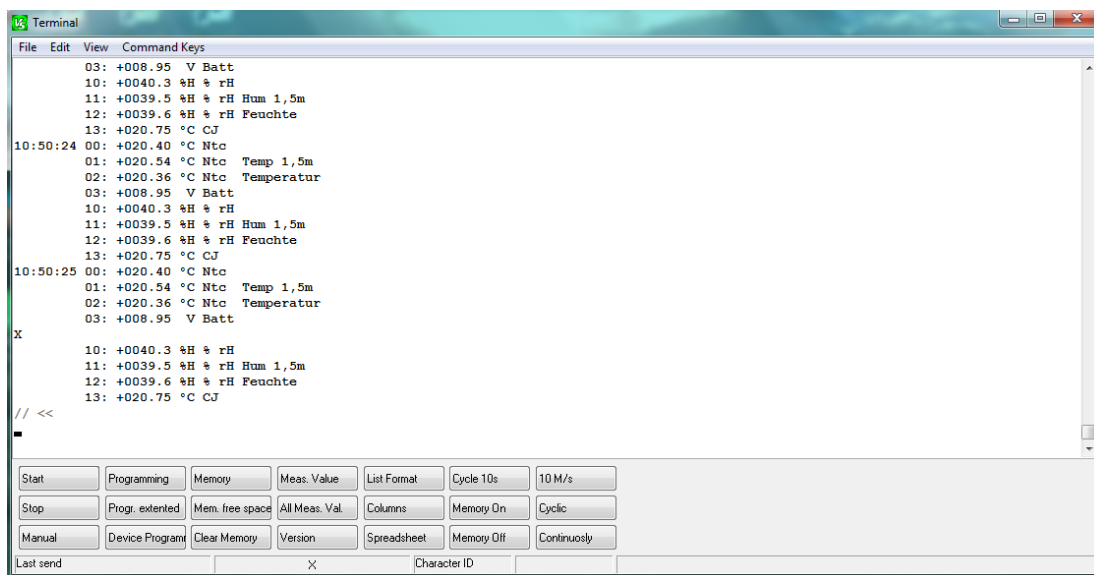
Obr. 10.: Device list.

Device list neboli seznam připojených zařízení slouží k zobrazení všech přihlášených jednotek k počítači a jejich přednastavených vlastností. Po rozkliknutí tlačítka „device programming“ má uživatel možnost nastavit vlastnosti dataloggeru jako například nastavení aktuálního času a data, ale také začátek a ukončení měření (viz Obr. 11).



Obr. 11.: Device Programming.

Na následujícím obrázku (Obr. 12) můžete vidět terminál, který slouží nejen jako prostor pro výpis naměřených hodnot, ale také jako ovládací panel, kde je umožněno volit z mnoha funkcí. Uživatel zde může vybrat variantu ukládání dat a to ve formě uložení informací do paměti dataloggeru nebo jako soubor do počítače. Dále je zde možnost nastavit také četnost měření a mnoho dalšího.



Obr. 12.: Terminal – ten slouží jako ovládací panel a zároveň výčet naměřených hodnot.

4.2 Kombinovaná čidla

V dnešní době existuje velké množství snímačů pro měření teploty a vlhkosti a jejich výběr se může odvíjet podle jejich rozměrů, tvarů, přesností, ceny a dalších vlastností důležitých pro konkrétní využití v úloze. Neexistuje však žádný předpis nebo norma, která by určovala, který typ snímače je vhodný pro konkrétní měření. Je proto vhodné si nejprve analyzovat měřicí úlohu a poté přemýšlet, který typ senzorů by mohl vyhovovat. [33]

Pro zvolený měřicí přístroj Ahlborn Almemo 2390-5 byly vybrány tři senzory od stejného výrobce. Jedná se o kombinovaná digitální čidla pro měření teploty a vlhkosti vzduchu. Využitím takto kombinovaných čidel předejdeme nepřehlednosti při sestavování měření v dozvukové komoře. Všechny tři senzory jsou typu Almemo FH A646-1. Dva z nich mají svrchní plášť vyrobený z plastu a třetí senzor má obal z nerezové oceli.

4.2.1 Senzor FH A646 – 1

Tento digitální kombinovaný senzor s integrovaným signálovým procesorem disponuje čtyřmi měřicími kanály pro zobrazování čtyř veličin: teploty, relativní vlhkosti,

rovného bodu a atmosférického tlaku. Jeho měřicí rozsah se rozlišuje podle toho, zda je senzorová trubka vyrobena z plastu či nerezové oceli. Pro typ s plastem jsou rozsahy teplot od -20°C do $+60^{\circ}\text{C}$ a pro nerezovou ocel -20°C až $+80^{\circ}\text{C}$. V případě našeho měření, jsme použili 1 senzor z plastu, který jsme označili jako M0 pro měření teploty a M10 pro měření vlhkosti. Další dva senzory jsou tedy z oceli a nesou označení M1/M11 a M2/M12. Rozsah relativní vlhkosti činí v obou případech 5 – 98 %. Snímač měří na délku 100 mm (je zde ale možnost nechat si vyrobit delší senzor) a jeho průměr činí 12 mm. Kabel od konektoru měří 2 m, případně lze využít prodlužovacích šňůr s redukcí. [34] Vzhled senzoru můžete vidět na Obr. 13.



Obr. 13.: Senzor Almemo typu FH A646-1 (převzato z [35]).

Technické specifikace senzoru FH A646-1 jsou uvedené v Tab. 3 a 4, kde jsou popsány parametry teplotního i vlhkostního čidla. Informace byly čerpány z datasheetu senzoru, který je zahrnut v příloze této diplomové práce.

Tab. 3.: Technická data uváděná v datasheetu pro teplotní senzor [34].

Teplotní senzor	
Typ snímače	NTC typ N
Přesnost	$-20 \dots 0^{\circ}\text{C}$: $\pm 0,4^{\circ}\text{C}$
	$0 \dots 70^{\circ}\text{C}$: $\pm 0,1^{\circ}\text{C}$
	$70 \dots 80^{\circ}\text{C}$: $\pm 0,6^{\circ}\text{C}$
Reprodukovatelnost	typicky $\pm 0,1^{\circ}\text{C}$

Tab. 4.: Technická data uváděná v datasheetu pro vlhkostní senzor [29].

Vlhkostní senzor	
Typ snímače	kapacitní
Přesnost	$\pm 2\%$ v rozmezí $< 90\%$ při jmenovité teplotě
Reprodukovatelnost	$< 1\%$ při jmenovité teplotě
Jmenovitá teplota	$25^{\circ}\text{C} \pm 3^{\circ}\text{C}$
Doba odezvy (T_{63})	cca 10 s (bez filtru) při rychlosti 5 m/s

4.3 Příprava měření

Vzhledem k tomu, že dozvuková komora na fakultě elektrotechnické je poměrně vytížená, je vhodné zajistit veškeré přípravné záležitosti pro měření mimo tuto akustickou místnost. Nejprve bylo nutné zjistit stav senzorů, což je důležitým krokem před zahájením měření, protože je potřeba zajistit, aby získaná data co nejvíce odpovídala realitě. Přípravné měření probíhalo v laboratoři, kde se na jedno místo v těsné blízkosti umístily všechny tři vybrané senzory, které po dobu cca 2 hodin snímaly okolní teplotu a vlhkost. Výsledky tohoto měření jsou uvedené v následující podkapitole (viz. 4.3.1).

Dalším přípravným úkolem bylo rozvrhnout rozmístění senzorů. Umístění senzorů bylo určeno podle bodů v místnosti, kde jsou obvykle situovány mikrofony při měření dozvuku. Přístroj Ahlborn však nedisponuje tolika měřicími kanály, aby bylo možné měřit všechny pozice mikrofونů najednou. Navíc nadefinované body pro umístění mikrofونů v komoře jsou vždy v různé výšce a tak pro urychlení měření byl naplánován postup pro využívání senzorů, aby nedocházelo k velkým prodlevám při přemísťování stativů se senzory. Detailní popis rozmístění senzorů a řešení tohoto úkolu je rozvedeno v podkapitole pod číslem 4.3.2.

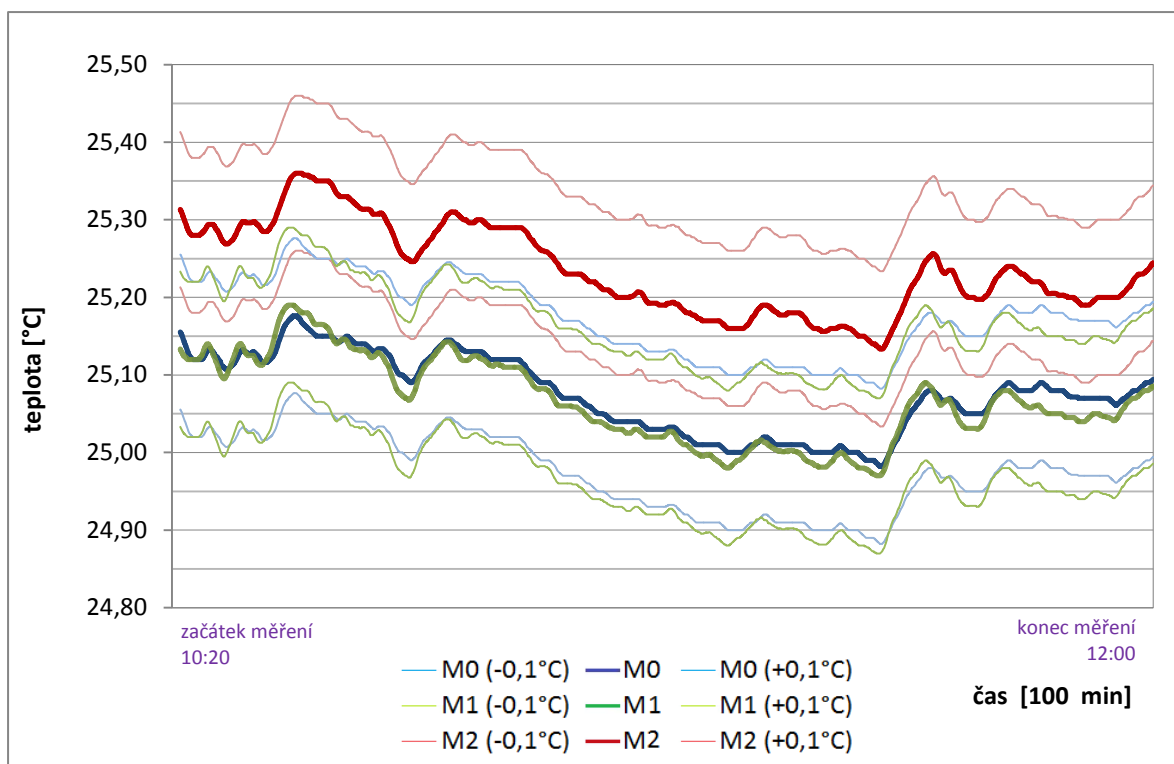
4.3.1 Zjištění technického stavu senzorů

Pro měření mikroklimatu byly využity 3 kombinované senzory, pro které bylo potřeba zjistit jejich vzájemné odchylky při měření teploty a relativní vlhkosti. Jak již bylo zmíněno, příprava byla provedena v laboratoři tak, že se všechny 3 senzory umístily na jedno místo a spustilo se měření s četností 1s po dobu 120 min. V Tab. 5 jsou uvedené výsledné průměrné hodnoty teploty pro jednotlivé senzory a na níže uvedeném grafu (Graf 2) lze vidět celý průběh měření, kde jsou navíc znázorněny horní a dolní limity přesností všech tří senzorů.

Tab. 5.: Průměrné hodnoty teploty jednotlivých senzorů.

Průměrná hodnota - teplota		
Senzor 1 (M0)	25,30	°C
Senzor 2 (M1)	25,15	°C
Senzor 3 (M2)	25,14	°C

Již z této tabulky je vidět, že senzory s označením M1 a M2 měřily pravděpodobně s velmi podobnou střední hodnotou. Změny teploty v místnosti lze analyzovat také pomocí grafu, který je umístěn pod tímto odstavcem (Graf 2).



Graf 2.: Průběh měření teploty při kontrole senzorů.

Na tomto grafu (Graf 2) jsou vidět hodnoty od cca dvacáté minuty měření, kdy došlo k poklesu teploty z $26,5^{\circ}\text{C}$ na ustálení hodnot okolo 25°C . Tento pokles teploty nebyl v grafu promítnut z toho důvodu, že by byl graf méně přehledný a pro získání povědomí o tom, jak jednotlivé senzory fungují, není nutné zobrazovat celý průběh.

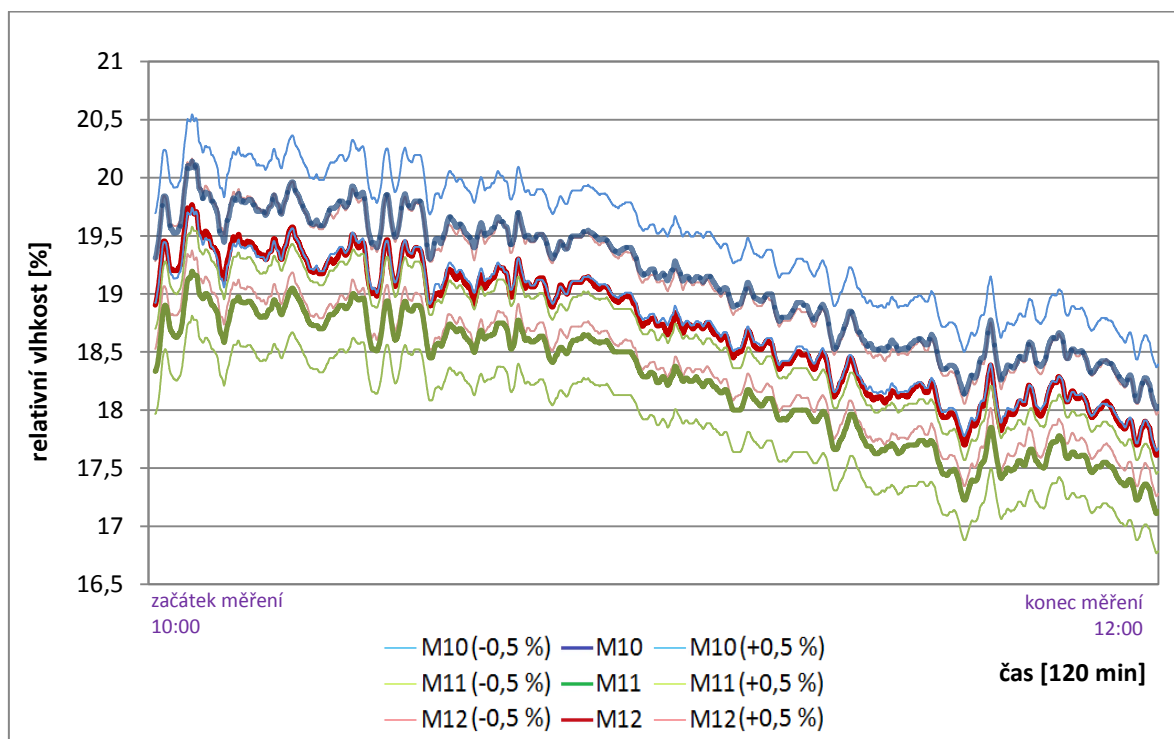
Z výsledků uvedených v grafu lze dále vyčíst, že senzory M1 a M2 opravdu měřily s velice podobnou odchylkou a pouze senzor M0 zaznamenal lehce zvýšené hodnoty. Všechny tři senzory rozeznávaly mírné vzrůsty a sestupy teploty v místnosti s relativně stejnou tendencí. Dále se budou výsledky určovat podle uváděných přesností jednotlivých senzorů. Senzory, které byly využity, jsou všechny stejného typu a mají garantovanou přesnost $\pm 0,1^{\circ}\text{C}$ pro rozmezí teplot od 0°C do 70°C . Výsledek kontroly čidel pro měření teploty je poměrně uspokojující, protože dle grafu je možné vidět, že dva senzory (M1 a M2) se pohybují na stejných hodnotách s pouze s minimálními rozdíly při špičkách. A třetí senzor (M0) při uvažování přesnosti $-0,1^{\circ}\text{C}$ se objevuje v průsečíku rozsahů přesností zbylých dvou čidel. Je možné, před měřením praktické části diplomové práce v dozvukové komoře nastavit korekci nulového bodu u senzoru s označením M0 o hodnotu $-0,15^{\circ}\text{C}$ pro dosažení maximální správnosti výsledků. Ovšem vzhledem k odchylce, která činí něco málo přes $0,15^{\circ}\text{C}$, což je téměř rovno udávaným přesnostem senzorů, nejsou další úpravy nezbytné.

V další tabulce (Tab. 6) jsou uvedeny výsledné průměrné hodnoty přípravného měření pro snímání vlhkosti a na následujícím grafu (Graf 3) lze vidět opět průběh měření.

Tab. 6.: Průměrné hodnoty vlhkosti jednotlivých senzorů.

Průměrná hodnota - vlhkost		
Senzor 1 (M10)	18,72	%
Senzor 2 (M11)	19,12	%
Senzor 3 (M12)	18,23	%

V tomto případě je znázorněn průběh celého měření, které trvalo cca 120 min. Pro přehlednost grafu bylo však nutné provést korekci, která znamenala využít funkce „klouzavého průměru“. Klouzavý průměr je ukazatel, který pomáhá vyhladit křivku a odhalovat tak trend časové řady. Počítá se jako průměr konstantního počtu za sebou jdoucích období. Čím větší je zvolena délka klouzavého průměru, tím bude křivka více vyrovnaná. V případě měření vlhkosti byl nastaven klouzavý průměr šířky 50. Tato aplikace s sebou přináší i menší nepříjemnost a tou je kratší délka nově vzniklé křivky oproti původní. Je-li totiž zvolená délka klouzavého průměru $2m+1$, tak nově vytvořená křivka ztrácí m nevyrovnaných hodnot ($m = 50$) jak na začátku, tak na konci řady. Vzhledem k požadavkům na graf je tato vlastnost ale nepodstatná, protože se ve výsledku pracuje pouze s nově vzniklými křivkami, takže tento rozdíl nebude patrný. [36]



Graf 3.: Průběh měření vlhkosti při kontrole senzorů.

V případě měření vlhkosti je možné z grafu a tabulky na první pohled vidět, že všechny tři senzory snímaly veličinu jen s velmi malou vzájemnou odchylkou. V případě, že se vezmou v potaz také stanovené přesnosti u jednotlivých senzorů, tak se zjistí, že senzor s označením M11 se pohybuje na horní hranici a senzor M12 na spodní hranici přípustné odchylky senzoru M10. Výstupní hodnoty ze senzoru M10 se nacházejí na průsečíku hranic přesností zbylých dvou čidel. Opět by bylo možné pro dosažení přesnějších výsledků u všech tří senzorů zavést korekci nulového bodu. U čidla M11 posunout základní hodnotu relativní vlhkosti o $-0,5\%$ a u čidla M12 zase naopak o $+0,5\%$. Po této úpravě bychom tak získali větší jistotu, že naměřené hodnoty v dozvukové komoře budou opravdu ovlivněné pouze vnějšími klimatickými podmínky, namísto odchylek způsobených rozdílnými středními hodnotami teplot a vlhkostí v senzorech. Ovšem opět vzhledem k přesnostem uváděných v datasheetu senzoru FH A646-1, které činí $\pm 2\%$ v rozmezí $< 90\%$ při jmenovité teplotě je naměřené odchylka senzorů o hodnotě $0,5\%$ pouze nepatrným zkreslením a proto se nebudou provádět žádné korekce.

Celkově lze tedy říci, že oba dva typy čidel (jak teplotní, tak vlhkostní) jsou podle výsledků z přípravného měření v dobrém stavu a není proto potřeba provádět před měřením v dozvukové komoře žádné korekce senzorů.

4.3.2 Rozmístění senzorů

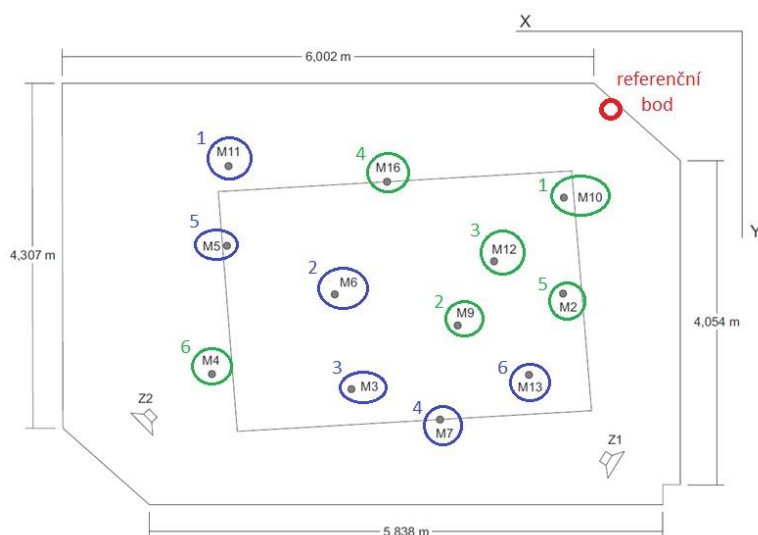
Jak již bylo zmíněno, dva senzory se budou umisťovat do stejných poloh jako mikrofony, jejichž prostorové rozmístění je znázorněno v Tab. 7 a třetí senzor bude umístěn na pevném referenčním místě, které bylo zvoleno historicky, podle obvykle prováděných měření. Tento bod je znázorněn na Obr. 14. Umístění teplotně-vlhkostních čidel nezáleží tedy pouze na osách x a y, ale také na výšce, v které bývají mikrofony obvykle usazovány. Vzhledem k tomu, že po umístění jednoho senzoru na referenční bod jsou k dispozici pro měření poloh mikrofonů pouze zbylé dva senzory, je výhodné si dopředu rozplánovat jejich umístování. Tím se urychlí jejich manipulace a také zajistí dostatečný dosah všech konektorů od senzorů k dataloggeru Almemo.

Tab. 7.: Souřadnicový systém rozmístěných mikrofonů v dozvukové komoře FEL.

Mikrofon	X	Y	h
M2	1,3	2,64	1,6
M3	3,7	3,84	1,7
M4	5,3	3,64	1,3

Mikrofon	X	Y	h
M5	5	2,04	2,6
M6	3,9	2,64	1,8
M7	2,7	4,24	2,1
M9	2,5	3,04	1,5
M10	1,3	1,44	1,3
M11	5	1,04	1,8
M12	2,1	2,24	1,5
M13	1,7	3,64	2,6
M16	3,3	1,24	1,3

Na následujícím obrázku (Obr. 14) je graficky zobrazen způsob, jak co nejvýhodněji rozmístit stativy se senzory. Jeden stativ se bude využívat na vyšší polohy senzorů (od 1,7 m do 2,6 m) a druhý na nižší pozice (od 1,3 m do 1,6 m). Dále je zde očíslováno i pořadí využívání senzorů. Především se tak zbytečným prodlevám při nastavování různých výšek.



Obr. 14.: Nejvýhodnější využití stativů pro senzory. Modrou barvou jsou vyznačené senzory umístěné na vyšším stativu a zelenou barvou senzory na nižším stativu.

4.4 Zahnutí ovlivňujících faktorů

Jak již bylo v předchozích kapitolách zmíněno, ovlivňujícími faktory pro změnu mikroklimatu může být například chod klimatizace, vlastní teplotní a vlhkostní kapacita prvku, otevření dveří do komory nebo vliv člověka. Pro většinu měření, které v dozvukových komorách probíhají, je velmi důležité, udržet po celou dobu měření neměnné teplotní a vlhkostní podmínky. Ideální klima se nastavuje několik hodin před zahájením měření a je zajišťováno pomocí klimatizace, která v místnosti nastaví správný poměr

teploty a vlhkosti. Je teď ovšem otázkou, do jaké míry ovlivní průběh dlouhodobého měření s takto vhodně nastavenými podmínkami například vstup člověka do komory, který potřebuje přenastavit měřící zařízení nebo přesunout měřený objekt. Je proto zásadní, sledovat vlivy těchto faktorů v závislosti na čase. S tím souvisí četnost a doba měření. Všechna měření jsou navržena na měření do doby, kdy se teplota a vlhkost v akustické místnosti ustálí. Tento stav nastává po cca 20 - 30 minutách. A všechny experimenty se budou měřit s četností 0,1 s.

4.5 Vybrané měřicí metody

Pro měření mikroklimatu v dozvukové komoře FEL bylo zvoleno několik metod a to takovým způsobem, aby měření co nejvíce odpovídalo reálným provozním podmínkám na pracovišti. Těmito experimenty by se mělo zjistit, do jaké míry narušuje otevření dveří do komory a samotný pohyb lidí v akustické místnosti stav mikroklimatu a případně jakým způsobem by se tomuto jevu dalo zabránit. Co se týče samotného provedení měření, tak se nejprve zjišťoval stav teploty a vlhkosti v ustáleném stavu bez působení vnějšího vlivu a při druhém měření se přidal ovlivňující faktor. V našem případě se na určitou dobu otevřely dveře do dozvukové komory. Následně se podle výsledků dosažených z těchto experimentů postupovalo dále. Pokud by výsledky těchto dvou měření ukázaly, že docházelo k nežádoucím změnám mikroklimatu, další experimenty by se orientovaly na způsob zlepšení klimatických podmínek. V opačném případě by se přešlo na měření, při kterých by se zjišťovalo rozložení vzduchu v místnosti a celkové monitorování běžných podmínek, kterými jsou například vypnutí klimatizace nebo výskyt osob v dozvukové komoře.

Vedle monitorování teploty a vlhkosti v dozvukové komoře se navíc porovnávaly informace o stavu mikroklimatu pomocí senzorů umístěných uvnitř místnosti a údajů udávaných ovládacím systémem klimatizace TRONIC 2008E. Sensory, které udávají informace o teplotě a vlhkosti v dozvukové komoře pro ovládací systém, jsou umístěny v prostorách potrubí cirkulační jednotky a stav klimatu v akustické místnosti se pouze dopočítává. Ve výsledcích této diplomové práce jsou proto uvedeny také odchylky naměřených dat od informací podávaných ovládacím systémem, aby se tímto stanovilo, do jaké míry je vhodné využívat data získaná pomocí systému TRONIC.

4.5.1 Měření č. 1

Při prvním měření se senzory situovaly na pozice, kde bývají umístěny mikrofony. Těchto mikrofonů je dvanáct a jejich rozmístění je znázorněno na již zmíněném Obr. 14 a v Tab. 7, kde jsou vypsány jejich souřadnice. Pro měření mikroklimatu v těchto bodech byly vybrány tři senzory, které byly umístěny následovně. Jeden senzor byl položen na tzv. referenčním místě, které zůstalo po celou dobu měření stejné, a další dva senzory měřily vždy proti tomuto jednomu bodu a postupně se umisťovaly na polohy zmíněných mikrofonů. Celkově se měřilo tedy šest variant. Měření každé varianty se provádělo po dobu 20 min a senzory zaznamenávaly hodnoty každých 0,1 s. Naměřená data byla po dokončení experimentu převedena do počítače a následně zpracována do tabulek a grafů.

4.5.2 Měření č. 2

Toto další měření bylo sestaveno na základě prvního. V bodech, kde byly v prvním experimentu naměřeny největší rozdíly hodnot oproti referenčnímu bodu, byly opět umístěny senzory. A stejně jako v první metodě byl jeden senzor použit jako referenční. Tentokrát se měřilo nejprve po dobu 10 min a poté se na 35 min otevřely dveře spojující dozvukovou komoru a akustickou laboratoř. Senzory se nechaly bez přerušení snímat mikroklima komory s opět stejnou četností záznamu hodnot, tedy 0,1 s. Podle zjištěných výsledků se poté postupovalo při následujících měřeních.

4.5.3 Měření č. 3

V případě, že by došlo k podstatným rozdílům teploty a vlhkosti při otevření dveří do komory, následoval by experiment, při kterém se nechají na 30 min otevřené dveře, a zároveň se zapne ventilátor. Rozmístění senzorů by bylo stejné jako v případě druhého měření, stejně tak četnost zaznamenávaných hodnot a také doba měření. Měření by probíhalo tak, že by se opět nechala nejprve dozvuková komora uzavřená, a v té by se po dobu 10 min nechalo snímat mikroklima (do ustálení vzduchu) a poté se zajistilo otevření dveří a spuštění ventilátoru po dobu cca 35 min. Tímto experimentem by se zjistilo, do jaké míry a případně za jaký čas je možné zabránit nežádoucí změně klimatu v dozvukové komoře při narušování neměnných podmínek z důvodu otvírání dveří.

V opačném případě, pokud by předešlé dva testy proběhly pozitivně a nedošlo tedy k velkým rozdílům teploty a vlhkosti při běžném provozu v dozvukové komoře, následovaly by experimenty, při kterých by se detailněji proměřovalo postupné rozložení

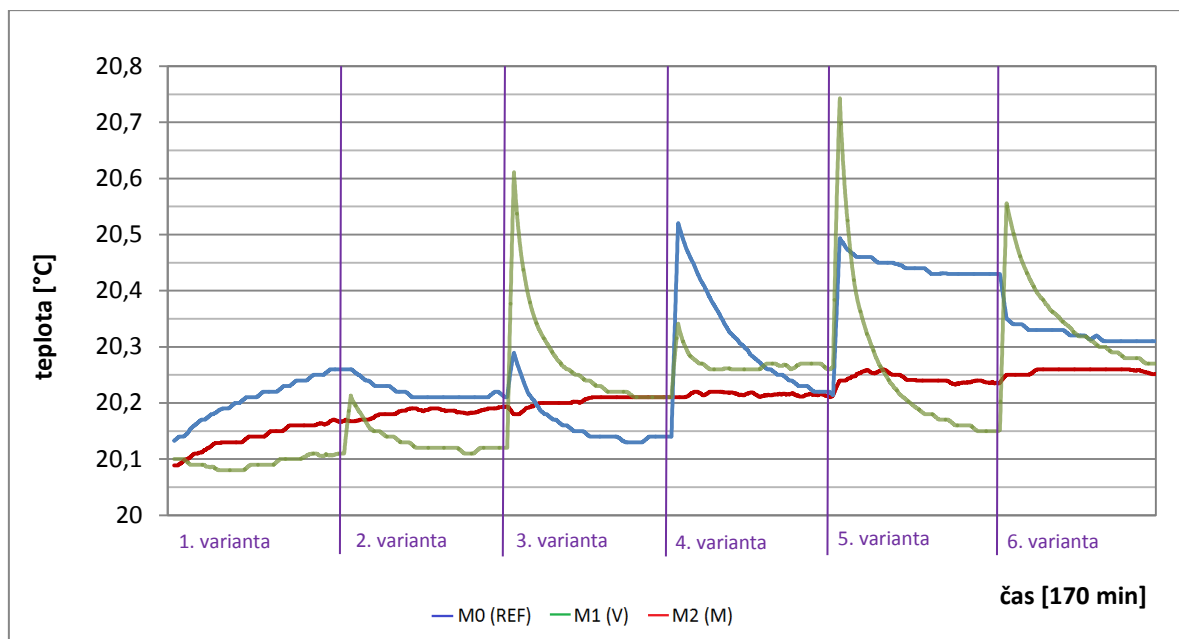
teploty a vlhkosti vzduchu v komoře. Nejprve se provedlo měření, kde se upevnily na jeden stativ dva senzory ve výšce 100 a 200 cm a při dalším měření ve výšce 10 a 50 cm. Třetí sensor zůstal opět na neměnném referenčním místě v rohu místnosti. Při obou měřeních byl stativ se senzory umístěn do středu komory. Tato dvě měření probíhala totožně a to tak, že se nejprve vše v dozvukové komoře připravilo k měření a poté se uzavřely dveře a zapnula klimatizace. Klimatizační jednotka ochlazovala komoru na požadovaných 20 °C a zvlhčovala vzduch na 62 %. Když hodnoty podle klimatizační jednotky dosáhly požadovaného nastavení, bylo možné cirkulační jednotku vypnout a počkat na její doběh, který nastal přibližně po 5 min. Před tím, než se otevřely dveře do dozvukové komory, se nechala ještě ustálit teplota a vlhkost po dobu 18 min. Dveře se nechaly otevřené do konce měření, tzn. po dobu 60 min. Tímto měřením by se mělo zjistit, aniž by bylo manipulováno se senzory, jak probíhá ustalování teploty a vlhkosti při několika minutovém větrání místnosti a také se tím zároveň určilo, i v jakých výškách se největší změny teploty a vlhkosti projeví.

Poslední typ měření byl postaven na kontinuálním monitorování klimatických podmínek uvnitř komory při jejím vystavení mnoha vlivům v rámci jednoho uceleného měření. První část měření byla založena na měření ustáleného stavu v akustické místnosti po dobu 15 min v prostoru dveří, kde byly opět umístěny dva senzory ve výšce 100 a 200 cm a po této době se otevřely dveře do komory. Měření probíhalo po dobu 20 min, aby se zjistilo, jakým tempem docházelo ke změně vnitřního klimatu. Po uplynutí této doby se senzory přemístily na jiný měřicí bod v komoře a to z prostoru u dveří do zadní části komory a opět se uzavřely dveře do komory. Senzory se nechaly takto snímat mikroklima dalších 20 min. Přesné prostorové rozmístění stativů je vidět na Obr. 15, který je umístěn v kapitole 4.6.3.

4.6 Výsledky měření

4.6.1 Měření č. 1

Na následujících grafech (viz Graf 4 a Graf 5) lze vidět celkový průběh teploty a vlhkosti z měření č. 1, kde se měřil ustálený stav pro 6 variant umístění mikrofonů. Jednotlivé průběhy jsou uvedeny v příloze na konci této diplomové práce. Na grafech je červenou barvou vyznačen referenční sensor M0, se kterým se v průběhu měření nehýbalo a zelenou a modrou barvou zbylé dva senzory M1 a M2, na kterých je vždy vidět teplotní a vlhkostní skok, který nastal důsledkem přemístování stativů.



Graf 4.: Celkový průběh teplot (všechny varianty).

S měřením první varianty se začalo ve chvíli, kde podle ovládacího panelu cirkulační jednotky bylo dosaženo požadované teploty a vlhkosti na hodnotě 20 °C a 62 %. Při těchto hodnotách je dozvuková komora plně připravena a může se vypnout klimatizační jednotka. Po vstupu do komory, je důležité ještě navíc nezapomenout na uzavření průduchů klimatizace a poté se již mohou umístit senzory na první měřicí pozice.

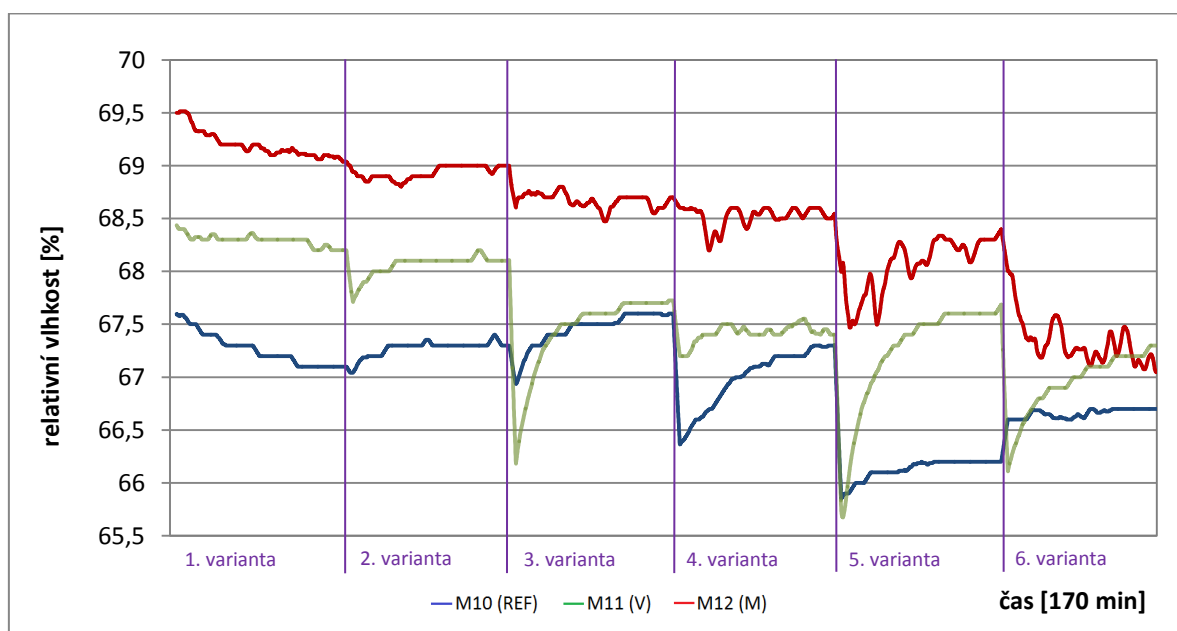
Z grafu s celkovým průběhem teploty lze vidět, že referenční senzor (s označením M0), který byl na svém místě umístěn již před začátkem ochlazování místnosti, a se kterým se nemuselo již více manipulovat, začal snímat při teplotě 20,09 °C, což byla přesně požadovaná hodnota teploty, pokud se vezmou v potaz přesnosti senzorů, které činí $\pm 0,1$ °C. V rámci všech šesti variant, které se v místnosti provedly, a které dohromady zabraly něco málo přes 120 min, se teplota tohoto čidla zvýšila o 0,17 °C, tedy na hodnotu 20,26 °C.

Senzor s označením M1 se umisťoval na stativy s vyššími polohami (1,7 – 2,6 m) a při zahájení měření naměřil hodnotu teploty 20,13 °C. Nepatrné zvýšení této počáteční teploty (oproti referenčnímu senzoru M0) bylo způsobeno jeho usazováním do stativu před začátkem měření, podobně jako následující teplotní skoky, které dosahují tím vyšších hodnot, čím déle s nimi bylo manipulováno. Teplota zaznamenaná čidlem M1 se na konci měření šesté varianty vyšplhala na hodnotu 20,31 °C, což je o 0,18 °C více než na začátku měření. Víceméně ten samý průběh zaznamenal i senzor M2, který snímal teplotu v nižších výškách (1,3 – 1,6 m) a jeho počáteční teplota 20,1 °C se na konci zvýšila o 0,17 °C.

Z těchto výsledků je tedy patrné, že i když je s měřicími prvky manipulováno, tak po ustálení teploty mají mírně ohřátá čidla tendenci se ve většině případů vracet na původní teplotu. Všechny senzory naměřily takřka stejný posun teploty a to o cca 0,17 °C, což je v rámci požadovaných hodnot mikroklimatu dozvukové komory zanedbatelný posun.

Další závěr, který z těchto hodnot plyne, je takový, že teplota u vyšších senzorů (2,6 m), které byly umístěny na pozice M5 a M13 při variantách 5 a 6, se již nedokázala po ustálení vzduchu vrátit na původní hodnoty. Je to logický důsledek rozmístění vzduchu v místnosti, protože ve vyšších polohách nedochází tolik k rozdmýchání vzduchu (jedná se o prostor nad výškou člověka) a také je zde vyšší teplota z toho důvodu, že teplý vzduch se pohybuje směrem nahoru.

Na následujícím grafu (Graf 5) je vidět celkový průběh stejných šesti variant, tentokrát ale při snímání vlhkosti.



Graf 5.: Celkový průběh vlhkostí (všechny varianty).

Z tohoto grafu je vidět, že křivky relativní vlhkosti měly podobný průběh jako teplotní, avšak s opačnou tendencí. Z referenčního senzoru M0 lze vyčíst, že hodnota vlhkosti se po celou dobu probíhajících měření neustále snižovala. Z hodnoty 69,5 % na 67,2 %, což dělá rozdíl 2,3 %. To je opět vzhledem k udávaným pásmům přesností senzorů (± 2 %) téměř zanedbatelné procento.

U dalších dvou čidel M1 a M2 je vidět stejný pokles, který je navíc narušován jejich manipulací, kde došlo k rychlému snížení koncentrace vlhkosti a jejího následného

ustalování. M1 se snížilo z hodnoty 67,7 % o 1 % a senzor M2 z 68,5 % o 1,2 %.

Z grafu je také patrné, že výsledné hodnoty všech tří senzorů se setkávají na téměř stejných hodnotách, avšak začátek měření začal u referenčního čidla na vyšších procentech vlhkosti než u zbylých dvou, se kterými bylo manipulováno. Proto je při porovnávání poklesů vlhkosti největší rozdíl právě u senzoru M0.

A opět jako u teplotního grafu, nedochází u senzoru M1 při variantách 5 a 6 k opětovnému navrácení k původním hodnotám vlhkosti po ustálení vzduchu z důvodu suššího vzduchu ve vyšších polohách.

V následujících tabulkách je přehled naměřených hodnot teploty a vlhkosti pomocí senzorů umístěných v komoře a dat na displeji ovládacího panelu klimatizační jednotky.

Tab. 8.: Porovnání naměřených teplotních dat z měření 1 s klimatizační jednotkou.

čas	M0 [°C]	M1 [°C]	M2 [°C]	Průměr M0,M1,M2	čas	klimatizace [°C]
9:00	20,09	20,13	20,10	20,11	8:49	20,1
9:30	20,16	20,25	20,19	20,20	9:24	21,8
9:50	20,20	20,21	20,12	20,18	9:52	21,6
10:02	20,18	20,32	20,71	20,40	9:55	21,6
10:22	20,21	20,14	20,21	20,19	10:25	21,4
11:02	20,24	20,49	20,76	20,50	10:55	21,7
11:30	20,25	20,35	20,54	20,38	11:23	21,8

Ovládací jednotka klimatizace ukazovala v průměru o 1,15 °C vyšší hodnotu teploty. Ale počáteční hodnota byla stejná jako průměr všech měřených senzorů. Je tedy vidět, že i vzhledem k tomu, že cirkulační jednotka nemá umístěné senzory přímo v prostoru komory, ale pouze v potrubí klimatizace, jsou výsledky velmi podobné reálnému stavu v komoře.

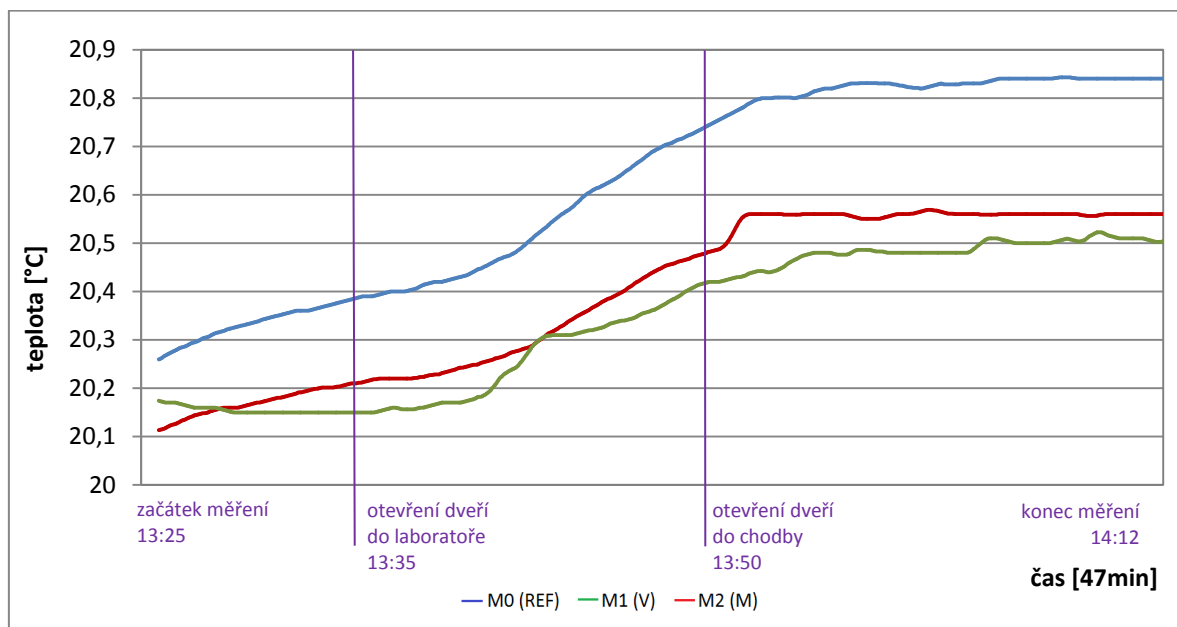
Tab. 9.: Porovnání naměřených vlhkostních dat z měření 1 s klimatizační jednotkou.

čas	M10 [%RH]	M11 [%RH]	M12 [%RH]	Průměr M10,M11,M12	čas	klimatizace [%RH]
9:00	69,5	67,7	68,5	68,57	8:49	61,5
9:30	68,9	67,1	67,8	67,93	9:24	62,8
9:50	69,0	67,3	68,1	68,13	9:52	63,6
10:02	68,2	67,0	66,0	67,07	9:55	63,5
10:22	68,7	67,6	67,7	68,00	10:25	62,6
11:02	68,1	65,8	65,6	66,50	10:55	61,6
11:30	68,0	66,6	66,2	66,93	11:23	61,0

Ovládací jednotka klimatizace v případě vlhkosti ukazovala v průměru o 5,22 % nižší hodnotu vlhkosti. A počáteční hodnota byla nižší o cca 7 % než průměr všech měřených senzorů. V tomto případě se klimatizace již na začátku mírně odkláněla od naměřených hodnot, ovšem opět vzhledem k možným nepřesnostem měření není rozdíl 5 % nijak alarmujícím zjištěním.

4.6.2 Měření č. 2

Další měření mělo za úkol zjistit, do jaké míry ovlivní otevření dveří do komory stav teploty a vlhkosti uvnitř dozvukové místnosti. Poloha, kam se senzory umístily, se určila podle toho, při jaké variantě měly senzory M1 a M2 největší odchylku od referenčního (M0). Tato odchylka činila 0,2 °C a vznikla při variantě 5 se senzorem M1. Na grafech č. 6 a 7 jsou zobrazeny průběhy, kdy se senzory umístily právě na polohy mikrofonů M2 a M5. Snímání teploty a vlhkosti probíhalo prvních cca 10 min v uzavřené komoře, následně se na 15 min otevřely dveře do sousedící laboratoře a poté se na zbylý čas 20 min otevřely dveře, které oddělují laboratoř a chodbu. Celé měření probíhalo 47 min. Senzory jsou v grafech značeny opět stejnými barvami a svislou přímkou jsou značeny činnosti, které byly v daný čas provedeny.



Graf 6.: Teplotní průběh při otevření dveří.

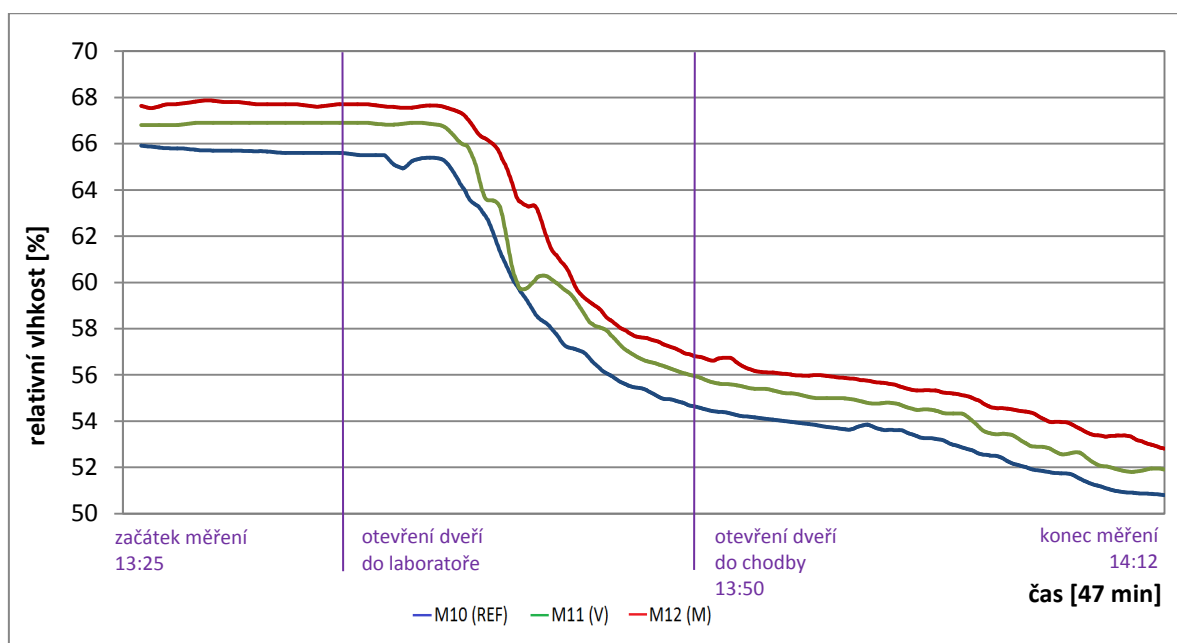
Pokud se bude opět nejprve pozorovat chování referenčního senzoru M0, tak lze vidět, že po otevření dveří do laboratoře teplota vzrostla za 15 min o 0,25 °C (z 20,22 °C na 20,47 °C) a po dalším vpuštění vzduchu z chodby sousedící s laboratoří se teplota ustálila na hodnotě 20,56 °C. Což je od původní teploty 20,1 °C rozdíl necelých 0,5 °C.

Senzor M1, který byl umístěn na nejvyšším bodě místnosti ve výšce 2,6 m naměřil také i nejvyšší hodnoty teploty jak v průběhu, tak po ustálení. Rozdíl prvního otevření dveří činil 0,34 °C a koneční ustálení se pohybovalo na hodnotě 20,84 °C, které činí celkový rozdíl od začátku měření 0,59 °C.

Senzor umístěný v nižší poloze (1,6 m) naměřil hodnoty o něco nižší. Hodnota teploty na začátku měření činila 20,18 °C, která se postupně zvyšovala a rozdíl teploty při otevření dveří do laboratoře a dalším otevřením dále do chodby činil 0,26 °C. Konečné ustálení se dostalo na hodnotu teploty 20,51 °C. Celkový rozdíl naměřených hodnot tohoto senzoru je 0,33 °C, což je nejméně ze všech tří senzorů.

Výsledkem měření je, že cca půl hodinové větrání dozvukové komory má menší vliv na vzduch vyskytující se v nižších polohách (pokles o cca 0,3 °C) a větší na teplotu ve vyšších polohách (rozdíl až 0,6 °C). Což odpovídá i logickým předpokladům.

Další graf (Graf 7) popisuje to samé měření, v tomto případě však z pohledu vlhkosti, kde všechny tři senzory dosahují velmi podobných hodnot.



Graf 7.: Měření průběhu vlhkosti při otevření dveří.

Referenční senzor se z počáteční hodnoty 67,7 % při otevření dveří do laboratoře snížil o 10,9 % na hodnotu 56,8 % a po otevření dveří dále do chodby se hodnoty ustálily na 52,8 %. Celkový rozdíl činil 14,7 %.

Stav vlhkosti, kterou monitoruje senzor M1 a M2 se pohybovala s minimálními rozdíly. Výše umístěný senzor M1 začal snímat na hodnotě 66 % a při otevření dveří do laboratoře činila vlhkost 65,5 %, která poté klesla na 54,7 % (rozdíl činí 10,8 %). Konečné ustálení tohoto senzoru se pohybovalo na hodnotě 50,8 % a celkový rozdíl půl hodinového větrání komory dosahoval 15,2 %. Senzor M2 dosáhl rozdílu počáteční a koncové hodnoty přesných 15 %.

Jak je vidět, různé výšky senzorů v místnosti, nepřinesly žádné patrné rozdíly rozložení vlhkosti ve vzduchu. Celkový rozdíl vlhkosti při otevření dveří do komory po dobu přibližně 30 min činil cca 15 % pro jakkoliv umístěný senzor v komoře.

V následujících dvou tabulkách (Tab. 10 Tab. 11) je uvedeno srovnání naměřených dat v dozvukové komoře s hodnotami, které udává klimatizační jednotka. Výsledky jsou zaznamenané v čase 13:35, což se jedná o dobu, kdy došlo k otevření dveří do laboratoře.

Tab. 10.: Rozdíl naměřených teplot a klimatizace při otevření dveří.

	M0 [°C]	M1 [°C]	M2 [°C]	průměr [°C]	klimatizace [°C]
13:35	20,22	20,39	20,15	20,25	22,3

Tab. 11.: Rozdíl naměřených vlhkostí a klimatizace při otevření dveří.

	M10 [%]	M11 [%]	M12 [%]	průměr [%]	klimatizace [%]
13:35	67,7	65,5	66,9	66,70	58,7

Z tabulek vyplývá, že informace podávané regulační jednotkou klimatizace nejsou nijak vážně odchýlené od hodnot měřených v komoře. Pro teplotu je údaj z klimatizace o 2,08 °C vyšší, než skutečná naměřená hodnota v komoře na referenčním místě. A pro vlhkost je údaj z klimatizační jednotky také poměrně věrohodný. S referenčním senzorem se klimatizace rozchází o 8 %.

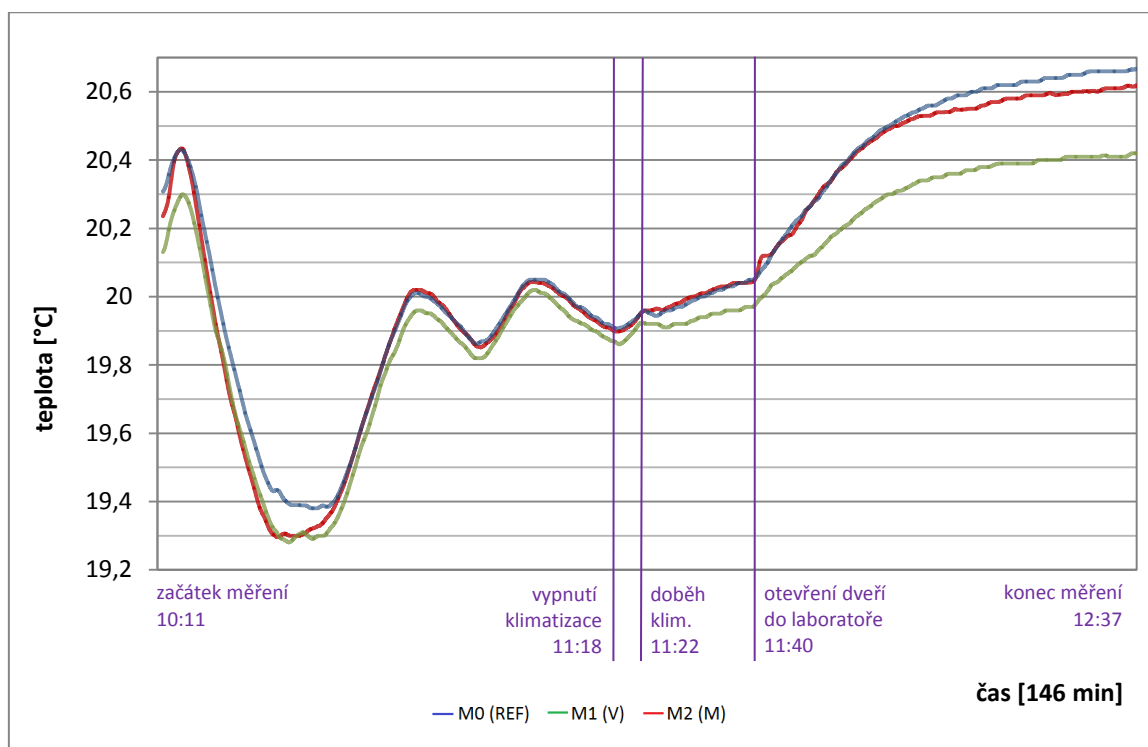
4.6.3 Měření č. 3

V těchto dalších měřeních bylo provedeno snímání teploty a vlhkosti v několika výškách a prvotní ustalování senzorů bylo provedeno při zapnuté ventilaci, aby nemohlo dojít k nežádoucím změnám způsobených ohřátím senzorů při jejich přemístování. Při prvním měření byly umístěny dva senzory ve výškách 100 a 200 cm a při dalším v 10 a 50 cm. Třetí senzor byl vždy umístěn na referenčním místě. Ve variantě, kde byly umístěny

senzory v nižších polohách, byly také detailněji zaznamenávány hodnoty z ovládací jednotky klimatizace. Poslední měření bylo postaveno na zmapování stavu teploty a vlhkosti při opětovném uzavření komory a přesunu senzorů na jiné místo v prostoru komory. Nejprve si uvedeme informace z měření při vyšších polohách senzorů.

- **Senzory ve výšce 100 a 200 cm**

Na následujícím grafu jsou znázorněny teplotní průběhy pro vyšší polohy senzorů, kde se na začátku měření nejprve počkalo na ustálení mikroklimatu na požadovaných hodnotách a až poté došlo k otevření dveří.

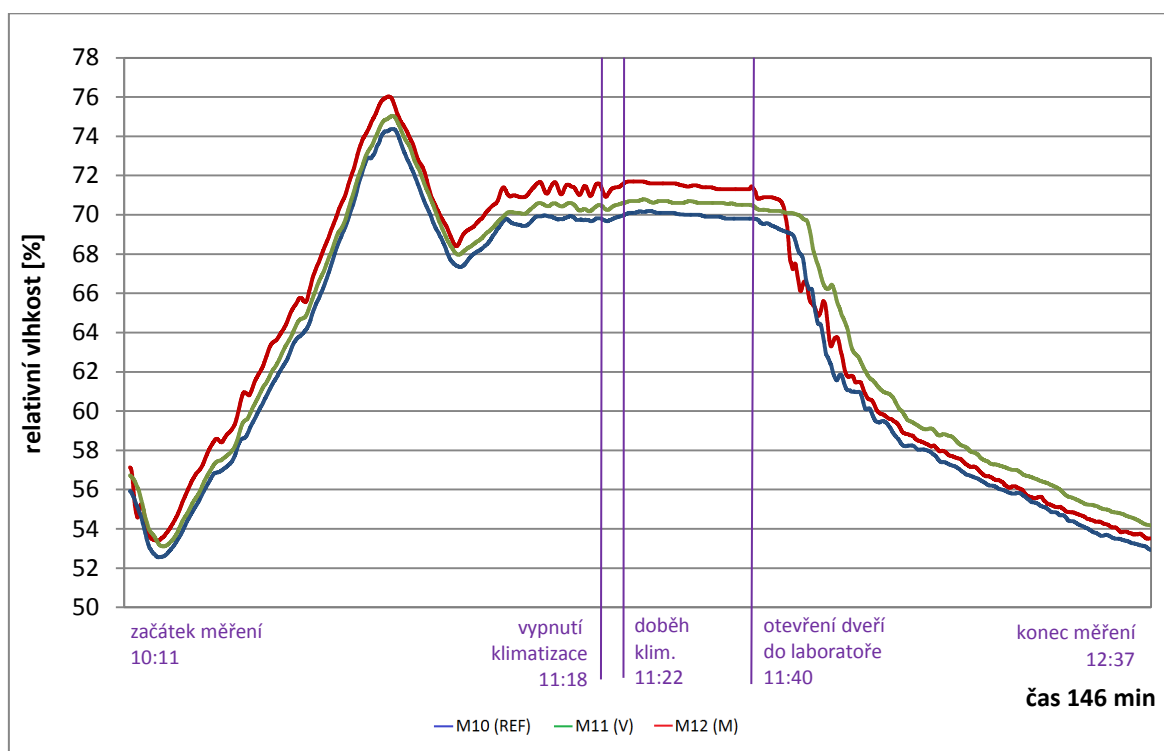


Graf 8.: Teplotní průběh pro senzory ve výšce 100 a 200 cm.

Graf 8 tedy popisuje stav teploty v komoře, kde první úsek znázorňuje zapnutí klimatizace a ustalování teploty okolo požadované hodnoty, tedy 20 °C. Vypnutí klimatizace nastalo po přibližně 60 min, protože bylo nutné ještě počkat na ustálení vlhkosti na požadované hodnotě. Jak je vidět, senzor (M0) umístěný na referenčním místě ukazoval hodnoty pohybující se mezi hodnotami 19,8 až 20 °C. Po vypnutí klimatizace ukazoval referenční senzor 19,94 °C a klimatizační jednotka teplotu 19,6 °C. Již od vypnutí klimatizace do jejího doběhu se teplota nepatrně zvedla, ovšem jedná se o desetinu stupně. K dalšímu mírnému zvýšení teploty také došlo pouhým ukončením veškerého ochlazování komory. Tepelné mikroklima se v komoře za dobu 18 min zvedlo dle referenčního senzoru o 0,1 °C. Otevření dveří mělo na teplotu větší vliv a je vidět, jak

křivky všech použitých senzorů znatelně vzrůstají. Příval teplejšího vzduchu z vedlejší laboratoře měl viditelně nejmenší vliv na senzor umístěný ve výšce 100 cm – tudíž v nejnižším bodě. Referenční senzor se nachází výšce 140 cm a navíc je jeho umístění přímo proti dveřím, takže veškerý vzduch od dveří proudí přímo k tomuto senzoru. Výsledky korespondují s logickou úvahou, že teplejší vzduch se pohybuje směrem nahoru. Otevřené dveře do komory po dobu cca 1 hodiny mělo na referenční senzor M0 a senzor ve výšce 200 cm (M1) přibližně stejný vliv. Jejich teplota vzrostla o 0,6 °C. Senzor ve výšce 100 cm zaznamenal zvýšení teploty pouze o 0,4 °C.

Na dalším grafu (Graf 9) je vidět průběh měřené vlhkosti, kde zaznamenaly všechny tři senzory opět velmi podobné údaje.

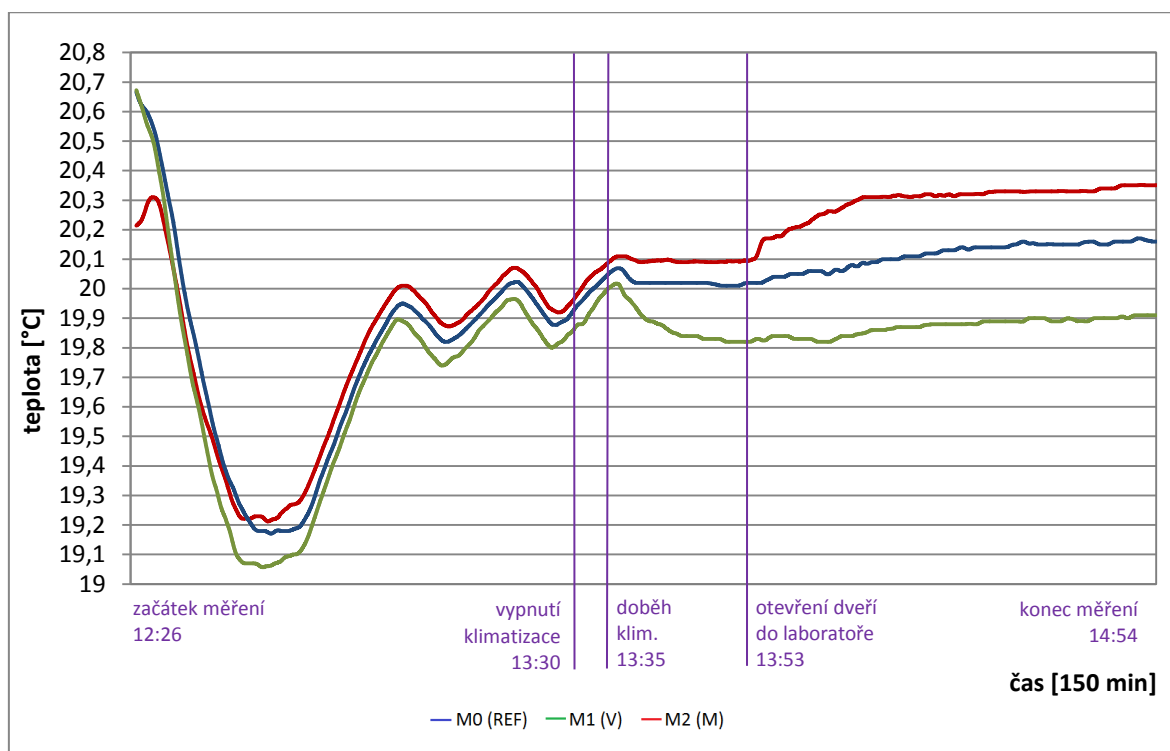


Graf 9.: Vlhkostní průběh pro senzory ve výšce 100 a 200 cm.

I v tomto grafu je v jeho levé části vidět vliv zapnutí ventilace a tudíž vlhčení komory. Po několika vlnách se dle referenčního senzoru M0 vlhkost ustálila na hodnotě okolo 71 %. Podle údajů na klimatizační jednotce, byla hodnota vlhkosti 66,3 %. Po vypnutí klimatizace se oproti teplotě vlhkost nezměnila. Pokles nastal až po otevření dveří. Zde ovšem nejsou patrné žádné rozdíly mezi jednotlivými senzory. Rozdíl mezi dobou, kdy došlo k otevření dveří a ukončením měření je 17 %. Jak je vidět, křivka ještě není plně ustálená, ale pro účely zjištění rychlosti poklesu vlhkosti je informace plně dostačující.

- **Senzory ve výšce 10 a 50 cm**

Další měření představuje tentýž průběh ovlivňujících faktorů mikroklimatu v dozvukové komoře jako měření předešlé, jen s tím rozdílem, že senzory tentokrát měřily ve výškách 10 a 50 cm. Veškeré průběhy jsou znázorněny v následujících grafech (Graf 10, Graf 11) a navíc zde byly i detailněji zaznamenávány informace o teplotě v dozvukové komoře také z ovládacího systému klimatizace. Údaje z klimatizační jednotky jsou vypsány v Tab. 12 a Tab. 13 a také graficky znázorněné v grafech 12 a 13. V grafu pod tímto odstavcem můžete vidět teplotní průběh pro senzory ve výškách 10 a 50 cm.

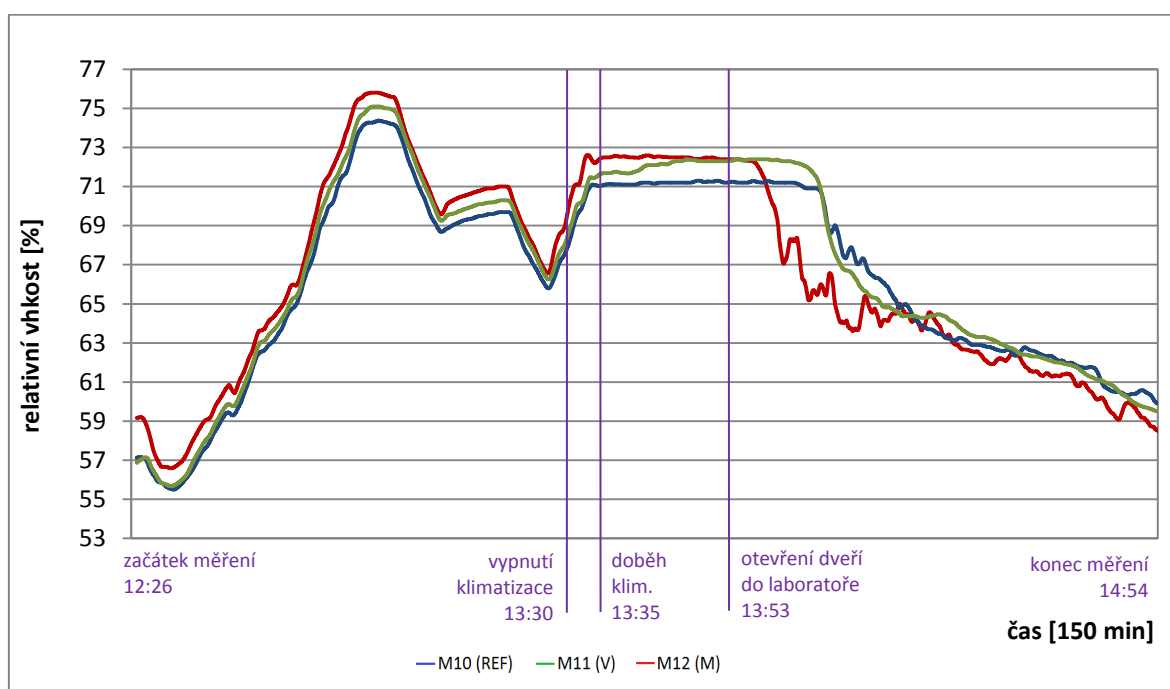


Graf 10.: Teplotní průběh pro senzory ve výšce 10 a 50 cm.

Stejně jako v grafech u předešlého měření je v levé části grafu vidět ustalování teploty, které je způsobeno spuštěním klimatizace. Klimatizační jednotka byla vypnuta v době, kdy se jevílo, že teplota se pohybuje okolo požadovaných 20 °C a také vlhkost dosahuje stejných hodnot jako při měření předcházejícím. Klimatizace byla vypnuta v čase 13:30 a její doběh nastal v 13:35 a za tuto dobu teplota u referenčního senzoru vzrostla o 0,11 °C. Po doběhnutí klimatizace se nechala teplota v dozvukové komoře opět ustálit po stejnou dobu 18 min, kde je podle grafu vidět, že referenční senzor M0 nezaznamenal žádné teplotní rozdíly a stejně tak senzor umístěný ve výšce 50 cm (M1). Mírný pokles změřil pouze senzor M2, který byl umístěn na stativu uprostřed místnosti ve výšce 10 cm nad podlahou. Tento rozdíl činil 0,19 °C. Po dobu, kdy byly otevřené dveře do dozvukové

komory, senzory nezaznamenaly tak veliké oteplení, jako v případě předchozího měření, kdy byly senzory umístěné ve výškách 100 a 200 cm. Nejmenší nárůst teploty nastal opět dle logických předpokladů u nejnižše umístěného senzoru M2 a největší u referenčního senzoru M0, který je umístěn ve stále stejné výšce 140 cm.

Další graf (Graf 11) popisuje vlhkostní průběh pro umístění senzorů ve výškách 10 a 50 cm, kde počáteční stav pro počítání rozdílů a odchylek nastal při vypnutí klimatizace, kdy referenční senzor M0 ukazoval 71 %.



Graf 11.: Vlhkostní průběh pro senzory ve výšce 10 a 50 cm.

Jako v případě měření vlhkosti pro senzory ve vyšších výškách, tak i při doběhu klimatizace a také v situaci, kdy je dozvuková komora uzavřená se zároveň vypnutou klimatizací, nedochází k žádným znatelným změnám relativní vlhkosti ani u jednoho senzoru. Po otevření dveří dojde k poklesu klimatizace, ovšem na rozdíl od měření teploty kopírují všechny tři senzory téměř stejný průběh. Největší rozdíl mezi počátečním stavem při otevření dveří a ukončením měření naměřil referenční senzor M0 a tato hodnota činila 13,9 %. V porovnání s poklesem vlhkosti při měření vyšších výšek byl tento rozdíl menší, a to o 3 %.

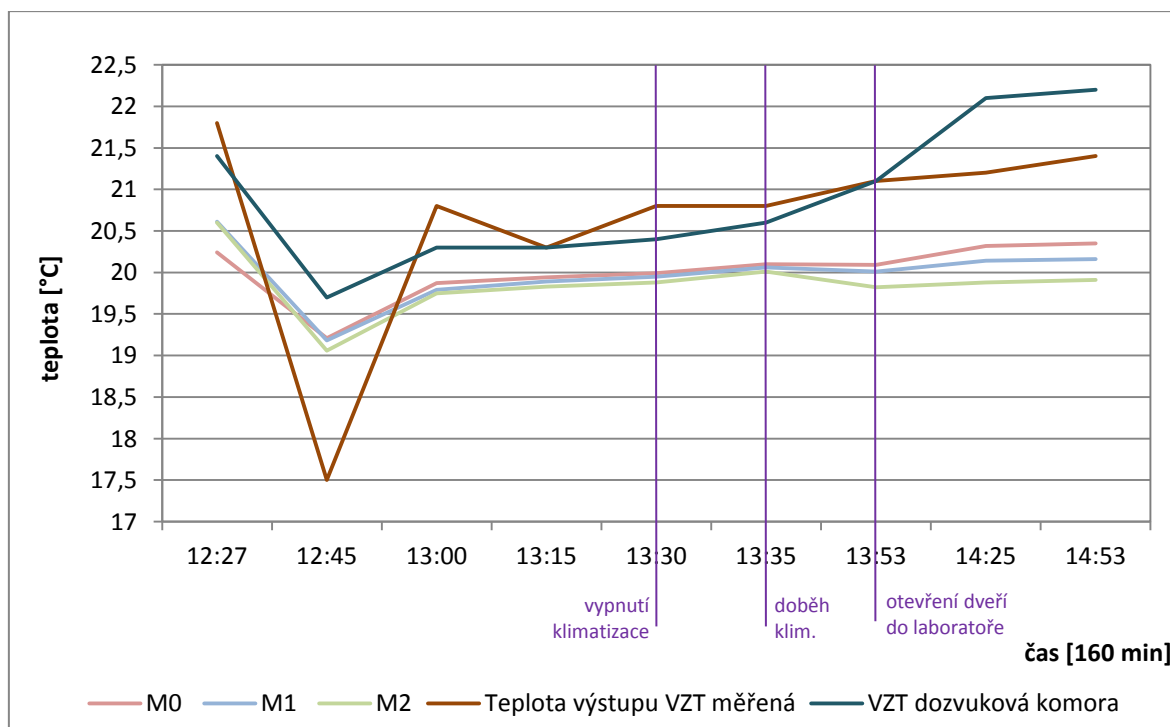
Následující dvě tabulky porovnávají stav teploty a vlhkosti zaznamenané jednotlivými senzory umístěnými v dozvukové komoře, dále je v tabulce uvedena průměrná hodnota těchto senzorů a také hodnoty udávané klimatizační jednotkou a daty, které byly měřeny

v laboratoři. Klimatizační jednotka udávala několik hodnot teploty a vlhkosti. V Tab. 12 sloupec pojmenovaný „teplota výstupu“ značí hodnotu teploty vzduchu, který byl vehnáván do prostoru komory a kolonka „dozvuková komora“ jsou informace, které ovládací jednotka udává jako dopočítávanou teplotu uvnitř dozvukové komory ze senzorů, které jsou umístěné v potrubí cirkulačního systému.

Tab. 12.: Porovnání naměřených teplotních dat z měření 3 s klimatizační jednotkou.

čas	M0 [°C]	M1 [°C]	M2 [°C]	průměr M0,M1,M2 [°C]	Teplota výstupu [°C]	Dozvuková komora [°C]	laboratoř [°C]
12:27	20,24	20,61	20,60	20,48	21,8	21,4	20,8
12:45	19,21	19,18	19,06	19,15	17,5	19,7	21
13:00	19,87	19,79	19,75	19,80	20,8	20,3	21,1
13:15	19,94	19,89	19,83	19,89	20,3	20,3	21,1
13:30	19,99	19,95	19,88	19,94	20,8	20,4	21,2
13:35	20,1	20,06	20,01	20,06	20,8	20,6	21,2
13:53	20,09	20,01	19,82	19,97	21,1	21,1	21,2
14:25	20,32	20,14	19,88	20,11	21,2	22,1	21,1
14:53	20,35	20,16	19,91	20,14	21,4	22,3	21,2

Stejné informace jako v tabulce nad tímto odstavcem jsou popsány také graficky v Graf 12, kde jsou vyznačeny průběhy jednotlivých senzorů, ale také teploty proudícího vzduchu do komory a dopočítávaná teplota komory pomocí regulační techniky.



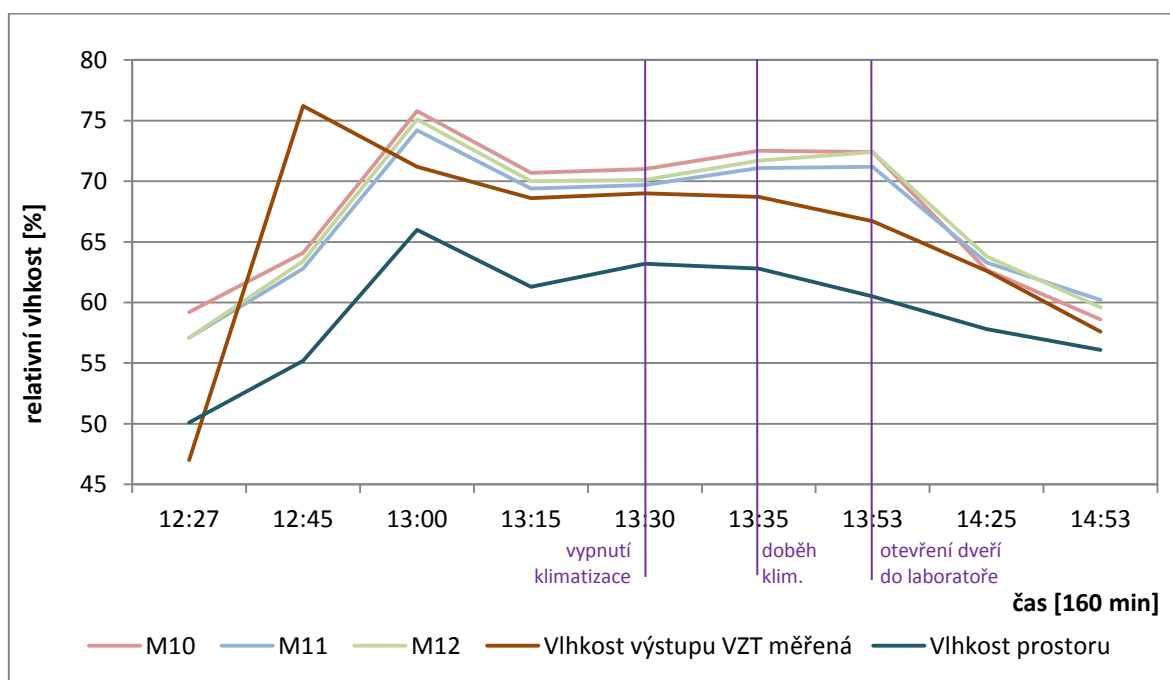
Graf 12.: Porovnání teploty s daty ze senzorů a klimatizační jednotkou.

Podle informací v tabulce a v grafu můžeme vyčíst, že dokud byla klimatizační jednotka v provozu, udávala ovládací jednotka VZT, tedy sloupec pojmenovaný „dozvuková komora“ poměrně reálné hodnoty a tato teplota byla vždy ovlivněna teplotou proudícího vzduchu v potrubí. Po vypnutí však ovládací jednotka naměřila o téměř 2 °C více, než byla teplota změřena pomocí senzorů uvnitř prostoru. Po vypnutí klimatizace odpovídala realitě spíše teplotní bilance udávaná na ovládací jednotce jako „Teplota výstupu VZT měřená“, která je v grafu vyznačena hnědou barvou.

To samé porovnání je možné provést i pro vlhkost, kde je k dispozici opět tabulka s hodnotami (Tab. 13) a také grafické znázornění průběhů relativní vlhkosti (Graf 13).

Tab. 13.: Porovnání naměřených vlhkostních dat z měření 3 s klimatizační jednotkou.

čas	M10 [%]	M11 [%]	M12 [%]	Průměr M10,M11,M12 [%]	Vlhkost výstupu [%]	Vlhkost prostoru [%]	Laboratoř [%]
12:27	59,2	57,1	57,1	57,80	47	50,1	39,8
12:45	64,1	62,8	63,4	63,43	76,2	55,2	41,3
13:00	75,8	74,2	75,1	75,03	71,2	66	42,6
13:15	70,7	69,4	70	70,03	68,6	61,3	44,2
13:30	71	69,7	70,1	70,27	69	63,2	44,4
13:35	72,5	71,1	71,7	71,77	68,7	62,8	44,8
13:53	72,4	71,2	72,4	72,00	66,7	60,5	43
14:25	62,7	63,3	63,8	63,27	62,6	57,8	48
14:53	58,6	60,2	59,6	59,47	57,6	56,1	47,2

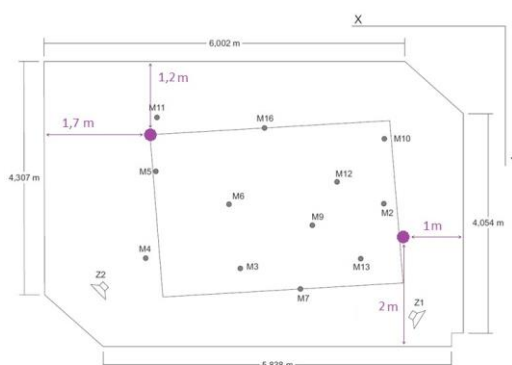


Graf 13.: Porovnání relativní vlhkosti s daty ze senzorů a klimatizační jednotkou.

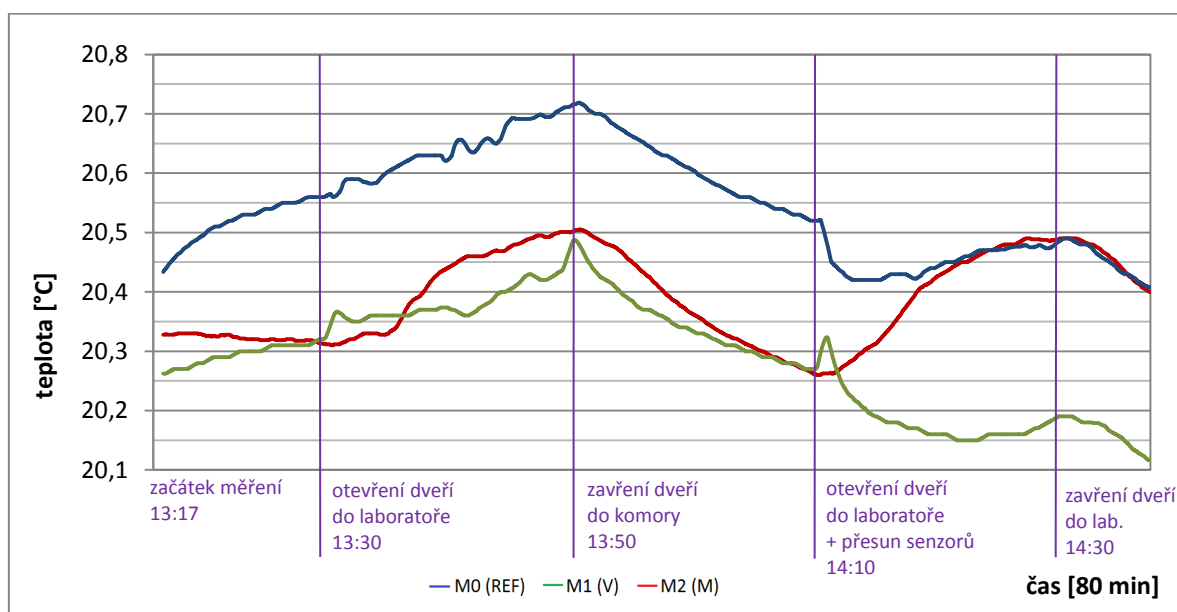
Z tabulek a grafu pro měření relativní vlhkosti vidíme, že křivka značící „Vlhkost prostoru“, což je informace, kterou udávala klimatizační jednotka, velmi podobně kopíruje průběh senzorů, uložených v dozvukové komoře, ovšem s tím rozdílem, že udává o přibližně 10 % nižší hodnoty relativní vlhkosti. Hnědou barvou jde zde opět znázorněna vlhkost, která je do dozvukové místnosti vháněna („Vlhkost prostoru“), a která po vypnutí klimatizace vystihuje stav v dozvukové místnosti přesněji.

- **Otevření a zavření dveří do dozvukové komory**

Posledním typem měření, který v dozvukové komoře proběhl, bylo monitorování stavů, kdy se vícekrát otevrou dveře do dozvukové komory, čímž se zjistí, jakým způsobem probíhají ustalovací procesy při opětovném uzavření komory. Resp. zda je možné, i po krátkém větrání komory, pokračovat v měření, bez opětovného zapnutí klimatizace či využití dalšího větracího zařízení. Body, kde byly umístěny senzory, jsou vidět na následujícím obrázku (Obr. 15).



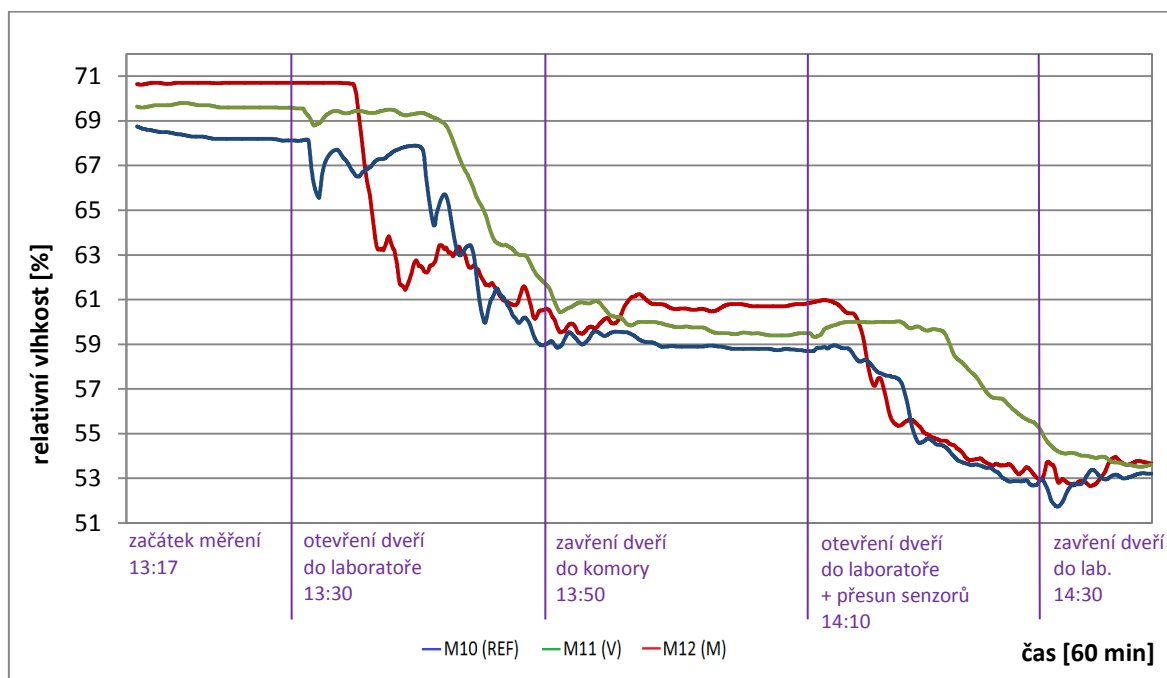
Obr. 15.: Znázornění měřicích bodů pro měření otevření / zavření dveří.



Graf 14.: Opakované otevírání dveří do dozvukové komory v průběhu měření teploty.

Senzory pro toto měření byly umístěny ve výškách 100 a 200 cm nejprve v prostoru dveří a v čase 14:10, po druhém otevření dveří se přesunuly do zadní části dozvukové komory. Dle grafu 14 je vidět počáteční stav teploty, který byl referenčním senzorem M0 po prvotním ustálení vzduchu (13:30) změřen jako 20,32 °C, což bylo stejně jako senzor umístěný ve výšce 100 cm. Senzor ve vyšších polohách naměřil o 0,24 °C více. Otevření dveří mělo na teplotu stejný vliv jako v několika předcházejících měřeních. Uzavření komory v čase 13:50 mělo ale na teplotu vliv takový, že se po téměř 10 min dostala na původní ustálenou hodnotu před větráním prostoru a po dalším čase se teplota dále snižovala. Oproti referenčnímu senzoru, který byl po celou dobu měření na stejném místě, se na grafu projevilo přesunutí senzorů M1 a M2. U níže umístěného senzoru M1, se objevil menší teplotní skok, který byl ale způsoben vlivem člověka a také exponenciální pokles teploty, i ve chvíli, kdy docházelo k větrání prostoru. O něco strmější pokles teploty při přesunu do zadní části komory zaznamenal také senzor M2. Ovšem i v této části komory se po přibližně 10 min začalo projevovat ohřívání místnosti, byť ne tak razantně.

Pokud se podíváme také na měření relativní vlhkosti, zjistíme, že při opětovném uzavření komory docházelo k jinému trendu, než tomu bylo u měření teploty.



Graf 15.: Opakované otevírání dveří do dozvukové komory v průběhu měření vlhkosti.

Na grafu 15 je jasně vidět, že při uzavření komory v čase 13:50 nedocházelo k opětovnému zvýšení vlhkosti, jako tomu bylo u teploty, která po uzavření komory opět klesla. Po uzavření dozvukové komory zůstala hodnota vlhkosti na hodnotě okolo 60 % a

téměř se nezměnila. Z naměřených dat není vidět ani žádný podstatný rozdíl mezi různě umístěnými senzory. Zmínit lze snad jen to, že mikroklima měřené ve výšce 100 cm dokázalo udržet svůj neměnný stav po delší dobu i při působícím vlivu otevřených dveří.

4.7 Zhodnocení

Tato sekce je věnována shrnutí poznatků získaných z naměřených dat. V první řadě jsou zde uvedeny informace získané z měření, jehož cílem bylo zjistit klimatické podmínky při měření dozvuku pomocí dvanácti mikrofonů. Dále je zde popsán zjištěný vliv otevření dveří na teplotu a vlhkost po vypnutí klimatizace a také je zhodnoceno rozložení mikroklimatu v prostoru a nakonec zjištěn stav mikroklimatu udávající ovládací jednotkou klimatizace v porovnání s naměřenými daty pomocí senzorů umístěných uvnitř dozvukové komory.

Pomocí prvního měření, kde se umísťovaly senzory na pozice měřicích mikrofonů, se zjistilo, že největší teplotní odchylky se projevovaly v nejvyšších výškách komory. Je to logický důsledek rozložení teploty v prostoru, protože teplejší vzduch se pohybuje směrem nahoru a ovlivňuje tak více teplotu vysoko umístěných senzorů. Co se týče vlhkosti, na tu mělo různé umístění senzorů oproti referenčnímu bodu pouze mírný vliv. Při tomto měření lze pozorovat i chování mikroklimatu v průběhu celého měření, která spočívá v současném zvýšení teploty a snížení vlhkosti. V obou případech jsou na senzorech patrné vlivy způsobené jejich manipulací. Teplota a vlhkost se ale ve většině případů vždy po určité době vrátila zpět do původního stavu. Výjimky nastávají u vysoko umístěných senzorů, kde se po oteplení senzoru způsobeného vlivem člověka již hodnoty teploty do původního stavu nevrátily.

Měřeními orientovanými na vliv otevření dveří do komory bylo zjištěno, že větrání komory má větší vliv na relativní vlhkost než na teplotu. Při všech měřeních, která se v komoře prováděla, se nedosáhlo, co se týče rozdílu teploty, oteplení ani o 1 °C. Největší oteplení se projevilo u větrání komory po dobu 1 hodiny a to o 0,6 °C. Při zjišťování vlhkostních stavů, se k největším rozdílům oproti nastaveným požadavkům dospělo také při hodinovém větrání komory a to o 17 %. Tento pokles by už měl vliv na měření dozvuku. Dle normy ISO 9613-1 má pokles o 20 % při nižších frekvencích (50 Hz) vliv na součinitel útlumu α zvýšením o $2,14 \cdot 10^{-2}$ dB/km. Při vysokých frekvencích (až 10 kHz) má pokles o 20 % vliv na součinitel podstatně větší. Při poklesu ze 70 % na 50 % se součinitel útlumu zvětší o 41 dB/km.

Rozdíl mezi informacemi podávanými ovládací jednotkou klimatizace a naměřenými daty není příliš velký. Klimatizační jednotka udává hned několik informací o vzduchu v dozvukové komoře. Jeden údaj je označován jako „teplota / vlhkost výstupu VZT měřená“, což popisuje teplotu a vlhkost vzduchu, který je do komory vháněn. Dále cirkulační jednotka udává teplotu v dozvukové komoře popisovanou jako „VZT dozvuková komora“ a vlhkost v komoře s pojmenováním „vlhkost prostoru“, kde se jedná o mikroklimatické podmínky, které vzduchotechnika dopočítává z informací podávaných senzory umístěnými v potrubí klimatizace. Pokud je cirkulační jednotka v provozu, je pro získání přesnějších informací vhodnější sledovat data udávaná jako „VZT dozvuková komora“ a „vlhkost prostoru“, kde je navíc udávána také informace, na jakou požadovanou hodnotu teploty a vlhkosti je chod klimatizace nastaven. Po dosažení požadovaných hodnot, kdy už klimatizační jednotka není nucena vhánět do prostoru o mnoho chladnější a vlhčí vzduch, a zejména delší dobu po vypnutí klimatizační jednotky, jsou informace udávané jako „teplota / vlhkost výstupu VZT“ bližší reálnému stavu, než je tomu u dopočítávaných hodnot. Vzduchotechnika akustických komor udává v průměru o 2 °C vyšší teplotu než je teplota měřená referenčním senzorem a o 8 % nižší relativní vlhkost.

5 Závěr

Cílem této práce bylo zjistit reálný stav mikroklimatu v dozvukové komoře za účelem zajištění vhodných podmínek pro prováděná měření. Působení teploty a vlhkosti má totiž značný vliv na dobu dozvuku, která se v této speciální akustické komoře měří. Míru vlivu teploty a relativní vlhkosti popisuje norma ISO 9613-1, ze které vyplývá, že s rostoucí teplotou a vlhkostí klesá součinitel útlumu, který je potřebný pro výpočet korekce na změnu pohltivosti při měření doby dozvuku prázdné dozvukové místnosti a při umístění měřeného vzorku. Další vlastností, kterou je potřeba v dozvukové komoře zabezpečit, je neměnnost teplotních a vlhkostních podmínek, aby se tak mohla zajistit opakovatelnost některých měření.

V praktické části bylo provedeno několik měření, které nejprve zjišťovaly technický stav využívaných senzorů a poté se již mohlo přejít na monitorování teplotního a vlhkostního stavu komory a zjišťování rozložení vzduchu v místnosti. Nejprve se zjišťoval stav mikroklimatu v místech, kde bývají umístěny mikrofony pro měření doby dozvuku, dále byl zjišťován vliv na teplotu a vlhkost při otevření dveří do komory a poté se zjišťovalo rozložení teploty a relativní vlhkosti v různých výškách a to také při vlivu otevřených dveří do laboratoře sousedící s dozvukovou komorou.

Z výsledků vyplývá především to, že referenční senzor umístěvaný v levém rohu komory u výdechů klimatizace, udává poměrně přesný stav o teplotě a relativní vlhkosti v dozvukové komoře. Lze se tedy na data získaná z tohoto měřeného bodu spoléhat při přípravách měření. Dále je z výsledků patrné, že otevření dveří má větší vliv na stav vlhkosti než teploty. Rozdíl původní nastavené teploty a teploty změřené po hodinovém větrání byl téměř zanedbatelný, ale hodnoty relativní vlhkost na konci měření udávala rozdíl od požadované vlhkosti až 17 %, což již má určitý vliv na dobu dozvuku především při měření vysokých frekvencí. Pro zajištění vhodných podmínek pro měření by se mělo dodržovat několik doporučení, a to jednak po instalaci měřeného prvku nejprve počkat na ustálení vzduchu v dozvukové komoře, a až po cca 20 min začít s měřením, aby se tak zabránilo chybám měření způsobené vlivem člověka. Dále lze pro případné rychlé ochlazení vzduchu v komoře využít přenosného ventilátoru. Také by se mělo dbát na zavírání dveří do komory a to hlavně z důvodu případného poklesu vlhkosti.

Porovnáním informací udávaných ovládací jednotkou klimatizační jednotky s daty naměřenými pomocí senzorů umístěných přímo v prostoru dozvukové komory bylo zjištěno, že je vhodné při zapnuté klimatizaci pracovat s daty, které cirkulační jednotky popisuje jako „VZT dozvuková komora“ pro teploty a „vlhkost prostoru“ pro hodnoty relativní vlhkosti. Po vypnutí klimatizace reálný stav kopírují spíše data uváděná pod názvem „teplota / vlhkost výstupu VZT měřená“. Tyto hodnoty se od stavu měřeného referenčního senzoru v dozvukové komoře odchylovaly pouze o + 2 °C a - 8 %.

Další možností zkoumání mikroklimatu v dozvukové komoře je měření teploty a relativní vlhkosti při umístění různých typů měřených vzorků. Lze předpokládat, že určité porézní materiály, jako například vata, budou obsahovat více vlhkosti, než materiály jako jsou sklo či beton. Dalším předpokladem vhodným ke zkoumání je vliv uskladnění materiálů před umístěním do dozvukové komory či barva samotného měřeného prvku, která by měla vliv na případné větší zahřátí v důsledku vystavení slunečním paprskům před uskutečněním měření v dozvukové komoře.

Seznam literatury a informačních zdrojů

- [1] „Den otevřených dveří 2017“, 2016. [Online]. Dostupné z: <https://www.fel.zcu.cz/media/news/index.html?file=/media/news/2016/161122-DOD2017.html>. [Viděno: 10-kvě-2019].
- [2] ČSN EN ISO 354, *Akustika - Měření zvukové pohltivosti v dozvukové místnosti*. Český normalizační institut. Listopad 2003.
- [3] BORÁK Libor, „Předmět Biomechanika 2 - Akustická pole“, Vysoké učení technické v Brně. Fakulta strojního inženýrství, 2011.
- [4] KAŇKA Jan, „Šíření zvuku v uzavřeném prostoru – difúzní zvukové pole“, *Stavební fakulta ČVUT Praha*. [Online]. Dostupné z: <https://stavba.tzb-info.cz/akustika-staveb/227-sireni-zvuku-v-uzavrenem-prostoru-difuzni-zvukove-pole>. [Viděno: 17-led-2019].
- [5] Acoustics Group at the University of Auckland New Zealand, „Rotating Diffuser“, 2016. [Online]. Dostupné z: <https://www.acoustics.auckland.ac.nz/diffuser-a1/>. [Viděno: 10-kvě-2019].
- [6] HIFI HOME ART, „Difúze - difuzory“, 2019. [Online]. Dostupné z: <https://www.hifihomeart.cz/difuzory/>. [Viděno: 10-kvě-2019].
- [7] LTS - Lindgren, „Reverberation Chambers Design and Construction Considerations for Aerospace and Military Test Requirements“, 2018. [Online]. Dostupné z: http://www.ets-lindgren.com/sites/etsauthor/General_Brochures/Reverb Chamber Considerations.pdf. [Viděno: 23-lis-2018].
- [8] ČSN ISO 9613-1, *Akustika - Útlum při šíření zvuku ve venkovním prostoru. Část 1: Výpočet pohlcování zvuku v atmosféře*. Český normalizační institut. Listopad 1995.
- [9] Národní stavební centrum s.r.o., „Navrhování vnitřního prostředí budov dle principů trvale udržitelné výstavby – větrání, klimatizace“, *Brno*, 2012. [Online]. Dostupné z: <http://www.stavebnicentrum.cz/wp-content/uploads/2018/10/vzdelavani-a10.pdf>. [Viděno: 29-bře-2019].
- [10] MAREK Alois, „Mikroklima obytných prostor a mikroklima nízkoenergetických budov“, 2016. [Online]. Dostupné z: <https://docplayer.cz/9811463-Mikroklima-obytnych-prostor-a-mikroklima-nizkoenergetickych-budov.html>. [Viděno: 10-pro-2018].
- [11] LAURENC Jiří, „Laboratoře vysokého napětí a elektromagnetické kompatibility“. [Online]. Dostupné z: <http://home.zcu.cz/~laurenc/>. [Viděno: 10-led-2019].
- [12] RICE Regionální inovační centrum elektrotechniky, „Akustika“, 2018. [Online]. Dostupné z: <https://rice.zcu.cz/cz/services/acustics/>. [Viděno: 18-úno-2019].
- [13] HORÁK Ivan, „Technická zpráva a protokol o seřízení a měření vzduchotechnického zařízení“, 2004.

- [14] Climate at home, „Ventilation, condition, heating, automation and installation materials”. [Online]. Dostupné z: http://www.klimatvdomi.com/index_en.html. [Viděno: 19-pro-2018].
- [15] KMOCH Tomáš, „Technika a způsoby měření parametrů vnitřního prostředí”, 2012. [Online]. Dostupné z: <https://vetrani.tzb-info.cz/vnitri-prostredi/9217-technika-a-zpusoby-mereni-parametru-vnitriho-prostredi>. [Viděno: 26-led-2019].
- [16] MATHAUSEROVÁ Zuzana, „Mikoklima: měření, hodnocení”, Státní zdravotní ústav. Laboratoř pro fyzikální faktory., Hradec Králové, 2015.
- [17] BELL Stephanie, „A beginner’s guide to humidity measurement”, National Physical Laboratory, 2011.
- [18] LEARN Low Energy Architecture Research Unit, „Measuring conditions in the room”, 2004. [Online]. Dostupné z: <https://www.new-learn.info/packages/clear/thermal/people/surveying/measurements/measuringconditions.html>. [Viděno: 07-pro-2018].
- [19] wikiskripta, „Termodynamická teplotní stupnice”, 2018. [Online]. Dostupné z: https://www.wikiskripta.eu/w/Termodynamická_teplotní_stupnice. [Viděno: 12-úno-2019].
- [20] BUREŠ Jiří, „conVERTER”, 2013. [Online]. Dostupné z: <http://www.converter.cz/popis.htm>. [Viděno: 21-bře-2019].
- [21] KREIDL Marcel, „MĚŘENÍ TEPLoty - senzory a měřicí obvody”, BEN - technická literatura. Praha, 2005.
- [22] VACEK Zbyněk, „Účinky vlhkosti na sbírkové materiály”, Slezská univerzita v Opavě, 2017.
- [23] wikiskripta, „Tepelně-vlhkostní mikroklima”, 2018. [Online]. Dostupné z: https://www.wikiskripta.eu/w/Tepelně-vlhkostní_mikroklima. [Viděno: 12-úno-2019].
- [24] BERNATÍKOVÁ Šárka, „Technická měření v bezpečnostním inženýrství”, 2017. [Online]. Dostupné z: <https://www.fbi.vsb.cz/export/sites/fbi/030/.content/galerie-souboru/studijni-materialy/TechnickaMereni/Uloha4Teplota20022017.pdf>. [Viděno: 10-dub-2019].
- [25] Redakce HW serveru, „Vlhkoměry”, 2004. [Online]. Dostupné z: <https://vyvoj.hw.cz/teorie-a-praxe/dokumentace/vlhkomery.html-0>. [Viděno: 29-bře-2019].
- [26] České vysoké učení technické v Praze. Katedra materiálového inženýrství a chemie., „MĚŘENÍ RELATIVNÍ VLHKOSTI”. [Online]. Dostupné z: <http://tpm.fsv.cvut.cz/student/documents/files/TVVM/TVVM6.pdf>. [Viděno: 29-bře-2019].
- [27] COUFALOVÁ Jana, „Nástroje pro profesionální měření vnitřního klimatu”, 2015. [Online]. Dostupné z: <https://elektro.tzb-info.cz/merici-a-regulacni-technika/12532->

- nastroje-pro-profesionalni-mereni-vnitriho-klimatu. [Viděno: 13-úno-2019].
- [28] JANEČKA Jan, „Návrh zařízení pro měření a hodnocení tepelného stavu prostředí“, Zkrácená verze doktorské práce. Vysoké učení technické v Brně, 2012.
- [29] Conrad, „Dataloggery“. [Online]. Dostupné z: <https://www.conrad.cz/dataloggery.c0510035>. [Viděno: 09-bře-2019].
- [30] Operating instructions, „Multifunction measuring instrument ALMEMO® 2390-5 with data logger option“.
- [31] KOSCHKE Peter. RINN Christian. HÜTTL Wolfgang, „ALMEMO - Manual“, 2011.
- [32] „ALMEMO® Measuring Instruments“, 2018. [Online]. Dostupné z: <https://www.ahlborn.com/download/katalog/en/AhlbornCat18e.pdf>. [Viděno: 09-dub-2019].
- [33] STRNAD Radek, „Měření teploty – porozumění vlastnostem měřicího přístroje“, Český metrologický institut, 2009.
- [34] PEWA group, „FHA646E1 Feucht/Temp.-Sensor“. [Online]. Dostupné z: http://www.pewa.de/DATENBLATT/DBL_AHL_FHA646DBL_DEUTSCH.pdf. [Viděno: 04-bře-2019].
- [35] AHLBORN měřicí a regulační technika spol. s r.o., „Luftfeuchte“. [Online]. Dostupné z: <https://www.ahlborn.cz/out/pictures/wysiwigpro/FHAD4641.pdf>. [Viděno: 10-bře-2019].
- [36] ŘEZANKOVÁ Hana. MAREK Luboš. VRABEC Michal, „IASTAT - INTERAKTIVNÍ UČEBNICE STATISTIKY“, 2001. [Online]. Dostupné z: <https://iastat.vse.cz/casovky/casovky8.htm>. [Viděno: 01-dub-2019].

Přílohy

Příloha A – datasheet senzoru Ahlborn FHA646.

AHLBORN
www.ahlborn.com

09

HUMIDITY

Capacitive humidity sensor FHA 646 E1C / E2C / E3C / E1 / -6



Capacitive humidity sensor FHA646ExC

- ▶ Sturdy sensor for test measurements and stationary applications up to +80 °C
- ▶ Sensor tube made of stainless steel
- ▶ Splash-protected screw-fit cable gland
- ▶ Active compensation of humidity measurement by means of the integrated temperature sensor (new measuring range for all ALMEMO® devices with effect from 2003)
- ▶ Wide operating temperature range
- ▶ **New** Option for FHA646ExC
Sensor coating : Heavily polluted and / or corrosive environments may damage the humidity sensor and cause drift in the measured values. The coating that completely covers the probe head (temperature / humidity sensor element) minimizes the adverse effects of dirty media and much improves long-term stability. Delivery includes protective cap SK6 PTFE sinter filter (instead of standard protective cap SK7 metal-mesh filter)
Order no. OA9646SC



Capacitive humidity sensor FHA 646 E1

- ▶ Handy sensor for test measurements and stationary applications up to +60 °C
- ▶ Sensor tube made of plastic



Capacitive humidity sensor FHA 6466

- ▶ Compact sensor integrated in ALMEMO® connector

Accessories

Protective caps, brackets for wall mounting, movable screw fitting and connection flange see page 09.05

Extension cable, 2 meters

Extension cable, 4 meters

Intelligent ALMEMO® extension cable, 10 meters long

Other lengths 20, 30, 50, 100 meters see page 07.03

Order no. ZA9060VK2

Order no. ZA9060VK4

Order no. ZA9090VK10

Variants including manufacturer's test certificate

Humidity sensor -20 to +80 °C with stainless steel tube 160 mm, cable 1.5 meters

Humidity sensor -20 to +80 °C with stainless steel tube 270 mm, cable 1.5 meters

Humidity sensor -20 to +80 °C with stainless steel tube 530 mm, cable 1.5 meters

Humidity sensor -20 to +60 °C with plastic tube 155 mm, cable 1.5 meters

Humidity sensor -20 to +60 °C directly on connector (without cable)

Order no. FHA646E1C

Order no. FHA646E2C

Order no. FHA646E3C

Order no. FHA646E1

Order no. FHA6466

Technical data

Operative range

FHA 646 E1, FHA 6466 -20 to +60 °C, 5 to 98 % RH

FHA646 E1C/ E2C/ E3C -20 to +80 °C/ 5 to 98 % RH

Humidity measuring circuit

Measuring range 0 to 100 % RH

Sensor capacitive

Accuracy ±2% RH in the range <90% RH at nominal temperature

Reproducibility <1% RH at nominal temperature

Nominal temperature 25 ±3 °C

Sensor operating pressure Atmospheric pressure

Response time T_{90} approx. 10 seconds (without filter) at 5 m/s

Temperature measuring circuit

Sensor NTC type N

Accuracy -20 to 0 °C ±0.4 °C

0 to +70 °C ±0.1 °C

+70 to +80 °C ±0.6 °C

Reproducibility 0.1 °C

Mechanical design

FHA646Ex

Sensor tube	Diameter 12 mm
FHA 646 E1C	Stainless steel 160 mm long
FHA 646 E2C	Stainless steel 270 mm long
FHA 646 E3C	Stainless steel 530 mm long
FHA 646 E1	Plastic 155 mm long

Protective cap SK7, metal-mesh filter

Screw-fit cable gland splash-protected (FHA646x only)

Cable 1.5 meters long with ALMEMO® connector, longer ALMEMO® cable (up to 30 meters) available on request

FHA 6466

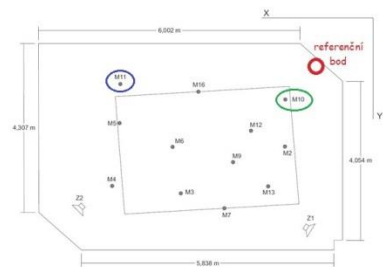
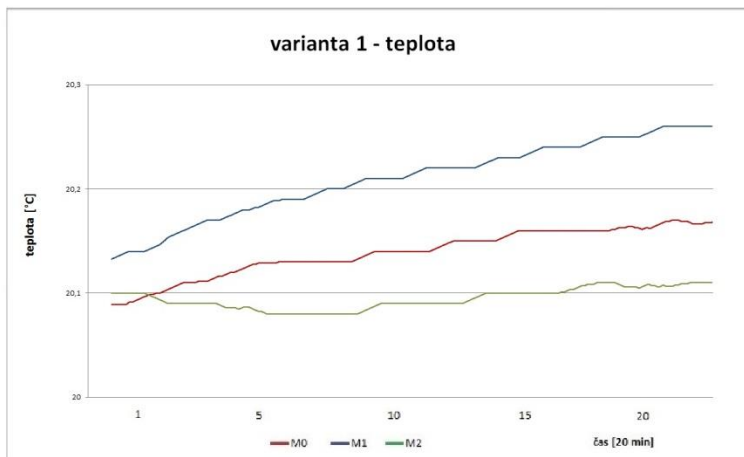
Slotted case

directly on connector (without cable), plastic 30 x 11 x 7.6 mm without filter

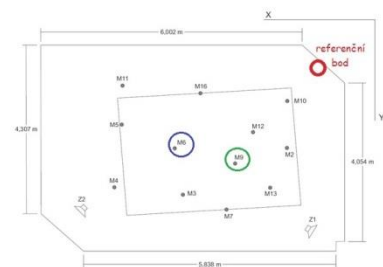
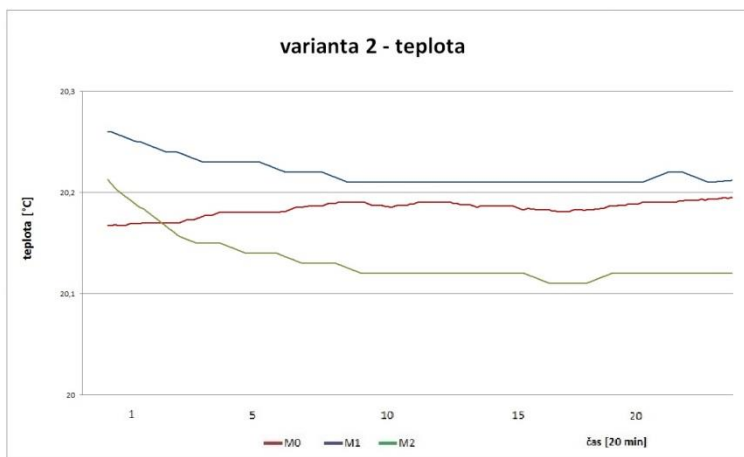
09.04

01/2011 We reserve the right to make technical changes.

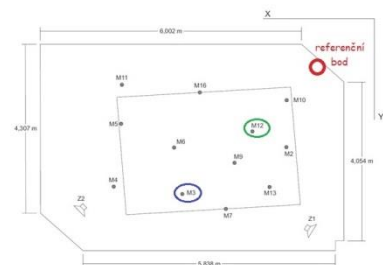
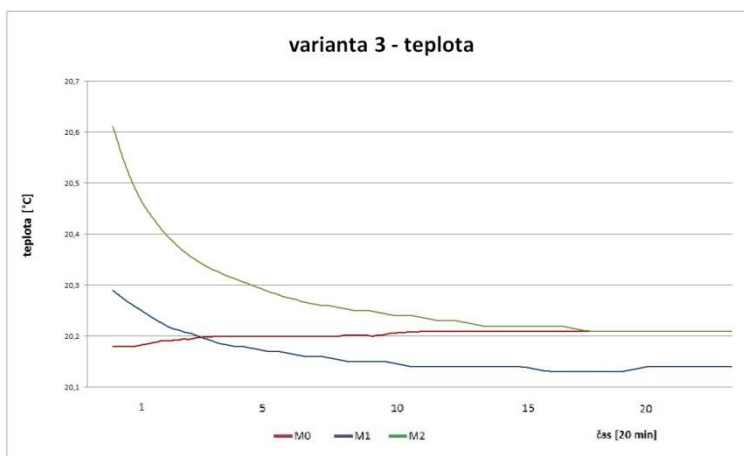
Příloha B – Jednotlivé průběhy teplot (varianta 1 – 6).



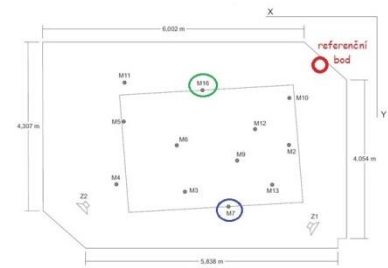
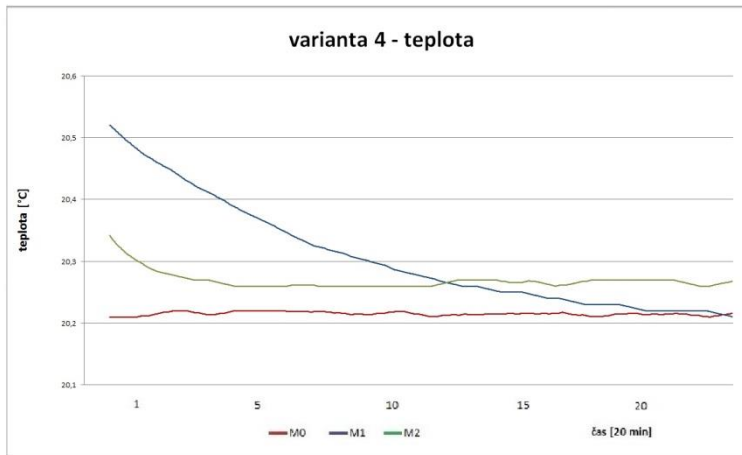
Varianta 1.: M0 ve výšce 1,4 m, M1 ve výšce 1,8 m, M2 ve výšce 1,3 m.



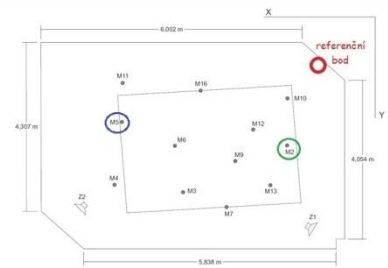
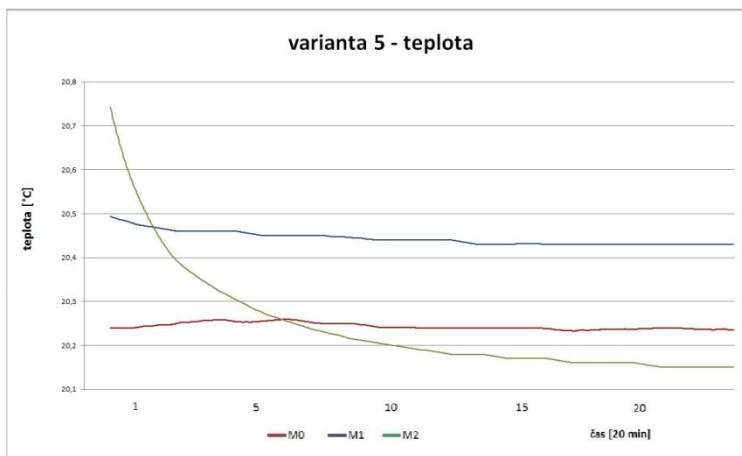
Varianta 2.: M0 ve výšce 1,4 m, M1 ve výšce 1,8 m, M2 ve výšce 1,5 m.



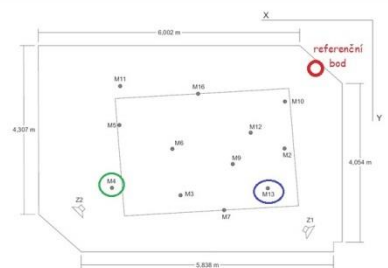
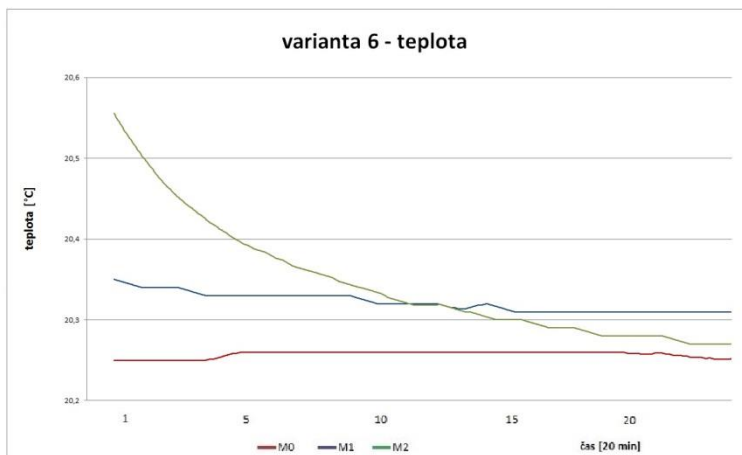
Varianta 3.: M0 ve výšce 1,4 m, M1 ve výšce 1,7 m, M2 ve výšce 1,5 m.



Varianta 4.: M0 ve výšce 1,4 m, M1 ve výšce 2,1 m, M2 ve výšce 1,3 m.

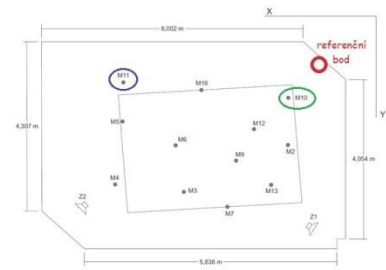
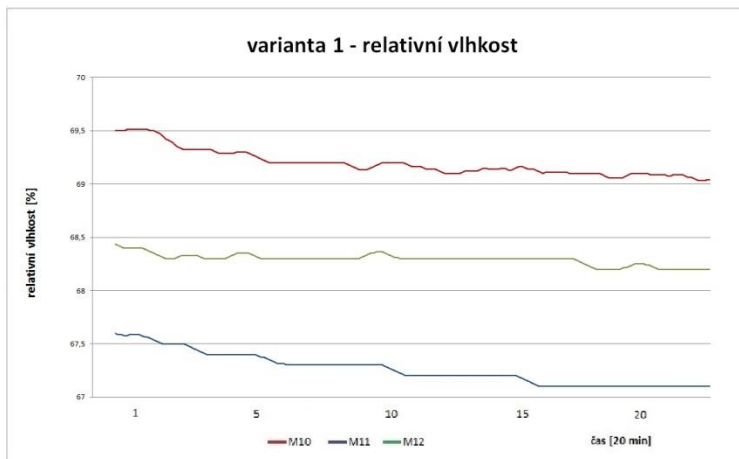


Varianta 5.: M0 ve výšce 1,4 m, M1 ve výšce 2,6 m, M2 ve výšce 1,6 m.

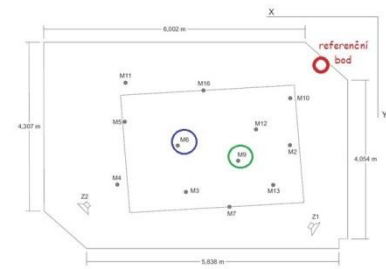
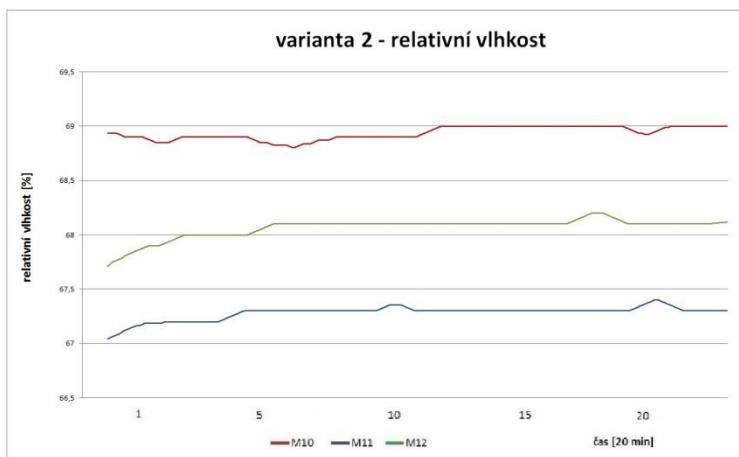


Varianta 6.: M0 ve výšce 1,4 m, M1 ve výšce 2,6 m, M2 ve výšce 1,3 m.

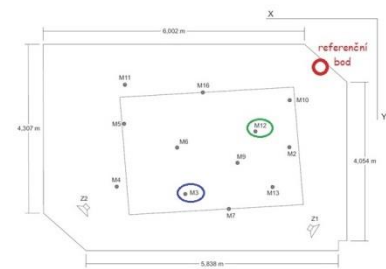
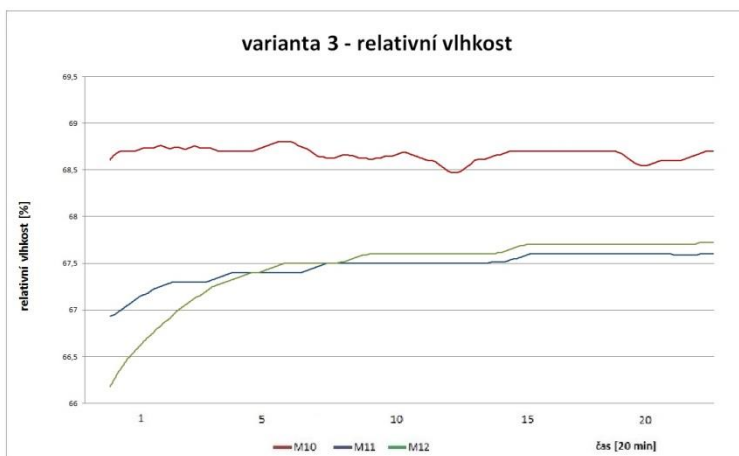
Příloha C – Jednotlivé průběhy vlhkosti (varianta 1 – 6).



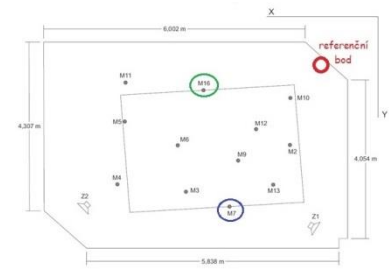
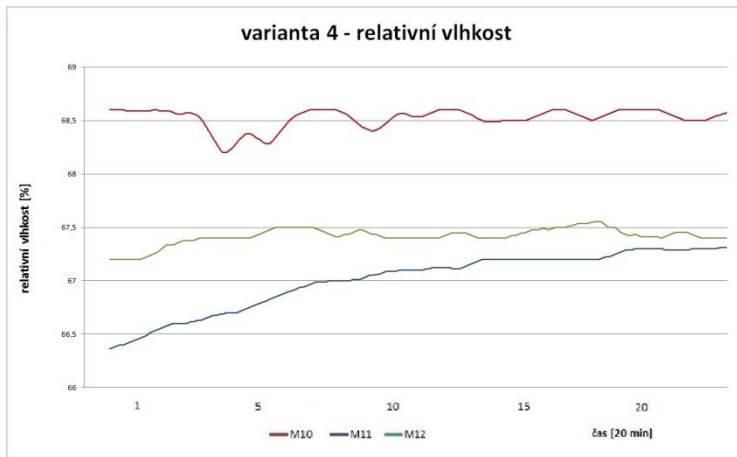
Varianta 1.: M10 ve výšce 1,4 m, M11 ve výšce 1,8 m, M12 ve výšce 1,3 m.



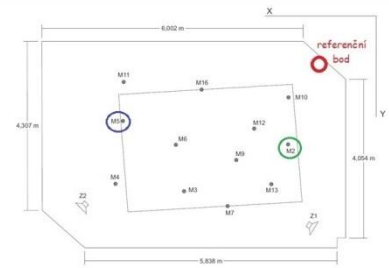
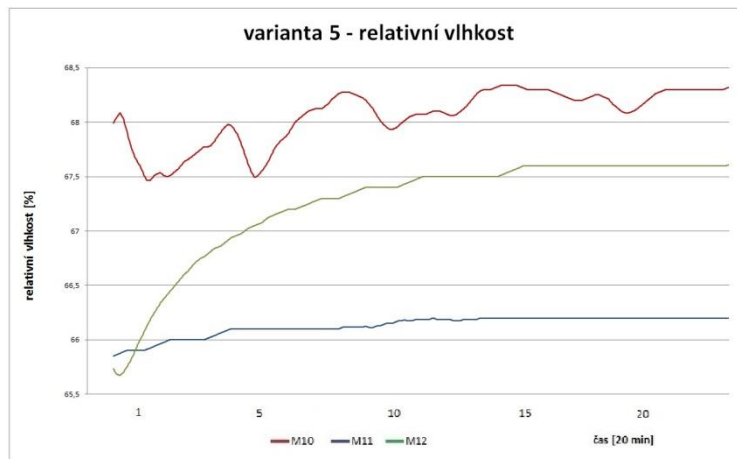
Varianta 2.: M10 ve výšce 1,4 m, M11 ve výšce 1,8 m, M12 ve výšce 1,5 m.



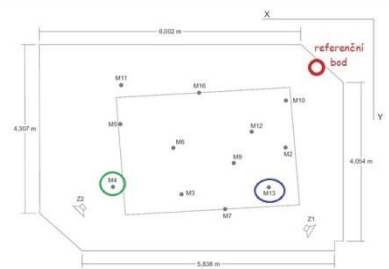
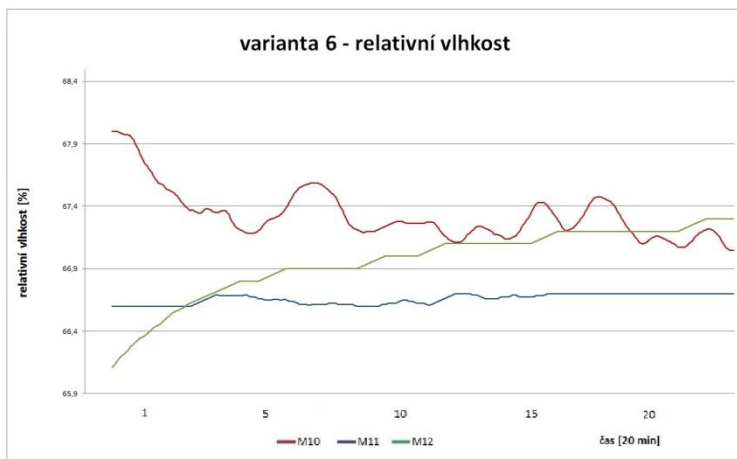
Varianta 3.: M10 ve výšce 1,4 m, M11 ve výšce 1,7 m, M12 ve výšce 1,5 m.



Varianta 4.: M10 ve výšce 1,4 m, M11 ve výšce 2,1 m, M12 ve výšce 1,3 m.



Varianta 5.: M10 ve výšce 1,4 m, M11 ve výšce 2,6 m, M12 ve výšce 1,6 m.



Varianta 6.: M10 ve výšce 1,4 m, M11 ve výšce 2,6 m, M12 ve výšce 1,3 m.

Příloha D – Fotografie z měření praktické části diplomové práce.



Fotografie 1.: Nastavování stativů se senzory.



Fotografie 2.: Zaznamenávání dat.



Fotografie 3.: Kombinované čidlo Ahlborn FHA646.