

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE  
FAKULTA STROJNÍ  
ÚSTAV TECHNIKY PROSTŘEDÍ

---

**VNITŘNÍ PROSTŘEDÍ PRO  
UCHOVÁNÍ A EXPOZICI SBÍREK  
MUZEJNÍ POVAHY**

DIPLOMOVÁ PRÁCE

BC. TADEÁŠ ŠERHANT

5 – IB – 2021

## I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: Šerhant Jméno: Tadeáš Osobní číslo: 467414  
Fakulta/ústav: Fakulta strojní  
Zadávací katedra/ústav: Ústav techniky prostředí  
Studijní program: Inteligentní budovy  
Studijní obor: bez oboru

## II. ÚDAJE K DIPLOMOVÉ PRÁCI

Název diplomové práce:

Vnitřní prostředí pro uchování a expozici sbírek muzejní povahy

Název diplomové práce anglicky:

Indoor Environment for Preservation and Exhibition of Museum Collections

Pokyny pro vypracování:

Ve své práci se zabývejte požadavky na tepelně vlhkostní podmínky vnitřního prostředí pro muzejní exponáty vč. hudebních nástrojů. Provedte na toto téma rešerši dostupných podkladů. Na základě dostupných údajů zhodnoťte tepelný stav prostředí a provoz zařízení techniky prostředí v Muzeu hudby v Praze. Problematiku diskutujte a navrhněte opatření ke zlepšení současného stavu.

Seznam doporučené literatury:

Metodika uchování předmětů kulturní povahy. Moravská galerie Brno. 2017.  
Barclay, R.L. The Care of Historic Musical Instruments. Edinburgh 1997.  
Štefcová, P. Preventivní ochrana sbírkových předmětů. Národní muzeum. 2000.  
ASHRAE Handbook 2022 HVAC Applications.

Jméno a pracoviště vedoucí(ho) diplomové práce:

doc. Ing. Vladimír Zmrhal, Ph.D., ústav techniky prostředí FS

Jméno a pracoviště druhé(ho) vedoucí(ho) nebo konzultanta(ky) diplomové práce:

Datum zadání diplomové práce: 30.04.2021

Termín odevzdání diplomové práce: 04.07.2021

Platnost zadání diplomové práce: \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_  
doc. Ing. Vladimír Zmrhal, Ph.D.  
podpis vedoucí(ho) práce

\_\_\_\_\_  
doc. Ing. Vladimír Zmrhal, Ph.D.  
podpis vedoucí(ho) ústavu/katedry

\_\_\_\_\_  
prof. Ing. Michael Valášek, DrSc.  
podpis děkana(ky)

## III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

Diplomant bere na vědomí, že je povinen vypracovat diplomovou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací. Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je třeba uvést v diplomové práci.

\_\_\_\_\_  
Datum převzetí zadání

\_\_\_\_\_  
Podpis studenta

## **Souhrn**

Diplomová práce se zabývá podmínkami vnitřního prostředí pro dlouhodobé uchování historických hudebních nástrojů a dalších exponátů. V teoretické části je popsán vliv teploty vnitřního vzduchu, relativní vlhkost vzduchu a dalších okolností, které mohou negativně ovlivňovat uložené exponáty. Experimentální část se věnuje vyhodnocení některých místností Českého muzea hudby na základě teploty vnitřního vzduchu, relativní vlhkosti vzduchu a měrné vlhkosti vzduchu.

## **Summary**

This diploma thesis deals with the conditions of the indoor environment for long-term storage of historical musical instruments and other exhibits. The theoretical part describes the influence of indoor air temperature, relative humidity and other circumstances that, can negatively affect the stored exhibits. The experimental part is devoted to the evaluation based on the indoor air temperature, relative humidity and specific humidity of selected rooms of the Czech Museum of Music.

# Prohlášení

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci s názvem: „Vnitřní prostředí pro uchování a expozici sbírek muzejní povahy“ vypracoval samostatně pod vedením Ing. Pavla Vybírala, PhD., s použitím literatury, uvedeném na konci mé diplomové práce v seznamu použité literatury.

V Praze dne: .....

.....

Bc. Tadeáš Šerhant

# Obsah

Seznam použitých veličin a symbolů .....	8
Úvod.....	9
1 Teplota vnitřního vzduchu.....	10
1.1 Spodní limit teploty vnitřního vzduchu .....	10
1.2 Horní limit teploty vnitřního vzduchu .....	11
1.3 Výkyvy teplot vnitřního vzduchu.....	11
1.4 Měření teploty vnitřního vzduchu .....	11
1.4.1 Dilatační teploměry .....	11
1.4.2 Pyrometry.....	12
1.4.3 Elektrické teploměry.....	12
1.4.4 Bimetalové teploměry .....	13
1.4.5 Tyčové teploměry .....	14
1.4.6 Barevné teplotní indikátory .....	14
2 Relativní vlhkost vzduchu .....	15
2.1 Spodní limit relativní vlhkosti vzduchu .....	15
2.2 Horní limit relativní vlhkosti vzduchu.....	16
2.3 Výkyvy relativní vlhkosti vzduchu .....	16
2.4 Měření relativní vlhkosti vzduchu .....	18
3 Materiály .....	21
3.1 Dřevo .....	21
3.2 Kov.....	21
3.3 Kůže .....	22
3.4 Kostí a slonovina .....	22
3.5 Sklo .....	22
4 Vliv stavebního provedení objektu .....	23

4.1	Akumulační schopnosti staveb .....	23
4.1.1	Penetrační hloubka.....	24
4.2	Letní tepelná stabilita .....	24
4.3	Tepelná zátěž budovy .....	26
4.3.1	Vnější tepelná zátěž budovy .....	26
4.3.2	Vnitřní tepelná zátěž budovy .....	27
4.4	Atmosférické znečištění a prach .....	28
4.4.1	Pevné částice rozptýlené ve vzduchu .....	29
4.4.2	Plynné znečišťující látky .....	29
4.4.3	Vnější znečišťující látky .....	29
4.4.4	Vnitřní znečišťující látky .....	30
4.5	Světlo .....	31
4.6	Biologické poškození.....	32
5	Technologické celky .....	34
5.1	Vytápění.....	35
5.2	Větrání.....	36
5.2.1	Přirozené větrání .....	36
5.2.2	Nucené větrání .....	38
5.3	Vzduchotechnika a klimatizace .....	40
5.4	Úprava vlhkosti pomocí přenosných zařízení.....	41
5.4.1	Adiabatický zvlhčovač.....	41
5.4.2	Parní zvlhčovač .....	42
5.4.3	Kondenzační odvlhčovač .....	42
5.4.4	Adsorpční odvlhčovač.....	42
5.5	Požární ochrana .....	43
5.5.1	Hlásiče požáru .....	44

5.5.2	Tlačítkové hlásiče.....	44
5.5.3	Hlásiče kouře .....	44
5.5.4	Hlásiče teplot.....	45
5.5.5	Ústředna .....	45
5.6	Uložení a transport exponátu .....	45
5.6.1	Úložné systémy.....	45
5.6.2	Podlažní ukládání.....	46
5.6.3	Regálové systémy .....	46
5.6.4	Trezory.....	47
5.6.5	Skříně a komody .....	47
6	České muzeum hudby – popis .....	48
6.1	Historie objektu .....	48
6.2	Aktuální stav .....	49
7	Vyhodnocení měření .....	53
7.1	Zóny .....	55
7.2	Zóna 1 [REDACTED] .....	55
7.3	Zóna 2 [REDACTED] .....	61
7.4	Zóna 3 [REDACTED] .....	68
8	Závěr .....	76
9	Literatura.....	78
10	Přílohy .....	82
10.1	Seznam použitých veličin a symbolů .....	<b>Chyba! Záložka není definována.</b>

## Seznam použitých veličin a symbolů

Označení	Jednotka	Veličina
$p$	[Pa]	Celkový tlak vzduchu
$p_v$	[Pa]	Parciální tlak par
$p_v''$	[Pa]	Parciální tlak syté páry
$\varphi$	[%]	Relativní měrná vlhkost vzduchu
$x$	[g.m <sup>-3</sup> ]	Měrná vlhkost vzduchu
$T$	[K]	Termodynamická teplota
$\rho$	[kg.m <sup>-3</sup> ]	Hustota
$c$	[J.kg <sup>-1</sup> .K <sup>-1</sup> ]	Měrná tepelná kapacita
$\lambda$	[W.m <sup>-1</sup> .K <sup>-1</sup> ]	Součinitel tepelné vodivosti
$C_v$	[MJ.m <sup>-3</sup> .K <sup>-1</sup> ]	Objemová tepelná kapacita
$\delta$	[mm]	Tloušťka penetrační hloubky
$C_{A,eff}$	[kJ.m <sup>-2</sup> .K <sup>-1</sup> ]	Efektivní plošná tepelná kapacita



## Úvod

Pro dlouhodobé uchovávání kulturních a historických předmětů musí být zajištěny ideální parametry vnitřního prostředí. Jedná se především o teplotu vnitřního vzduchu, relativní vlhkost vzduchu, vhodné osvětlení a podobné. Parametry je třeba volit s ohledem na použité materiály, dobu životnosti exponátu, režim užívání místností, okolní klimatické podmínky a historickou hodnotu exponátů. [1, 4]

Pro každý materiál lze stanovit optimální podmínky co se týče teploty vnitřního vzduchu a relativní vlhkosti vzduchu. Pro každý materiál jsou dány specifické podmínky. Pro dřevěné materiály je vhodné udržovat teplotu vnitřního vzduchu kolem 18 °C a relativní vlhkost vzduchu od 45 do 60 %. Kovové materiály v kombinaci s organickými materiály vyžadují teplotu vnitřního vzduchu v rozmezí 18 – 20 °C a relativní vlhkost vzduchu 40 až 55 %. [1]

Teplota vnitřního vzduchu, relativní a měrné vlhkost vzduchu spolu velice úzce souvisí. Teplota vnitřního vzduchu a relativní vlhkost vzduchu razantně ovlivňují chemické a fyzikální procesy, které v materiálech neustále probíhají. Rychlost všech chemických reakcí prudce stoupá s rostoucí teplotou vnitřního vzduchu. Časté a prudké výkyvy relativní vlhkosti vzduchu ovlivňují fyzikální parametry převážně nasákavých materiálů, jako je například dřevo. To může za následek vážné poškození jako je praskání a další deformace. [1, 3]

# 1 Teplota vnitřního vzduchu

Teplota vnitřního vzduchu by se měla pohybovat ideálně kolem 18 – 20 °C. Je však velice důležité jaké materiály v místnosti budou skladovány nebo vystavovány. Například při skladování barevných filmů je zapotřebí zajistit poměrně nízké teploty menší než 2 °C. Dalším velice důležitým faktorem je, aby teplota vnitřního vzduchu prudce nestoupala ani neklesala. Na teplotu je velice úzce vázána relativní vlhkost vnitřního vzduchu. Každá změna teploty vnitřního vzduchu se následně projevuje i na změně relativní vlhkosti. [2, 21]

Tabulka 1: Vhodná teplota vnitřního vzduchu pro dané materiály [1]

<b>Materiál</b>	<b>Teplota vnitřního vzduchu [°C]</b>
Dřevo, papír, kůže textil, malby, slonovina, biologické sbírky	18
Kovy čisté	18-20
Kovy v kombinaci s organickými materiály	18-20
Fotografie	< 21
Barevné filmy	< 2
Černobíle filmy	< 21
Keramika, kámen	20

## 1.1 Spodní limit teploty vnitřního vzduchu

Při poklesu teploty vnitřního vzduchu pod spodní limit by mohlo dojít k nevratným změnám, protože může nastat chemická nebo fyzikální změně ve struktuře materiálů. Za absolutně minimální teplotu vnitřního vzduchu se považuje 5 °C. Jako výjimku lze považovat například uchovávání barevných filmů na acetátové podložce, kde jsou požadovány teploty vnitřního vzduchu pod bodem mrazu. Spousta materiálů mění svůj objem vlivem teploty vnitřního vzduchu. [2]

## 1.2 Horní limit teploty vnitřního vzduchu

Stejně tak jako při překročení horní hranice teploty vnitřního vzduchu může dojít k nevratným změnám. Za horní limit lze uvažovat 30 °C. Při zvýšené teplotě vnitřního vzduchu se exponenciálně zrychlují chemické reakce v materiálech. Například u organických materiálů se rychlost degradace zdvojnásobí při překročení vhodné teploty vnitřního vzduchu o 5 °C. Magnetická média – video pásky, diskety, přestávají být funkční při delším působení vyšších teplot. Obecně se dá říct, že je vhodnější spíše nižší teplota vnitřního vzduchu než vyšší. [2]

## 1.3 Výkyvy teplot vnitřního vzduchu

Vzhledem k velkému rozpětí teplot vnitřního vzduchu lze říci, že teplota není nejdůležitější parametrem co se týče vhodných podmínek pro uchovávání kulturních a historických předmětů. Mnohem důležitější je nastavit optimální teplotu vnitřního vzduchu a tu se snažit udržet po celou dobu bez výrazného výkyvu. To je poměrně složité, například u výstavních prostor během zimy nebo léta, při extrémních venkovních podmínkách. [2]

## 1.4 Měření teploty vnitřního vzduchu

Měření teploty vnitřního vzduchu má své metodické zásady, které je potřeba dodržovat. Na výsledné hodnoty má například vliv umístění teplotního čidla, dále je zapotřebí omezit vliv sálání nebo proudění vzduchu. Pro měření vnitřní teploty vzduchu máme několik metod. [1]

### 1.4.1 Dilatační teploměry

Tento typ teploměrů je založen na principu roztažnosti různých látek, ve většině případů se jedná o kapaliny nebo kovy. Dilatace se projevuje změnou délky, tlaku nebo objemu.

S dilatačními teploměry se nejčastěji setkáme ve skleněné formě, kdy je změna objemu kapaliny převáděna na stupnici v kapiláře. Náplň těchto teploměrů bývá nejčastěji lihová nebo rtuťová. Rtuťové teploměry jsou z pravidla přesnější a jsou vyráběny v rozsahu -38 °C až 350 °C. Lihové teploměry nejsou tak přesné a vyrábějí se v rozsahu -110 °C až 70 °C. Skleněné teploměry jsou poměrně levné a spolehlivé, velká nevýhoda spočívá v malé mechanické odolnosti. [22]

## 1.4.2 Pyrometry

Pyrometry jsou teploměry, které určují teplotu tělesa díky teplotnímu záření, jedná se tedy o bezdotykové měření. Princip měření pomocí pyrometru je založen na vyhodnocení elektromagnetického záření tělesa. V zásadě je možné měřit všechna tělesa, která mají teplotu vyšší než 0 K. Bezdotykové měření pomocí pyrometru pokrývá spektrum od -40 °C do 10 000 °C, což odpovídá záření od 0,4 μm do 25 μm vlnové délky. Měření pomocí pyrometru má několik výhod. Například bezdotykové měření – nulová možnost kontaminace, rychlost měření a poměrně velký rozsah teplot. Tento způsob měření má však i několik nevýhod, jako je například možnost měření pouze viditelných objektů. Při měření dochází pouze k měření povrchové teploty, což je v mnoha případech nedostatečný údaj. [27, 28]



Obrázek 1: Pyrometr [40]

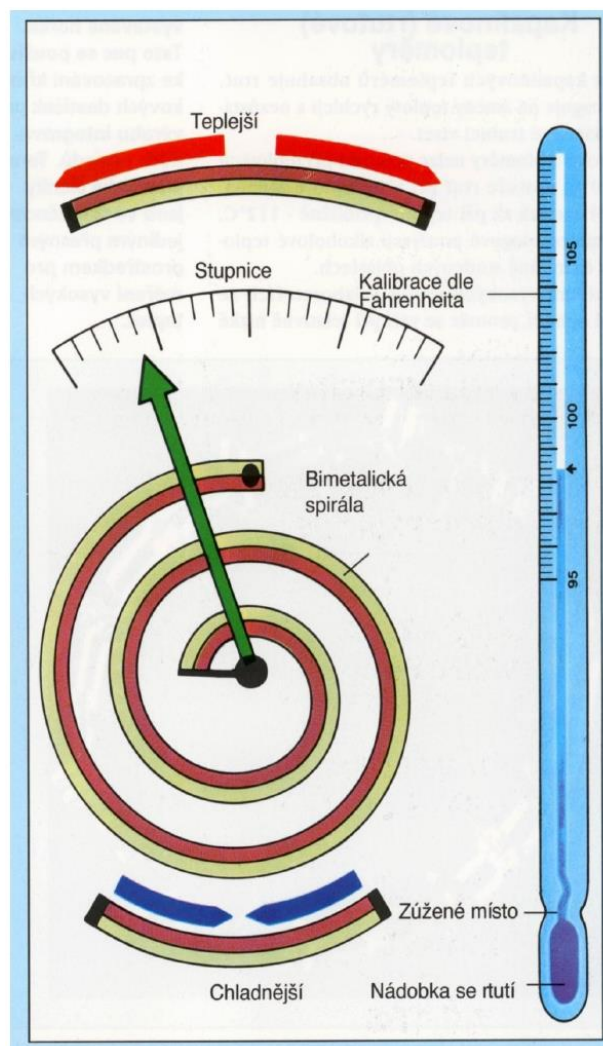
## 1.4.3 Elektrické teploměry

Tento druh teploměrů měří teplotu díky transformaci teploty na elektrický signál. Elektrický signál může být v tomto případě v podobě napětí, proudu či odporu. Tento

signál je následně vyhodnocován elektrickým obvodem a údaje jsou následně převedeny na teplotní údaj na stupnici. [22, 27]

#### 1.4.4 Bimetalové teploměry

Bimetalové teploměry se skládají ze dvou různých kovů, které mají různou teplotní roztažnost. Díky změně teploty dochází k deformaci pásků. Tato deformace je převáděna na ukazatel. Tento druh teploměrů je velice jednoduchý, odolný a levný. Nejedná se však o přesné měření. Nejčastěji se tento druh teploměrů uplatňuje při měření tekutiny. [22, 24]



Obrázek 2: Bimetalový teploměr [25]

### 1.4.5 Tyčové teploměry

Tento druh teploměrů je založen na rozdílné roztažnosti dvou kovů. Teploměr je složen z trubice, která je vyrobena z materiálu o velké teplotní roztažnosti. Do této trubice je vložena tyč z materiálu, která má naopak malou teplotní roztažnost. Prodloužení je následně převáděno mechanickým převodem na ukazatel. Výhodou těchto teploměrů je mechanická odolnost, nízká cena, ale horší přesnost při měření a špatné reakce na rychlé změny v okolí. Rozsah těchto teploměrů je až do 1000 °C. [21]

### 1.4.6 Barevné teplotní indikátory

Tento typ teploměrů slouží pouze k velice hrubému odhadu teploty. Většinou se jedná o nalepovací teploměry, které obsahují citlivé pigmenty, které reagují na teplotu. Při dosažení určité teploty dojde k chemické reakci a tím ke změně barvy. [21]



Obrázek 3: Nalepovací teplotní indikátor [22]

## 2 Relativní vlhkost vzduchu

Relativní vlhkost vzduchu lze definovat jako poměr parciálního tlaku vodních par a parciálního tlaku nasycené vodní páry při konstantní teplotě vzduchu. Relativní vlhkost vzduchu společně s teplotou vnitřního vzduchu velice úzce souvisí, a nelze udržovat ideální pásmo relativní vlhkosti vzduchu, které je pro výstavní prostory a archivy jeden z nejdůležitějších parametrů. Relativní vlhkost vzduchu pro archivy či expozice, kde se vyskytují dřevěné nástroje, by neměla za žádných okolností poklesnout pod 40 %. Ideální relativní vlhkost vzduchu pro historické hudební nástroje, které jsou tvořeny ze dřeva a kovu, je 40 – 55 %. Pro dřevěné nástroje je však vhodná vyšší relativní vlhkost vzduchu 45 – 60 %. [1, 2, 6]

Tabulka 2: Vhodná relativní vlhkost vzduchu pro dané materiály [1]

<b>Materiál</b>	<b>Tolerovaný interval relativní vlhkosti vzduchu [%]</b>
Dřevo, papír, kůže textil, malby, slonovina	45 - 60
Kovy čisté	30-40
Kovy v kombinaci s organickými materiály	40 - 55
Fotografie	30 - 45
Barevné filmy	25 - 35
Černobíle filmy	30 - 45
Keramika, kámen	50 - 60

### 2.1 Spodní limit relativní vlhkosti vzduchu

Relativní vlhkost vzduchu by neměla klesnout pod spodní limit 40 %. V případě poklesu relativní vlhkosti může dojít k nevratné fyzické nebo chemické změně materiálu. Při relativní vlhkosti vzduchu pod 30 % hrozí riziko ohledně rozměrových změn organických materiálů. Nejtypičtějším příkladem je sesychání dřeva, které může dojít až k prasknutí. Mezi další materiály patří slonovina, pergameny a proutí. [1]

Stabilní nízká relativní vlhkost může nevratně poškodit i anorganické materiály, jako jsou určité druhy minerálů, emaily a nestabilní skla. U těchto materiálů dochází k vysychání a praskání. Na druhou stranu pro některé anorganické materiály je nízká relativní vlhkost spíše přínosná. Jedná se například o slitina železa a mědi. [2]

## **2.2 Horní limit relativní vlhkosti vzduchu**

Dřevo, textil a papír mají velice dobrou schopnost do sebe absorbovat vlhkost z okolního prostředí. K tomu dochází až do doby, než se ustálí difuzní rovnováha mezi okolním prostředím a daným materiálem. Zvýšená relativní vlhkost vzduchu má za následek rozměrové změny, které jsou u hudebních nástrojů nepřijatelné. Zvýšená relativní vlhkost vzduchu má také velký vliv na další chemické degradační mechanismy, růst plísní, které způsobují rozklad a rozpad dřeva. Kovové materiály jsou mnohem náchylnější na korozi již při hodnotách relativní vlhkosti vzduchu vyšší než 60 %. [2, 3, 7]

## **2.3 Výkyvy relativní vlhkosti vzduchu**

Výkyvy relativní vlhkosti vzduchu mohou mít různé dopady na uchovávané předměty. Mezi nevhodné podmínky, co se týče relativní vlhkosti vzduchu, může například patřit konstantní vysoká relativní vlhkost, konstantní nízká relativní vlhkost, nebo prudké změny relativní vlhkosti. Hodnoty relativní vlhkost vzduchu by se měly pohybovat v předem určeném intervalu. Určité kolísání nelze nikdy vyloučit, nesmí se však jednat o skokové a náhlé změny., které jsou větší než  $\pm 5\%$  během několika hodiny [1, 14]

Faktory, které ovlivňují relativní vlhkost vzduchu, můžeme rozdělit na vnější a vnitřní. Mezi vnější faktory spadají atmosférické jevy, jako jsou například srážky, mráz a sluneční záření. Vnitřní faktory mohou být v podobě technické závady, která je způsobena nesprávnou obsluhou zařízení pro vytápění, chlazení, vlhčení nebo osvětlení. Dále se může jednat o přítomnost osob, protože jedna osoba v klidovém režimu je schopná vydat za jednu hodinu až 60 g vodní páry. Jako příklad lze uvést místnost o 100 m<sup>2</sup> s výškou stropů 3 m, kde se nachází 10 osob v klidovém režimu. V takovémto případě dojde během jedné hodiny ke zvýšení relativní vlhkost z 50 % na 60 %. [1, 14, 41]



### **Konstantně nízká relativní vlhkost vzduchu (méně než 35 %)**

Při takto nízké relativní vlhkosti vzduchu dochází k vysychání, křehnutí a vnitřnímu pnutí, díky kterému může dojít ke vzniku prasklin. [2, 3]

### **Konstantně vysoká relativní vlhkost vzduchu (větší než 70 %)**

Jedná se o ideální prostředí pro růst různých hub a plísní na organických materiálech. Dochází k tvarovým změnám, bobtnání a vnitřnímu pnutí. Při této vlhkosti vzduchu jsou mnohem náchylnější ke korozi a oxidaci kovové materiály. V případě poklesu teploty vnitřního vzduchu pod rosný bod dojde ke kondenzaci vody na povrchu předmětů. [2, 7]



Obrázek 4: Plíseň na dřevě [7]

### **Prudké změny relativní vlhkosti vzduchu**

Za prudkou změnu lze považovat změnu relativní vlhkosti vzduchu o více jak 5 % během několika hodin. Vzhledem k tomu, že dochází ke kombinaci výše popsaných změn, je toto prostředí pro uchovávání předmětu naprosto nevhodné. Díky kolísání relativní vlhkosti vzduchu také dochází k mobilizaci solí v porézních materiálech. Tyto soli následně tvoří velice silné kapilární tlaky, které následně působí nevratné změny. [1]

## 2.4 Měření relativní vlhkosti vzduchu

Relativní vlhkost vzduchu lze měřit několika způsoby, od jednoduchých, levných variant po složité a drahé. Všechny měřicí přístroje musí být ideálně alespoň 1x ročně kalibrovány, aby nedocházelo k chybnému měření. Před každým měřením je zapotřebí zvolit správnou metodiku měření a vybrat správné místo a čas pro měření. Ke kalibraci se nejčastěji používá psychrometr. Psychrometr je složen ze dvou teploměrů, tzv. „suchého“ a „mokrého“. Mokrý teploměr je rtuťová baňka obalená gázou, která se před měřením navlhčí v destilované vodě. Pro měření necháme takto připravený teploměr cca 15 - 20 minut a poté odečteme teploty z obou teploměrů. Vypočítáme rozdíl teplot na obou teploměrech a určíme přibližnou hodnotu relativní vlhkosti vzduchu. [1, 7]

### Indikační papírky

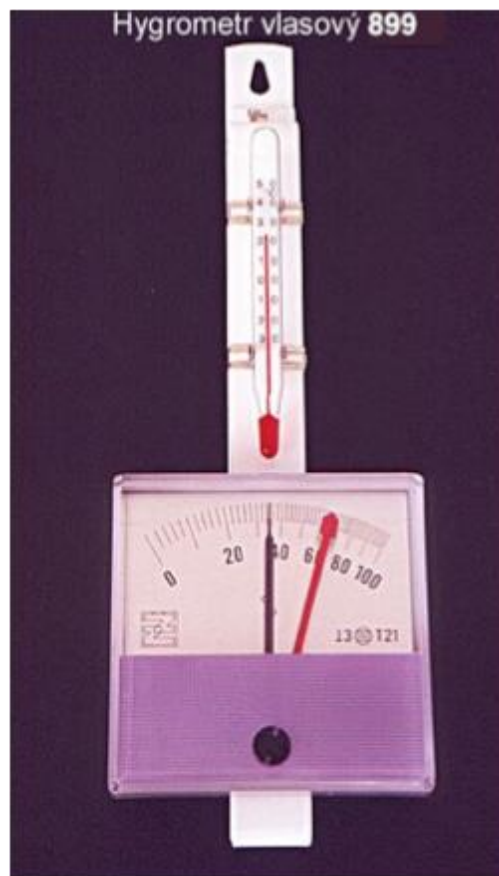
Jedná se o nejjednodušší a nejlevnější způsob stanovení relativní vlhkosti vzduchu. Indikátor se skládá z řady absorpčních papírků obsahující různé chemikálie, které různě reagují v závislosti na relativní vlhkosti vzduchu. Tento způsob měření je spíše orientační a zobrazuje hrubý rozptyl, ve kterém se relativní vlhkost vyskytuje. [7]



Obrázek 5: Indikační papírky [35]

### **Vlasové termohygrometry**

Jedná se již o přesnější zařízení pro měření relativní vlhkosti vzduchu. Vlasové termohygrometry bývají velice často vybaveny i teploměrem. Vlasové termohygrometry se nejčastěji používají v lékárnách, nemocnicích, pekárnách a ve skladech s citlivějšími produkty na vlhkost vzduchu. Přesnost při měření relativní vlhkosti vzduchu může být až 2 %. Cena vlasových termohygrometrů se pohybuje zhruba od 1 500,- do 3 000,-. Měřicí rozsah většinou 0 - 100 %. [9]



Obrázek 6: Vlasový termohygrometr doplněný o teploměr [34]

### **Digitální termohygrometry**

Jedná se o mobilní zařízení. Vlhkost vzduchu může být měřena například pomocí kapacitního čidla. Tyto vlhkoměry jsou schopny hodnoty teploty vzduchu a vlhkosti vzduchu uchovávat a ukládat do paměti. Z těchto hodnot umí následně dopočítávat další parametry jako je například rosný bod. Digitální termohygrometry je možné

programovat a určovat, kdy a v jakých intervalech se bude měření provádět. Přesnost měření  $\pm 3\%$ ,  $\pm 1\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Cena se nejčastěji pohybuje od 4 000,- do 10 000,-. [8, 9]



Obrázek 7: Digitální psychrometr [8]

### **Elektronická čidla stabilně instalována v místnosti**

Tento systém je vhodný do objektů, kde je zapotřebí sledovat parametry vnitřního vzduchu permanentně. Tato čidla odesílají naměřená data přesně podle nastaveného intervalu. Výhodou tohoto systému je kontrola a přehled nad místnostmi, kde jsou čidla instalována. Vyhodnocovací systémy mohou být napojeny na řídicí systém, který v případě potřeby vyšle signál do jednotek na úpravu vlhkosti vzduchu. [8, 9]

Při umísťování čidel je zapotřebí klást velký důraz na místa, kam se čidla nainstalují. Čidla je potřeba umístit na místa, kde proudí vzduch, ale rychlost proudění nepřekročí hodnotu 10 m/s a místa, kam nedopadá přímý sluneční svit. V případě umístění čidla na nevhodné místo dojde ke zkreslenému měření. [8, 9]

## 3 Materiály

Hudební nástroje jsou velice komplikované, co se týče materiálového provedení. Velká část nástrojů je vyrobena minimálně ze dvou a více odlišných materiálů. Každý z materiálu potřebuje pro bezpečné uchování jiné podmínky, proto je nutné vždy najít ideální podmínky pro daný nástroj. Každý materiál se chová jinak. Kovové materiály se díky zvýšené teplotě roztahují. Dřevěné materiály mají tendenci sesychat a zmenšovat svůj objem díky snížené vlhkosti vzduchu.

### 3.1 Dřevo

Dřevo je nejrozšířenější materiál při výrobě hudebních nástrojů. Mezi jeho velké výhody patří nepřeberné množství druhů, které mají odlišné vlastnosti, poměrně snadné zpracování a dostupnost. Dřevo také disponuje poměrně dobrou pevností a pružností. Mezi největší nevýhody patří velice malá odolnost vůči vlhkosti vzduchu. Dřevo okamžitě ztrácí své akustické vlastnosti a dojde k nevratným změnám. Dřevo také snadno napadají plísně, houby a hmyz. V hudebním odvětví se používají takřka všechny druhy dřeva. Každé dřevo má své specifické vlastnosti, a proto má každé uplatnění na jiném místě, nebo na jiném hudebním nástroji. [1, 4]

Dřevo se skládá ze tří hlavních chemických sloučenin, a to celulóza, lignin a polyóza. Celulóza a polyóza jsou velice náchylné na vlhkost vzduchu. [1, 4]

Při prudkých změnách relativní vlhkosti vzduchu a teploty vnitřního vzduchu dochází k velkému vnitřnímu pnutí a velkým rozměrovým změnám. V extrémních případech může dojít až ke vzniku prasklin a znehodnocení nástroje nebo předmětu. V případě vyšší relativní vlhkosti vzduchu, a to přes 65 %, je velká pravděpodobnost biologického napadení v podobě plísní a hub. Naopak při nízké relativní vlhkosti vzduchu, a to pod 40 % dochází k praskání. Další negativní činitel je světlo a UV záření, které společně s vlhkostí vzduchu dokáže materiál degradovat a měnit jeho barvu. [1, 4]

### 3.2 Kov

Mezi další velice rozšířený materiál pro výrobu hudebních nástrojů patří kov. Nejčastěji se jedná o železné slitiny, slitiny mědi a olova. Při zvýšené relativní vlhkosti vzduchu nad 70 % dochází ke korozi těchto slitin. Ke korozi kovového materiálu může docházet i při

nižší relativní vlhkosti vzduchu, a to například i při 50 %. Je to způsobeno přítomností znečišťujících látek, jako jsou například organické kyseliny, sulfany nebo karbonylsulfidy. Rizika při nesplnění vhodných podmínek se mohou projevit v podobě změny povrchu předmětu, změny barvy povrchu a celkové nevratné degradaci hudebního nástroje. Co se týče teploty vnitřního vzduchu, tak kov nepatří mezi náročné materiály. [1,4]

### **3.3 Kůže**

Kůže se nejčastěji používá u blanozvučných nástrojů. U nástrojů, které mají kožené části, je zapotřebí udržovat relativní vlhkost vzduchu v rozmezí 40 - 60 %. Při překročení 60 % relativní vlhkosti vzduchu může docházet k rozvoji plísní a bobtnání. Naopak při překročení spodní hranice, dochází ke křehnutí a tím pádem se snižuje pružnost, to může vést až k protržení materiálu. [1]

### **3.4 Kosti a slonovina**

Kosti se nejčastěji používají z dekorativního hlediska, ale také na místa, kde je potřeba zvýšit odolnost proti opotřebení. Kostní tkáň se skládá z organické a anorganické části, které společně tvoří kompaktní matici. Dále lze používat také rohy, kly a jiné zrohovatělé části. Za jedny z nejodolnějších kostí lze považovat kosti velrybí. Ideální teplota vnitřního vzduchu pro uchování nástrojů, které jsou částečně tvořeny z kostí, je zhruba 18 °C a relativní vlhkost v rozmezí 45 – 60 %. [4]

### **3.5 Sklo**

Sklo je poměrně stabilní materiál, ale při překročení doporučených podmínek, nebo častých a náhlých změn, může docházet k „vymývání alkalických složek“ kdy může dojít k odlupování a praskání. [1, 4]

## 4 Vliv stavebního provedení objektu

Při hodnocení klimatických podmínek budov je zapotřebí zohlednit hlavně všechny stavební konstrukce, jejich součinitel prostupu tepla a schopnost akumulace teploty. Nedílnou součástí každého objektu jsou výplně jako okna a dveře. U těchto konstrukcí je potřeba zohlednit součinitel prostupu tepla, poměr propustné a nepropustné části a činitel propustnosti slunečního záření skrz prosklené části těchto konstrukcí. Poloha natočení objektu a stínící prvky v blízkosti objektu také ovlivňují výpočet tepelných ztrát a teplených zisků objektu. [18, 23]

### 4.1 Akumulační schopnosti staveb

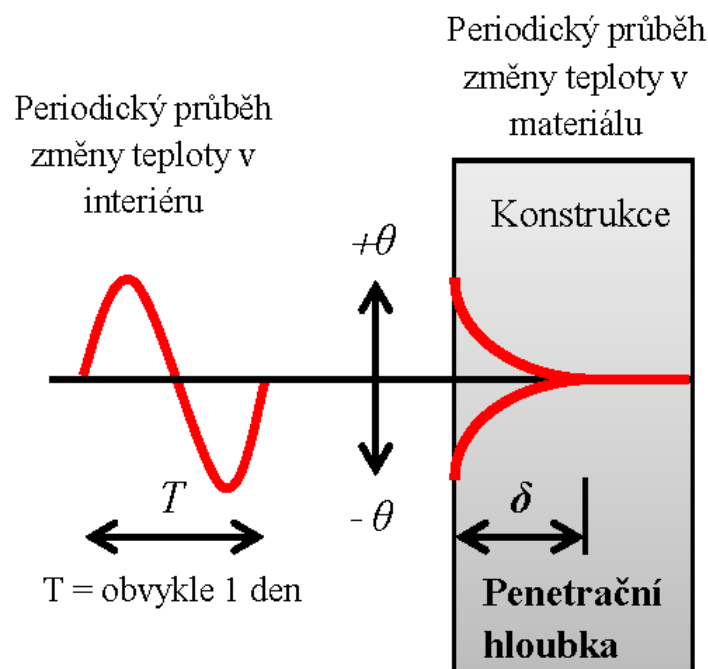
Nejdůležitějším parametrem pro posuzování akumulační schopnosti obálky objektu je hustota materiálu  $\rho$  a měrná tepelná kapacita materiálu  $c$ . Násobek těchto dvou veličin je pak tepelná kapacita stavebních materiálů. [18]

Tabulka 3: Parametry materiálů a výsledná plošná efektivní kapacita [18]

MATERIÁL	Objemová hmotnost	Měrná tepelná kapacita	Součinitel tepelné vodivosti	Objemová tepelná kapacita	Tloušťka nebo max. 70 % penetrační hloubky	Efektivní plošná tepelná kapacita
	$\rho$ [kg.m <sup>-3</sup> ]	$c$ [J.kg <sup>-1</sup> .K <sup>-1</sup> ]	$\lambda$ [W.m <sup>-1</sup> .K <sup>-1</sup> ]	$C_v$ [MJ.m <sup>-3</sup> .K <sup>-1</sup> ]	$\delta$ [mm]	$C_{A,eff}$ [kJ.m <sup>-2</sup> .K <sup>-1</sup> ]
Železobeton	2300	1020	1,36	2,35	88	207
Cihla plná	1800	900	0,86	1,62	85	137
Lehčené keramické tvarovky	650	1000	0,12	0,65	50	32
Pórobetonové tvarovky	300	1000	0,084	0,3	61	18
Sádrokartonová deska 12.5 mm	750	1060	0,22	0,8	12,5	10
OSB deska 15mm	600	1700	0,13	1,02	15	15
EPS 70F	15	1270	0,038	0,02	161	3,1
Minerální izolace do dutin	20	860	0,036	0,02	168	2,9
Vzduch	1,2	1010	–	0,001	–	–

### 4.1.1 Penetrační hloubka

Penetrační hloubka je hloubka materiálu od vnější strany konstrukce objektu, která je ovlivněna teplotou vnitřního vzduchu. Pro výpočet penetrační hloubky je zapotřebí znát hustotu materiálu a jeho měrnou tepelnou kapacitu. Penetrační hloubka se zvyšuje se zvětšením vrstvy stavební konstrukce, toto zvyšování však není konstantní. Penetrační hloubka existuje, jak pro teplotu vzduchu, tak pro vlhkost vzduchu. U teploty vzduchu je penetrační hloubka vyšší v řádech centimetrů, zatímco u vlhkosti vzduchu se jedná pouze o jednotky milimetrů. [18]



Obrázek 8: Penetrační hloubka [18]

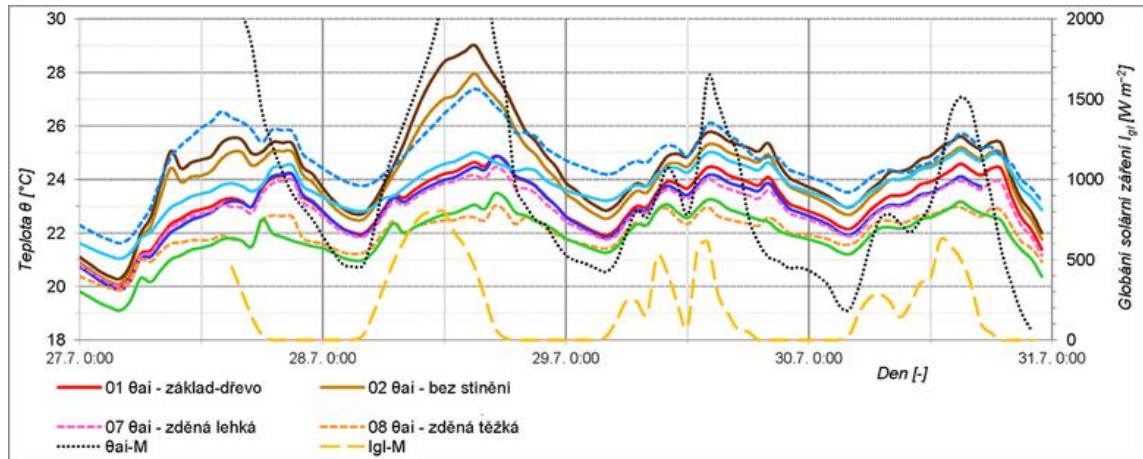
### 4.2 Letní tepelná stabilita

Letní tepelná stabilita charakterizuje teplotní vlastnosti objektu ve vztahu k vnějšímu prostředí. Prostor můžeme označit jako teplotně stabilní v případě, že teplota vnitřního vzduchu nepřekročí v daném časovém intervalu povolené meze. Dobře navržená tepelná stabilita objektu by měla zajistit, aby v objektu v letních měsících nedocházelo k přehřívání. Hodnotícím kritériem je nejvyšší denní teplota vnitřního vzduchu v objektu. Mezi faktory, které ovlivňují letní tepelnou stabilitu patří: tepelné zisky z průsvitných a neprůsvitných konstrukcí, akumulární schopnost objektu, větrání objektu a vnitřní zisky



od osob a spotřebičů. Tepelné zisky, které vznikají díky obálce objektu, jak průsvitné části, tak neprůsvitné části, jsou závislé na orientaci a míře zastínění. [18, 19]

Na obrázku 9 je vidět, jak se mění vnitřní teplota vzduchu během letních dnů vzhledem k použitým konstrukcím a stínění v oknech. [18, 19]



Obrázek 9: Letní tepelná stabilita [18]

$\theta_{ai}$  – M – venkovní teplota

Igi – M – oblačnost

01  $\Phi_{ai}$  - dřevostavba + zastínění oken

02  $\Phi_{ai}$  – dřevostavba bez zastínění oken

07  $\Phi_{ai}$  – zděná lehká konstrukce bez zastínění

08  $\Phi_{ai}$  – zděná těžká konstrukce bez zastínění

Z obrázku je patrné, že nejlépe dopadla zděná konstrukce bez zastínění. Kdyby v oknech bylo použito zastínění, určitě by ještě došlo ke snížení tepelných zisků z okolí. Nejhůře dopadla dřevostavba bez zastínění oken. Rozdíl mezi těmito dvěma variantami v extrémním případě dochází k rozdílu až  $6^{\circ}\text{C}$ .

## 4.3 Tepelná zátěž budovy

Tepelná zátěž budovy se skládá z vnější a vnitřní zátěže. Klimatickou zátěž budovy lze charakterizovat jako tepelné zisky a tepelné ztráty, které ovlivňují stabilitu vnitřního prostředí budovy. [1]

### 4.3.1 Vnější tepelná zátěž budovy

Mezi faktory, které nejvíce ovlivňují vnější zátěž budovy, patří venkovní klimatické podmínky, ve kterém se objekt, muzeum nachází. V úvahu je nutno brát také další parametry jakou jsou: nadmožská výška, rychlost a směr větru, orientace na světové strany, sluneční záření. Pro každou oblast, či region existují specifická klimatická data, která obsahují teplotu vzduchu, relativní vlhkosti vzduchu, sluneční radiaci, směr a rychlost větru. Všechny tyto parametry je potřeba zohlednit při výpočtu termické bilance objektu. [1]

Dále je zapotřebí zohlednit lokalitu, ve které se objekt vyskytuje. Je rozdílná v centru města, nebo na okraji, kde se může vyskytovat vodní tok, vodní plocha, les. Zatímco v centru města je nutné počítat se zvýšenou hodnotou znečištění vnitřního ovzduší, díky prachovým částicím, bude zapotřebí klást větší důraz na filtraci vzduchu. V zimě dochází ke zvýšeným tepelným ztrátám objektu, a to jednak díky ochlazování vnějších obvodových stěn budovy a díky výměně vzduchu mezi vnitřním a vnějším prostředím. Tepelné ztráty obálkových konstrukcí jsou dány plochou a materiálem dané konstrukce. Koeficient přestupu tepla  $U$  se udává ve  $W/m^2K$ . Čím nižší je tato hodnota, tím se jedná o lepší izolant. [1]

Tabulka 4: Hodnoty koeficientu přestupu tepla pro vybrané materiály [1]

Materiál	Hodnota $U$ [ $W/m^2K$ ]
izolovaná zeď	Méně než 0,5
zeď ze středně porézního vápence tl. 1 m (stará stavba)	1,13
oboustranně omítnuté zdivo (budova z roku kolem 1950)	2,8
Prosklené plochy – jednoduché zasklení (vztaženo na $m^2$ )	5,7
prosklené plochy – dvojitě zasklení (vztaženo na $m^2$ )	3,2

Tepelné ztráty větráním jsou dány hlavně větráním a přirozenou infiltrací vzduchu z exteriéru do interiéru. K další výměně vzduchu může docházet díky vzduchotechnickým jednotkám, které mají za úkol řídit správnou výměnu vzduchu v daném objektu. [1]

V létě jsou tepelné zisky z venkovního prostředí ovlivněny i slunečním ozářením. Proto celkový tepelný příspěvek závisí na tepelné kapacitě použitého materiálu, tak i na povrchové úpravě budovy. Povrch objektu absorbuje určitou část slunečního svitu v závislosti na absorpčním koeficientu. U tmavých povrchů může být tento koeficient 0,8 u světlých 0,6. Plochy, které sluneční svit odráží, mohou mít tento koeficient až 0,2. Největší tepelné zisky způsobují velké prosklené plochy. Míra ochrany prosklené plochy proti vlivu dopadajícího slunečního záření se vyjadřuje pomocí „solárního faktoru“ SF. Čím vyšší je hodnota solárního faktoru, tím nižší je míra ochrany povrchu před dopadajícími slunečními paprsky. [1]

Tabulka 5: Hodnoty solárního faktoru pro dané ochranné materiály [1]

<b>Druh ochrany</b>	<b>Hodnota SF [%]</b>
Zvenčí: dřevěná okenice	9
průsvitný závěs	26
Zevnitř: průsvitný závěs	50
reflexní fólie, filmy nebo laky (na obyčejné sklo)	45

Vnitřní tepelná kapacita objektu, neboli akumulační schopnost objektu, je další velice důležitý parametr, který je zapotřebí zohlednit při návrhu objektu, nebo při návrhu technologií, které zajišťují ideální tepelné a vlhkostní podmínky uvnitř objektu. [1]

### **4.3.2 Vnitřní tepelná zátěž budovy**

Vnitřní tepelná zátěž budovy je závislá hlavně na profilu užívání zóny. Jedná se tedy o to, jakým způsobem bude zóna využívána, pro jaké činnosti bude sloužit a kdy se zóna bude využívat. Proto je zapotřebí při návrhu vzduchotechnické jednotky a dalších zařízení, která slouží k úpravě vzduchu, uvažovat s profilem užívání zóny. Pro muzea lze definovat dvě základní zóny. Většinou se jedná o dva zóny, výstavní a komunikační zóna. Ve

veřejné zóně nejsou kladeny velké požadavky na teplotu vnitřního vzduchu a hlavně na relativní vlhkost vzduchu. [1]

### **Zóna výstavní**

U výstavní zóny je zapotřebí klást velký důraz při návrhu vzduchotechnických jednotek a všech dalších zařízení podílejících se na úpravě vnitřního vzduchu. Do této zóny můžeme zařadit následující: výstavní prostory, expozice, laboratoře, depozitáře, restaurátorské a konzervační ateliéry. [1]

### **Zóna společné komunikace**

Do této zóny můžeme zařadit – vícefunkční prostory, šatny, knihovny, vestibuly, kavárny, konferenční a přednáškové sály a podobné. [1]

U vnitřní tepelné zátěže je zapotřebí přihlídnout k osvětlení a počtu návštěvníků. Díky umělému osvětlení se do vnitřního prostoru uvolňuje teplo, to však lze redukovat pomocí úsporných LED svítidel, které nám tento jev eliminují. Dále je zapotřebí odhadnout jaká bude návštěvnost muzea. Jedná se o velice složitou záležitost, protože každý návštěvník do vnitřních prostor přispěje zhruba 100 W tepla a 10 g vody ve vodní páře. Je tedy zapotřebí před návrhem stanovit jaká bude návštěvnost, zda malá, střední či vysoká. [1]

## **4.4 Atmosférické znečištění a prach**

Atmosférické znečištění může být ve formě pevných nebo plynných částic a udává se jako koncentrace v objemu. Díky tomuto znečištění a znehodnocení je dobré vystavované předměty před těmito nežádoucími vlivy chránit různými prachotěsnými vitrínami, uzavřenými depozitáři a filtrací přiváděného vzduchu. [1]

Možností ochrany proti tomuto vlivu je několik. Nejjednodušší ochrana je uložení vystavovaného předmětu do vitríny, kde budou použity vhodné materiály, které nebudou generovat další prachové částice nebo další škodliviny. Další ochranou může být například čištění vzduchu pomocí různých filtrů, které částečně zbaví vzduch nežádoucích částic. [1]

#### **4.4.1 Pevné částice rozptýlené ve vzduchu**

Jedná se o takzvané aerosoly, ty jsou tvořeny pevnými částicemi, jako je například prach, popílek a saze. Zdrojem tohoto znečištění je spalování fosilních paliv, tiskárny, hrubé prašné práce, různé přístroje a sami návštěvníci. Tyto částice mnohdy také obsahují látky kyselého charakteru, kovy, které přispívají k degradaci materiálu. Zbytky textilních vláken, kůže a dalších organických látek mohou složit jako potrava pro různé mikroorganismy. [1]

#### **4.4.2 Plynné znečišťující látky**

Plynné znečišťující látky rozdělujeme podle zdroje vzniku, a to buď na vnější nebo vnitřní látky. [1]

#### **4.4.3 Vnější znečišťující látky**

Zdroj tohoto znečištění přichází z vnějšího okolí budovy. [1]

##### **Oxid síry, oxid siřičitý SO<sub>2</sub>**

Zdrojem tohoto znečištění je spalování fosilních paliv. Hlavním producentem jsou spalovny a teplárny, které využívají jako zdroj hnědé uhlí. Hodnota znečištění se v průběhu roku mění a to s ohledem na roční období. Největší koncentrace je během zimních měsíců, kdy je potřeba velké množství tepla na vytápění objektu. Oxid síry reaguje se vzdušnou vlhkostí a vzniká aerosol kyseliny sírové tzv. kyselý déšť. Tento aerosol působí velice negativně na většinu materiálů, zejména na kovové materiály. [1]

##### **Sirovodík H<sub>2</sub>S**

Jedná se o plyn, který vzniká tlením organických materiálů, a proto se s tímto plynem setkáme převážně v přírodě. Sirovodík negativně působí hlavně na měď a stříbro. [1]

##### **Oxidy dusíku**

Hlavním zdrojem je spalování pohonných hmot v benzínových, naftových a dalších motorech. Velice agresivní oxid dusíku je například oxid dusičitý. Tento oxid společně s vodou vytváří kyselinu dusičnou. Kyselina opět velice negativně působí na okolní materiály a způsobuje nevratnou degradaci. [1]

## Ozón

Vyšší a nebezpečná koncentrace ozónu vzniká především za velmi teplého počasí ve větších městech s hustým provozem. [1]

Tabulka 6: Limity znečišťujících látek v depozitárních prostorách [1]

Znečišťující látka	Koncentrace [ppm]
Oxid siřičitý	0,005 – 0,01
Oxid dusičný	0,005 – 0,01
Ozón	0,005 – 0,01

### 4.4.4 Vnitřní znečišťující látky

Zdroj znečištění se vyskytuje uvnitř budovy, proto je zapotřebí klást velký důraz na pravidelnou a častou výměnu vzduchu ve vnitřních prostorech. Hlavním zdrojem jsou běžné materiály, které jsou umístěny uvnitř muzea. Jedná se například o lepidla, nátěry, mobiliáře, veškeré exponáty. Ze všech těchto materiálů v objektech se uvolňují nejrůznější škodlivé látky, jako například formaldehyd, organické kyseliny, acetaldehyd a kyselina octová. V uzavřených prostorech, jako jsou vitríny a depozitáře, může docházet k mnohonásobnému překročení povolených hodnot. [1]

Velkým zdrojem kyseliny octové jsou tvrdé dřeviny, které i po vyschnutí několik let stále produkují kyselinu octovou. Proto je nevhodné tyto nástroje ukládat do uzavřených vitrín bez časté výměny vzduchu. Zdrojem formaldehydu bývají fenolformaldehydy a melarninformaldehydové pryskyřice. [1]

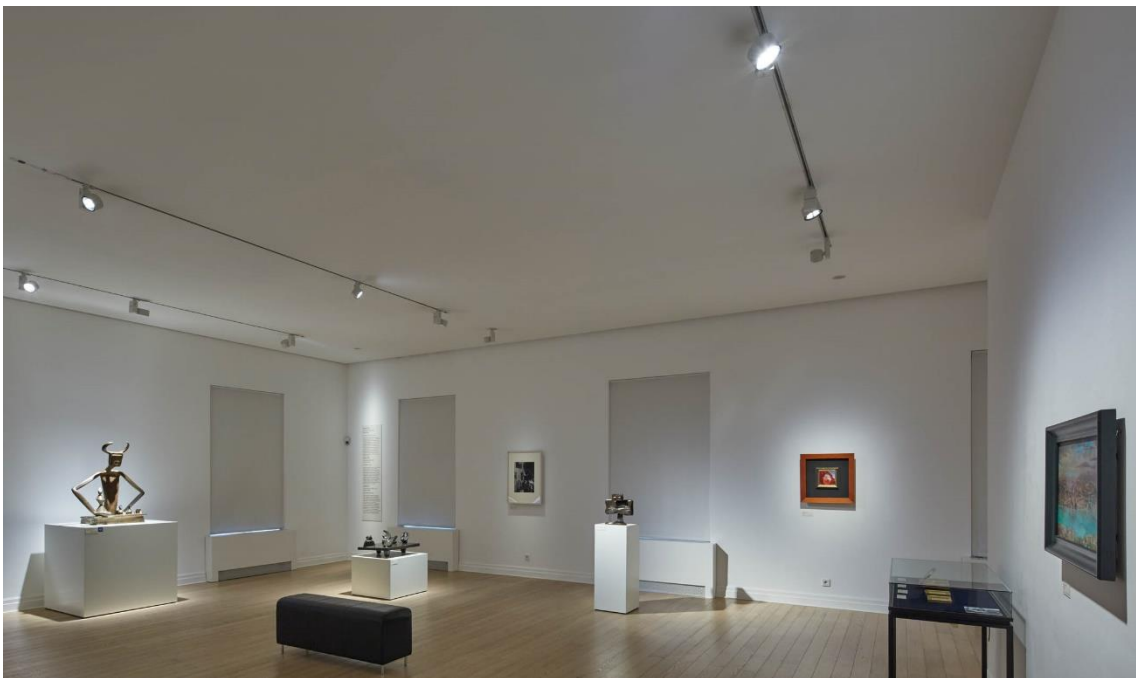
K vnitřním znečišťujícím látkám lze také zařadit sirovodík. Zdrojem sirovodíku bývají exponáty organické povahy, jako je například vlna, vlnový filc. Sirovodík vzniká v průběhu pozvolného rozkladu, tento rozklad probíhá nepřetržitě. Je nevhodné, aby byl vnitřek vitrín vypořádán obyčejnou tkaninou, u které bude docházet k pozvolnému uvolňování sirovodíku. Acetaldehyd nejčastěji těká z tmelů, dřeva a různých nátěrů. [1]

Mezi možnou ochranu patří již zmiňované časté a dostatečné větrání vnitřních prostor. Ochranu exponátů lze rozšířit o filtraci vzduchu. Mezi vhodnou filtraci vzduchu patří suché filtry, které jsou tvořeny různými druhy vláken a pěnových materiálů, které se

starají o filtraci vzduchu. Tyto filtry odloučí až 97 % prachových částic. Dále existují vodní filtry, které odfiltrují jak prachové částice, tak i plynné. Tyto filtry jsou schopny odfiltrovat 96 - 97 % oxidu siřičitého. [1]

## 4.5 Světlo

Pro výstavní účely je světlo velice důležité. Díky němu je možné vystavované předměty zkoumat a prohlížet. Světlo na vystavovaných předmětech způsobuje různá poškození, proto je důležité nastavit optimální podmínky pro světlo přírodní, ale hlavně pro světlo umělé. Tyto světelné podmínky je zapotřebí udržovat, jak při vystavování, tak při uchovávání v depozitářích a transportu. Světlo způsobuje tři základní poškození: fotochemické poškození (blednutí), fotomechanické poškození (strukturální změny) a termodynamické poškození (poškození vlivem dilatace materiálu). V ideálním případě by na exponáty nemělo dopadat žádné světlo. Tato varianta je však neslučitelná s výstavou exponátů, proto je zapotřebí najít vhodné varianty pro ideální osvětlení. [13]



Obrázek 10: Osvětlení v muzeu Max Ernst Museum Bruhl Germany [37]

Pro výstavní prostory je vhodné dodržovat některé zásady. Velice důležité je co nejvíce eliminovat světelné zdroje s velkým obsahem UV a IR záření. První a nejdůležitější zásada spočívá v redukci množství energie (světelný tok), která dopadá na exponáty. Dalším způsobem, jak možná co nejvíce ochránit exponáty, je použít svítidla s vyváženým

spektrém záření. Poslední zásada se netýká světla samotného, ale úzce s ním souvisí, jedná se o používání kontrastního pozadí u vystavovaných předmětů. V ideálním případě by měla obsahovat následující: UV a IR filtry, konverzní filtry pro úpravu teploty chromatičnosti světla, clonící klapky a rozptylující nástavce. [13]

Citlivost jednotlivých materiálů na světlo je různá, například anorganické materiály jsou vůči záření inertní, jedná se o kovy a silikátové materiály. Organické materiály jsou na světlo mnohem více náchylné a mohou být díky světlu částečně poškozeny, nebo dokonce zničeny. Rozsah poškození záleží na materiálu, intenzitě osvětlení, na vlnové délce. [1, 2]

Mezi nejcitlivější materiály, co se světelných podmínek týče, patří organická barviva, textil, kůže, papír, dřevo a organická pojiva. [1, 2]

Tabulka 7: Doporučené hodnoty světelné expozice [1]

Kategorie citlivosti	Stabilita materiálů vůči poškození světlem	Maximální roční expozice [lxh/rok]	Osvětlenost [lx]
Kategorie I.	Zvláště citlivé	12 000	50
Kategorie II.	Dosti citlivé	42 000	50
Kategorie III.	Citlivé	84 000	200

## 4.6 Biologické poškození

Biologické poškození způsobují biologičtí škůdci, jako jsou mikroorganismy, hlodavci, ptáci či hmyz. Poškození tohoto typu je nevratné. Důležitou strategií v boji proti tomuto typu poškození je určení a regulace vhodných podmínek prostředí pro uchování exponátů. Strategie obsahuje komplexní soubor různých opatření, které detailně popisují preventivní zásady, možná rizika napadení, včasnou identifikaci škůdců na základě, které dále detailně popisují odborný zásah. [4]

Biologické poškození můžeme rozdělit na dva základní typy. Přímé biologické napadení, kdy se jedná o metabolizaci složek předmětů a nepřímé biologické napadení jako je



hniloba, kdy dochází k sekundárnímu poškození exponátů vlivem metabolických produktů. Nejnáchylnější materiály na tento typ poškození jsou přírodní materiály. Obecně lze jmenovat materiály jako dřevo, celulóza a vlna, kterou obsahují textilie. Tyto materiály většinou obsahují přírodní cukry nebo bílkoviny. Materiály jsou napadeny biologickým škůdcem přímo, protože slouží jako potrava pro houby, bakterie a hmyz. Materiály jako je stříbro, zlato, ocel bývají napadeny biologickým škůdcem nepřímo, tato degradace je často způsobena vlivem některých bakterií. [4]

Teplota vnitřního vzduchu a relativní vlhkost vzduchu jsou dva nejdůležitější parametry, které je zapotřebí sledovat a udržovat je během skladování, transportu či expozici na vhodných hodnotách. Další velice důležitý parametr je čistota místa, kde se exponáty vyskytují. V těchto prostorách je zapotřebí klást velký důraz na čistotu prostředí a dostatečnou výměnu vzduchu. [4]

Kontrola stavu exponátu probíhá nejčastěji na základě vizuální stránky, ale napadení lze často detekovat díky zápachu, který vzniká z důvodu tvorby plynných metabolitů, jako je například amoniak či sulfan. [4]

## 5 Technologické celky

Technologické systémy jsou pro provoz výstavních prostor tím nejdůležitějším celkem. Při návrhu je potřeba zohlednit hned několik faktorů, a to jaké předměty zde budou vystavovány nebo uchovávány, jakým způsobem budou zóny užívány návštěvníky nebo zaměstnanci a v jakých klimatických podmínkách se objekt nachází. Tím pádem neexistuje ideální nebo univerzální systém, který by mohl být aplikován na řadu odlišných budov, Každý objekt je specifický. [2]

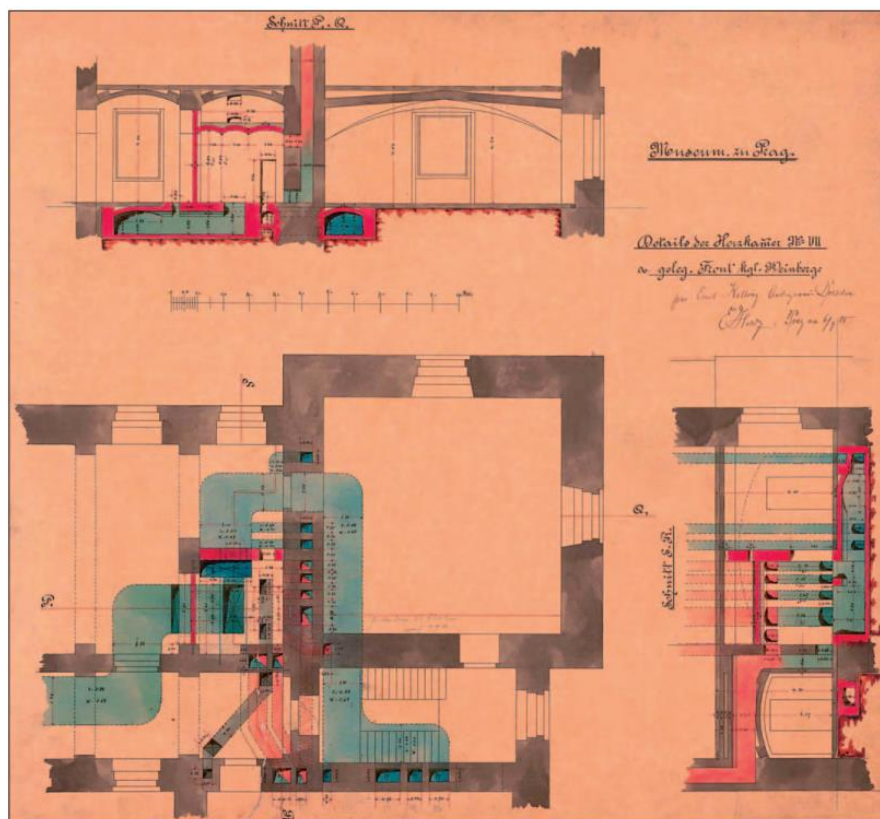
Tyto systémy se skládají ze čtyř nezákladnějších zařízení, které se starají o vytápění, chlazení, úpravu vlhkosti a větrání objektu. V nově vzniklých objektech jsou tyto čtyři funkce velice často sloučeny do jedné vzduchotechnické jednotky, která se stará o podmínky vnitřního prostředí v objektu. Vzduchotechnická jednotka bývá často podpořena ještě podpůrným systémem, který ale slouží spíše jako bivaletní, záložní systém. [2]

Pro správnou funkci všech systémů je zapotřebí vše správně regulovat. V dnešní době již vše probíhá automaticky pomocí softwaru, který snímá různé teploty vzduchu, vlhkosti vzduchu a další parametry, jak uvnitř objektu, tak mimo objekt. Tento systém z pravidla také umí data zaznamenávat, aby bylo možné samotný systém upravovat k lepším výsledkům a nedocházelo k nežádoucím změnám ve vnitřním prostředí. [2]

Předměty kulturní povahy mohou být uloženy a uchovávány v nejrůznějších typech staveb. Může se jednat o účelově postavené stavby pro uchovávání exponátů, které jsou vybaveny nejmodernější technologií, jež se stará o ideální podmínky uvnitř objektu a o vystavované předměty. Nebo se může jednat o starší objekty, ve kterých najdeme pouze základní vybavení pro udržení ideálních podmínek. Je vždy zapotřebí klást velký důraz na použité technologie, aby bylo dosaženo vhodných klimatických podmínek. Regulace a bezpečnostní systém musí být na velice vysoké úrovni vzhledem k povaze uložených předmětů, aby nedocházelo k náhlým změnám a tím pádem k možným škodám na vystavovaných exponátech. [2]

## 5.1 Vytápění

V prostorách, které slouží pro uchovávání předmětů kulturní povahy, se nejčastěji setkáme se sálavým vytápěním (podlahové, stropní a stěnové) nebo konvekčním vytápěním, v podobě deskových otopných těles a konvektorů. V některých případech může být objekt vytápěn teplovzdušným vytápěním. S tímto řešením se můžeme setkat spíše v nově postavených objektech, velkou výhodou tohoto způsobu vytápění je rychlost. Je zapotřebí si uvědomit, že se jedná o muzejní stavby, kde je nežádoucí, aby zvolený systém na vytápění zvyšoval prašnost v objektu, což by mělo za následek zvýšení úklidových prací. V dřívějších dobách bylo vytápění většinou řešeno lokální kotelnou na uhlí a rozvod teplého vzduchu byl zajištěn teplovzdušnými kanály. Tento typ vytápění je založen na rozdílu tlaku v objektu. Teplý vzduch se často přiváděl u podlahy do příslušné místnosti, celý systém se reguloval mřížkami nebo klapkami. [2, 14]



Obrázek 11: Návrh části vytápění Národního muzea v Praze [39]

## 5.2 Větrání

Větrání primárně slouží k úpravě vnitřního prostředí pro komfortní pobyt osob, ale také pro udržení ideálních podmínek pro předměty, které jsou v objektu umístěny. Větrání lze rozdělit na přirozené a nucené větrání. Zařízení pro větrání tedy slouží k přívodu čerstvého vzduchu z venkovního prostředí do budovy a odvod odpadního vzduchu z budovy do venkovního prostředí. Odpadní vzduch je potřeba odvádět z několika důvodů, a to například odvod znehodnoceného vzduchu, ve kterém jsou různé škodliviny, nebo odvod teplého vzduchu. [29]

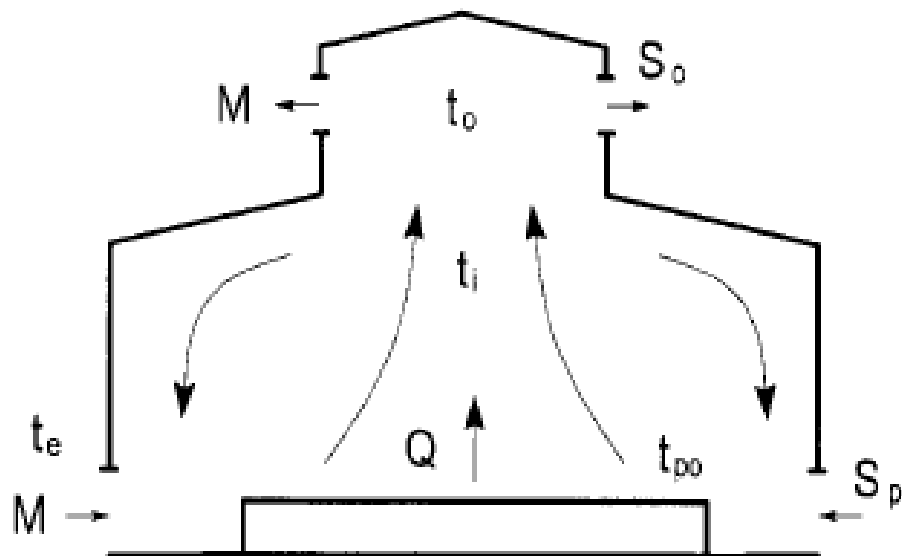
U starších a rozsáhlejších objektů se velice často využívalo šachtové větrání, které bylo doplněno přirozeným větráním okny, které mělo za úkol do místností přivádět čerstvý vzduch z venkovního prostředí. Z pohledu udržitelnosti vhodných podmínek je jednoznačně vhodnější nucené větrání. Tento typ větrání nebyl k dispozici v dobách, kdy většina dnes již historických budov vznikalo. V dnešní době se jedná o vyspělý systém, ale bývá velice komplikované tento systém do objektů zabudovat s ohledem na prostory a památkovou ochranu. [2, 14]

### 5.2.1 Přirozené větrání

Přirozené větrání je založeno na principu vztlaku a proudění vzduchu, kterého docílíme otíráním a zavíráním oken či dveří. Díky netěsnostem v obálce objektu dochází také k infiltraci vzduchu. Dnešním trendem je docílit co nejvíce vzduchotěsné obálky, tím pádem nedochází k dostatečné infiltraci a je zapotřebí častěji větrat okny. Při otevírání oken a dveří může docházet k nekontrolovatelnému a nepříjemnému proudění vzduchu. Tento způsob větrání je v budovách, kde jsou kladeny přísné požadavky na teplotu vnitřního vzduchu, relativní vlhkost vzduchu a další parametry, nedostatečný. Proto je mnohdy nevyhnutelné tyto prostory větrat nuceně. To však není vždy možné z technologického, potažmo památkářského hlediska. [29]

Přirozené větrání lze rozdělit na celkové přirozené větrání a místní přirozené odsávání. Celkové přirozené větrání slouží k větrání převážně halových objektů, kdy je zapotřebí odvést velké tepelné zisky. Tento princip se označuje jako větrání aerací. Do přirozeného větrání také patří infiltrace vzduchu a provětrávání. Provětráváním se označuje výměna vzduchu díky otírání oken. [2, 29]

Místní přirozené odsávání nebo také jako šachtové odsávání je založené na principu rozdílných teplot vzduchu. Využívá se například pro větrání koupelen a toalet v bytových domech. Pro správnou funkci toho typu větrání je zapotřebí zajistit vyšší teplotu v šachtě než je teplota vnitřního vzduchu. Tento typ větrání však naráží na problémy během teplých letních dnů, kdy tato podmínka není vždy splněna. [29]



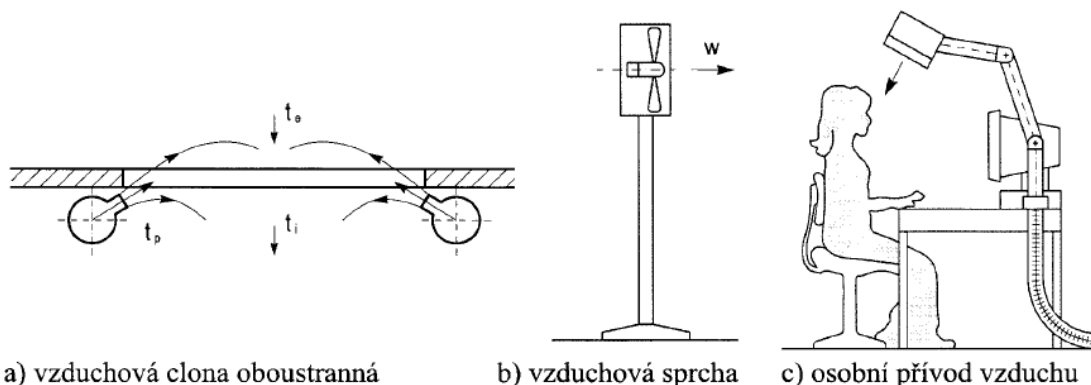
Obrázek 12: Větrání aerací [29]

$M$ (kg/s)	průtok vzduchu venkovního, odváděného
$Q$ (W)	tepelná zátěž
$S_p, S_o$ (m <sup>2</sup> )	průřez větracích otvorů přiváděcích, odváděcích
$t_e, t_{po}, t_i, t_o$ (°C)	teplota vzduchu venkovního, v pracovní oblasti, vnitřního, odváděného



## Místní přívod vzduchu

Jedná se o lokální úpravu vnitřního vzduchu. Úprava se nejčastěji týká teploty a čistoty vnitřního vzduchu. Tento způsob větrání je zajištěn díky vzduchovým clonám, vzduchovým sprchám nebo pomocí vzduchových oáz. [29]

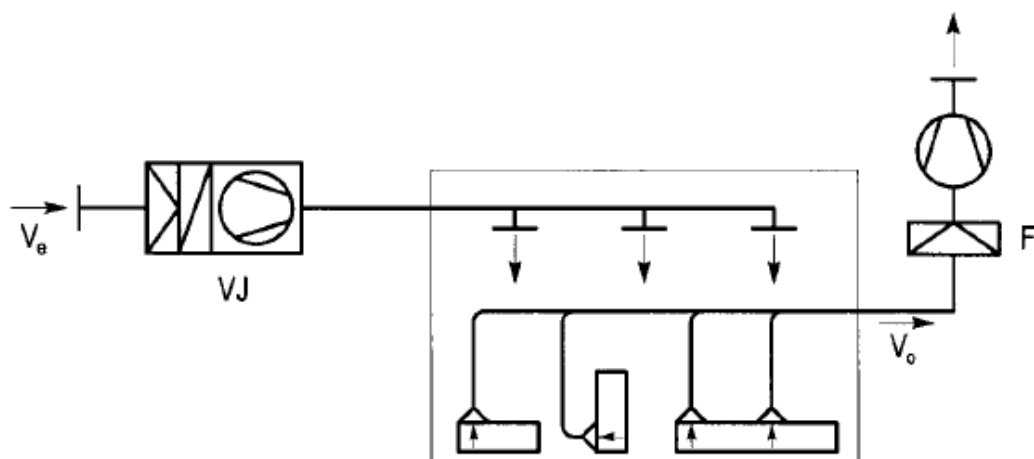


Obrázek 14: Ukázka vzduchové clony, vzduchové sprchy a osobního přívodu vzduchu

[29]

## Místní odsávání

Tento způsob větrání se nejčastěji uplatňuje na místech s vysokým výskytem škodlivých látek, nebo v případě vzniku velkého množství tepla. Odvedený vzduch musí být vždy nahrazen novým čerstvým vzduchem. Většinou se v těchto prostorách udržuje mírný podtlak. Tento podtlak je způsoben nerovnoměrným přívodem a odvodem vzduchu. Průtok přiváděného vzduchu bývá cca o 5 až 10 % nižší než průtok odváděného vzduchu. [29]



Obrázek 15: Ústřední odsávací zařízení od strojů [29]

$V_e, V_o$	průtok vzduchu venkovního, odváděného
VJ	větrací jednotka
F	filtr, odlučovač

### 5.3 Vzduchotechnika a klimatizace

Vzduchotechnické jednotky mají za úkol upravovat a udržovat ideální podmínky uvnitř objektu. Pomocí vzduchotechnických jednotek lze přiváděný vzduch ohřívat, chladit, filtrovat a upravovat jeho vlhkost. [2, 10]

Na rozvod upraveného vzduchu se dříve používaly stavební a větrací šachty, kanály. Později se však přešlo na plechové potrubní rozvody. V potrubí je řada klapek, kterými lze ovládat tok a cirkulaci proudícího vzduchu. Tyto klapky byly dříve ovládány hydraulicky, ručně nebo pneumaticky. Dnes je většina těchto klapek ovládána elektronicky. [2, 10]

Dnešní vzduchotechnické jednotky mohou být vybaveny systémem zpětného získávání tepla. Zpětné získávání tepla má za úkol šetřit náklady na vytápění či chlazení objektu. Přiváděný, neupravený vzduch z exteriéru je nasáván a přiváděn do jednotky zpětného získávání tepla. Z druhé strany je přiváděn již využitý, ale teplotně upravený vzduch. V jednotce zpětného získávání tepla je jeden z několika typů výměníku. Za pomoci



výměníku dojde k předání tepla či chladu. Dnešní nejmodernější výměníky dosahují až 90 % účinnosti. [2, 10]

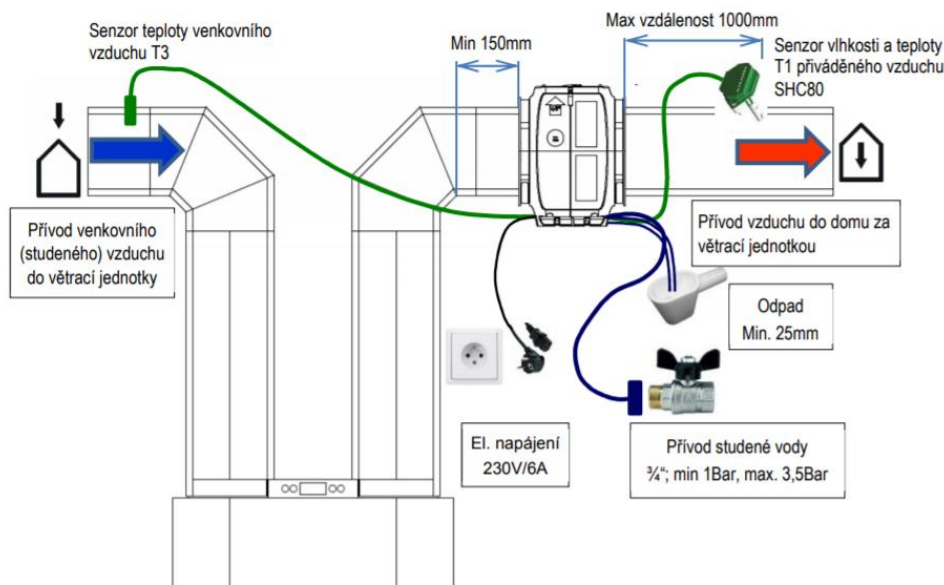
Při návrhu vzduchotechnické jednotky je zapotřebí přihlédnout k charakteristice stavby. Zde se jedná o starší či moderní stavbu, z jakého materiálu je objekt postaven, jak je situován, využíván a kolik procent obálkových konstrukcí tvoří prosklené plochy. [2, 10]

## **5.4 Úprava vlhkosti pomocí přenosných zařízení**

Přenosná zařízení na úpravu vlhkosti nabízí poměrně jednoduchý způsob jak udržovat ideální relativní vlhkost vzduchu v místnosti. Před samotnou instalací těchto zařízení je však zapotřebí vzít v úvahu charakteristiku objektu a zamyslet se, co vše může ovlivňovat zvýšenou či sníženou relativní vlhkost vzduchu. Každý zvlhčovač a odvlhčovač by měl být vybaven bezpečnostním čidlem, který včas informuje obsluhu o problému, nebo se v případě poruchy samočinně vypne. [2]

### **5.4.1 Adiabatický zvlhčovač**

Adiabatické zvlhčování je poměrně jednoduchý princip, který je založen na distribuci vodní páry, která vzniká při proudění suchého vzduchu kolem navlhčeného materiálu. Ventilátor prohání vzduch kolem navlhčeného materiálu, tento materiál může být umístěn na bubnu, který rotuje a je namáčen do vody. Výkon těchto zvlhčovačů je regulován pomocí otáček ventilátoru. Některá modernější zařízení mohou být vybavena a filtry, které mají za úkol zachytávat znečišťující látky. Nejedná se o ideální zařízení do náročnějších prostor pro zajištění ideální vlhkosti z důvodu horší regulace a možného rozvoje vzniku mikroorganismů. [2, 11]



Obrázek 16: Schéma zapojení adiabatického zvlhčovače [12]

## 5.4.2 Parní zvlhčovač

Parní zvlhčovače zvyšují relativní vlhkost vzduchu díky varu vody, která se následně přemění do plynného stavu – páry. Pára se následně pomocí ventilátoru a potrubí dopravuje na exponované místa. S ohledem na ekonomické hodnocení se nejedná o vhodné řešení, protože provoz je spojen s větší energetickou náročností a častou údržbou ohřivačů vody. [2, 12]

## 5.4.3 Kondenzační odvlhčovač

Kondenzační odvlhčovače se skládají z okruhu s výparníkem, kompresorem a kondenzátorem. Princip samotného odvlhčení je velice jednoduchý. Vzdušná vlhkost se vysráží na chladném povrchu výparníku, který je ochlazován expanzí odpařeného kapalného chladiva. [2]

## 5.4.4 Adsorpční odvlhčovač

Tento typ odebírá vlhkost přímo z nasávaného vzduchu na principu hygroskopické adsorpce. Nasávaný vzduch je veden k rotujícímu sorpčnímu kolu přes řadu filtrů. Sorpční kolo pomalu rotuje, na povrchu kola je například silikagel, zde dochází k vázání vodní molekuly. Během otáčení kola prochází lopatky tzv. regeneračním sektorem kde

je kolo vystaveno proudu horkého vzduchu o teplotě až 140 °C. Tato zařízení poskytují vysoký odvlhčovací výkon, ale za cenu vyšších provozních nákladů. Tato zařízení se nejčastěji umísťují do prostor s velice nízkou teplotou. [38]



Obrázek 17: Adsorpční odvlhčovač [38]

## 5.5 Požární ochrana

Hlavním cílem protipožární ochrany je minimalizace vzniku požáru v objektu. Protipožární opatření jsou daná legislativou ze které plynou povinnosti pro správce, vlastníky objektu. Protipožární ochrana musí být vždy realizována odpovědnou organizací a správním úřadem. Pro každý objekt, ve kterém jsou uchovávány exponáty kulturní povahy, by měl být zpracován dokument, který popisuje protipožární strategii. Tento manuál by měl obsahovat seznam zaměstnanců a všech exponátů. Nadále by měl také obsahovat podrobnou strategii v případě požáru a detailní plány pro případ požáru. V objektech paměťových institucí v České republice musí být instalován systém EPS (elektronický požární systém) s certifikací GŘ HZS. Tento systém podléhá pravidelným kontrolám. EPS je složena ze dvou základních částí, a to ze samočinných požárních hlásičů požárů a z ústředny. [2]



Obrázek 18: Sprinkler [32]

### 5.5.1 Hlásiče požáru

Hlásiče mají za úkol aktivovat protipožární systém, ten se může skládat například z alarmu či sprinklerových jednotek. Hlásiče požárů můžeme rozdělit do několika skupin a to podle způsobu detekce požáru. Hlásiče mohou reagovat například na kouř, zvýšenou teplotu nebo na kombinaci. Do popředí se také dostává technologie rozpoznávání požáru na základě analýzy obrazu, který snímá speciální kamera. [2]

### 5.5.2 Tlačítkové hlásiče

Jedná se o nejjednodušší technologii co se týče ohlašování požáru. Tlačítka se umísťují na frekventovaná místa, aby došlo k vyhlášení poplachu v co nejkratší možné době. Tlačítka slouží pouze pro vyvolání poplachu, nejedná se o samočinný systém, kdy k vyvolání není zapotřebí lidský činitel. [2]

### 5.5.3 Hlásiče kouře

Jedná se o velice populární typ hlásiče požáru, protože k ohlášení požáru dochází během několika okamžiků bez ohledu na teplotu. Tento způsob je však limitován prostředím, ve kterém bude použit. Prostředí nesmí být prašné, nesmí zde vznikat páry. Tento způsob hlásiče se tedy nehodí do koupelen, kuchyní, místností, kde je umístěn krb, či do prostor se zvýšenou prašností. Princip detekce požáru je založen na principu rozptylu světla a odrazu paprsků. Hlásič obsahuje detekční komoru, kde je umístěn optický emitör a detektor. [15]

### **5.5.4 Hlásiče teplot**

Tento typ hlásičů reaguje na zvýšenou teplotu v místnosti. Hlásiče mohou spouštět poplach při překročení nastavené teploty nebo při rychlém nárůstu teploty v místnosti. Tento typ hlásičů je vhodný používat na místech, kde není možné použít hlásič kouře. Měření teplot je nejčastěji pomocí dvou termistorů. [16]

### **5.5.5 Ústředna**

Hlavním úkolem ústředny je zpracovávat data od hlásičů a dalších detekčních prvků. Následně informace vyhodnocuje a v případě požáru aktivuje aktivní koncové prvky, jako je například alarm, siréna, stabilní hasicí zařízení či protipožární klapky a dveře. Ústředna má také za úkol informovat o stavu celého systému a v případě požáru by měla být schopna detekovat místo vzniku požáru. [2]

## **5.6 Uložení a transport exponátu**

Úložné prostory by měly být uzpůsobeny předmětům které v nich budou uloženy. Je zapotřebí přihlídnout k počtu exponátů, jejich velikosti a hmotnosti, ale také v jakých podmínkách se prostory nachází. Je důležité sledovat několik parametrů, jako je například teplota vnitřního vzduchu, vlhkost a světlo. V případě ukládání těžších předmětů v nadzemních patrech je potřeba získat statický posudek od statika. Každý depozitář by měl také obsahovat řadu protipožárních systémů v případě nehody. Při ukládání rozměrnějších exponátů je nutné počítat s většími rozměry všech dveřních výplní a vnitřním prostorem pro případnou manipulaci. [2]

### **5.6.1 Úložné systémy**

Úložný mobiliář slouží k umístění výstavních předmětů. Mobiliář musí sloužit tak, aby nedošlo k jakémukoli poškození vlivem vnitřního prostředí. Proto by mobiliáře měly být vyrobeny z pevných, neměnných a trvanlivých materiálů. Také by měly být dostatečně naddimenzovány, protože je potřeba počítat s dlouhodobým umístěním a manipulací. Mezi další velice důležité parametry patří protipožární ochrana. Každý mobiliář musí být ze zákona opatřen tabulkami, které udávají rozměry, nosnost a další důležité parametry. Další podmínkou jsou revizní prohlídky, které musí každý mobiliář podstupovat. [2]

## 5.6.2 Podlažní ukládání

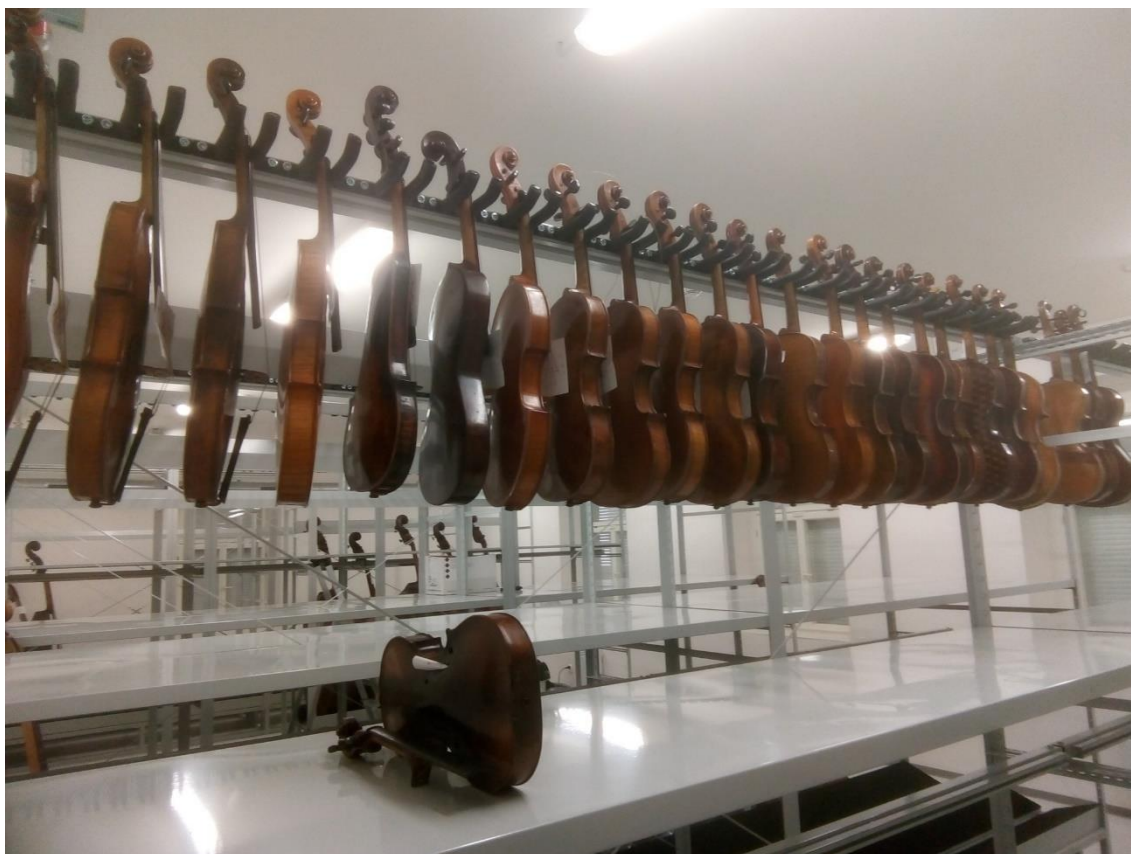
Objemnější předměty jsou většinou ukládány přímo na podlahy. V případě využití této varianty je vhodné pod předmět umístit speciální izolační podložku, například palety nebo vozíky. Tato podložka má za úkol snižovat riziko výkyvu teplot, navlhnutí a částečné ochrany v případě havárie vody. Díky podložce je také snadnější manipulace s těžšími břemeny. Velice často se využívají různé druhy palet, které lze snadno transportovat za pomoci vysokozdvíhových vozíků. [2]



Obrázek 19: Úložný systém pro klavíry [5]

## 5.6.3 Regálové systémy

Regálové systémy máme statické, nebo pohyblivé. Tento systém by měl splňovat několik následujících podmínek. Být dostatečně pevný, aby nedocházelo k nebezpečnému průhybu. Použité materiály nesmí uvolňovat škodlivé látky, jak při běžných podmínkách, tak i v případě požáru. Je potřeba také zajistit dostatečnou cirkulaci vzduchu. [2]



Obrázek 20: Ukázka uložení nástrojů [36]

#### **5.6.4 Trezory**

Trezory jsou určeny pro uchovávání a uložení velice cenných předmětů. Trezory mají různé bezpečnostní třídy, které udávají pro jaké předměty je trezor dané třídy vhodný. Trezory jsou z pravidla odolné vůči požáru, vodě a hrubému násilí. Trezory mohou být zabudovány ve zdi, volně stojící nebo existují trezorové místnosti. [2]

#### **5.6.5 Skříně a komody**

Uchovávání sbírkových předmětů ve skříních či komodách poskytuje další stupeň ochrany. Mezi hlavní výhodu patří vysoká ochrana proti slunečnímu záření, dále ochrana proti prachu. Materiály, ze kterých jsou skříně konstruovány, by měly být alespoň částečně odolné vůči ohni, dále by materiál měl vytvářet vhodné klimatické podmínky pro ukládané předměty. [2]

Mezi speciální skříně například patří výkresové a mapové skříně. Tyto skříně slouží hlavně k ukládání velkoformátových pláten, jako jsou výkresy a mapy. Tyto exponáty by měli být většinou uloženy v rozvinuté poloze. [2]

## 6 České muzeum hudby – popis

České muzeum se nachází v Praze na adrese Karmelitská 2/4, 118 00, Malá Strana na místě bývalého barokního kostela sv. Máří Magdaleny. Tento objekt za dobu své životnosti prošel několika etapami. [30]

### 6.1 Historie objektu

České muzeum hudby sídlí v barokně-klasickém trojlodním kostele svaté Máří Magdaleny. Základní stavba dominikánského kostela byla dokončena v roce 1679. V roce 1848 došlo k přestavbě kostela na četnické kasárny. Hlavní úprava objektu spočívala ve výstavbě tří pater po celém obvodu. Dále došlo k vybudování ochozu, který sloužil jako vnitřní komunikace. Poslední zásadní změna se týkala monumentálního schodiště, které je v místech bývalého kněžiště. Toto schodiště mělo za úkol urychlit a zlepšit celkovou mobilitu četnictva. Těmito zásahy došlo k výraznému narušení původního rázu chrámové stavby. [20]



Obrázek 21: Četnické kasárny v roce 1848 [20]

Po zrušení četnických kasáren budova sloužila jako tehdejší Státní ústřední archiv. Později Národní archiv získal prostory v nové moderní budově na Chodovci. Po této



události budova připadla Českému muzeu hudby, které hledalo nové prostory, protože původní prostory ve Velkopřemyslovském paláci byly restituovány. V letech 2002 až 2004 došlo v Českém muzeu hudby k rekonstrukci, kdy hlavním cílem bylo navrátit objektu původní klasicistní podobu. [20]



Obrázek 22: Rekonstrukce Českého muzea hudby [20]

## 6.2 Aktuální stav

Celé první patro v objektu patří expozici, kde je k nahlédnutí přes 400 vzácných hudebních nástrojů. Zbylé prostory slouží jako depozitáře, restaurační prostory a prostory pro pracovníky Českého muzea hudby. Hlavní loď slouží také jako koncertní síň. Distribuce tepla v objektu je částečně pomocí konvektorů, které jsou hlavně umístěné v místech expozice. Hlavní loď je vytápěna podlahovým vytápěním. U hlavního vstupu do objektu je umístěna vzduchová clona, která má za úkol chránit posluchače a návštěvníky v chladných dnech proti nepříjemnému průvanu. Jako zdroj tepla jsou

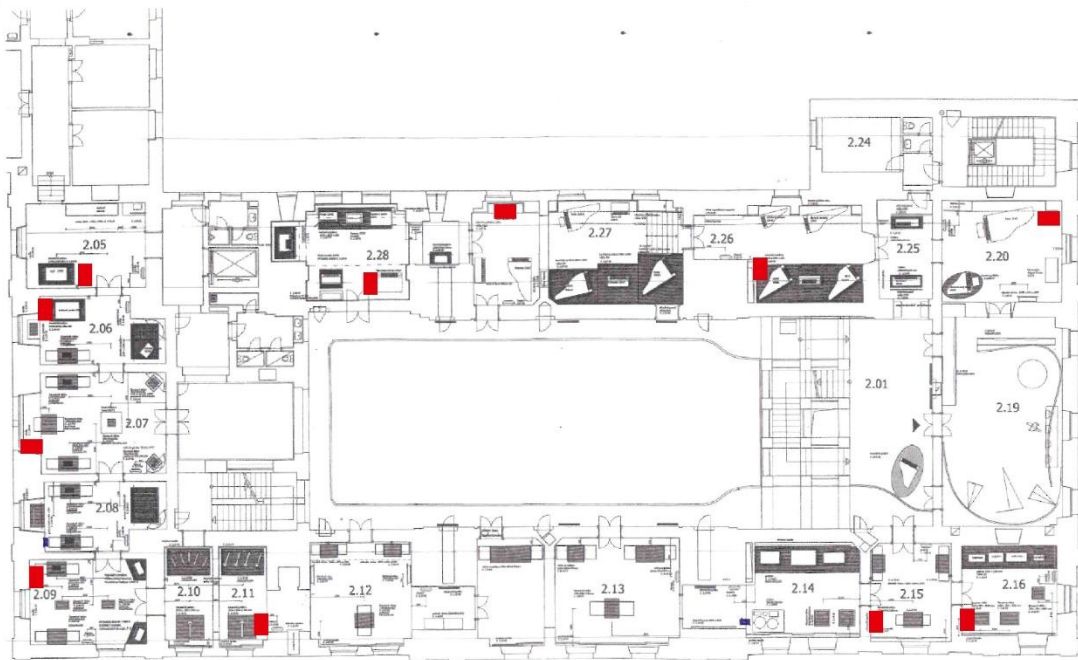
v objektu plynové kotle, které jsou umístěny v kotelně. Větrání v objektu je zajištěno přirozeným větráním a infiltrací vzduchu.



Obrázek 23: Klavírový klavír Wolfganga Amadea Mozarta (České muzeum hudby)

V prostorách muzea se nachází také 11 zvlhčovačů vzduchu značky Defensor typ PH15. Tyto jednotky mají za úkol zajišťovat požadovanou relativní vlhkost vzduchu a čistotu vnitřního vzduchu. Do zvlhčovače je zapotřebí ručně dolévat vodu pro vlhčení, proto se nejedná o naprosto bezchybné zařízení, díky chybě, která může nastat z nedostatku vody. Zvlhčovač dále čistí vnitřní vzduch od prachových částic, bakterií, pylů a dalších polétavých částic větších než 0,5  $\mu\text{m}$ . Mimo jiné zvlhčovač pomáhá odstraňovat

nepříjemný zápach jako je tabákový kouř, výfukové plyny, komínové plyny a další. Toto znečištění se dostává do vnitřních prostor muzea díky větrání a infiltraci vzduchu z okolí.



Obrázek 24: Umístění mobilních zvlhčovačů Defensor PH15



Obrázek 25: mobilní zvlhčovač vzduchu Defensor PH15 [5]

Dále jsou v muzeu umístěny čidla, která mají za úkol snímat vnitřní teplotu vzduchu a relativní vlhkost vzduchu. Čidla jsou ve všech místnostech, kde je zapotřebí sledovat

parametry vnitřního vzduchu. Čidla jsou od firmy Hanwell s přesným typovým označením ML4106-434.075. Jedná se o bezdrátový systém, který je navržen přímo pro muzea, galerie, zámky, depozitáře atd. Vzhled zařízení je optimalizován tak, aby co nejméně rušil expozici, proto je vhodné čidla umísťovat i do vitrín s exponáty. Naměřené hodnoty jsou následně odesílány a vyhodnocovány softwarem, kde lze následně pozorovat teplotu a vlhkost každého čidla zvlášť. Hodnoty lze dohledávat zpětně, což uživateli pomáhá s identifikací vzniklých problémů a jejich odstraněním do budoucna. Čidla jsou každý rok kalibrována u Českého metrologického institutu.

Tabulka 8: Technické parametry Defensor PH15 [5]

Typ	PH15			
	1	2	3	4
Výkonové stupně				
Zvlhčovací výkon [l/h]				
při 25 °C a 20 % r. v.	0,8	1,1	1,5	1,7
při 23 °C a 45 % r. v.	0,6	0,8	1	1,3
Cirkulace vzduchu [m <sup>3</sup> /h]	155	195	280	340
Pro místnosti do objemu max. [m <sup>3</sup> ]	280	380	510	580
Hladina akustického tlaku [dBA]	33	38	45	50
Hladina akustického výkonu [dBA]	47	52	59	64
Napájení	220..240 VAC/1, 50..60Hz nebo 90..100 VAC/1,50..60Hz			
Příkon	max. 72 W			
Hmotnost (prázdná)	25 kg			
Objem zásobníku na vodu	20 litrů			
Rozměry (Š x V x H)	730 x 610 x 370			
Certifikáty, shoda	VDE, GS, CE, GOST			

## 7 Vyhodnocení měření

Praktická část práce se zabývá analýzou jednotlivých zón a k nim přiřazených místností. Od zástupců Českého muzea hudby byly získány naměřené hodnoty teploty vnitřního vzduchu a relativní vlhkosti vzduchu z jednotlivých místností během celého roku. Hodnoty byly zaznamenávány v půl hodinových intervalech od 31.03.2020 10:00 do 31.03.2021 23:00. Z teploty vnitřního vzduchu a relativní vlhkosti vzduchu byla dopočítána měrná vlhkost. Následně pro tyto tři parametry: teplota vnitřního vzduchu, relativní vlhkost vzduchu a měrná vlhkost vzduchu bylo vyneseno grafické znázornění.

Pro výpočet měrné vlhkosti z teploty vnitřního vzduchu a relativní vlhkosti vzduchu byl použit následující vzorec.

$$x = 0,622 \frac{p_v}{p - p_v} = 0,622 \cdot \frac{\varphi \cdot p_v''}{p - \varphi \cdot p_v''} \quad (7.1)$$

Pomocné rovnice pro výpočet:

$$\ln p_v'' = \frac{C_8}{T} + C_9 + C_{10} \cdot T + C_{11} \cdot T^2 + C_{12} \cdot T^3 + C_{13} \cdot \ln(T) \quad (7.2)$$

Tabulka 9: Konstanty [31]

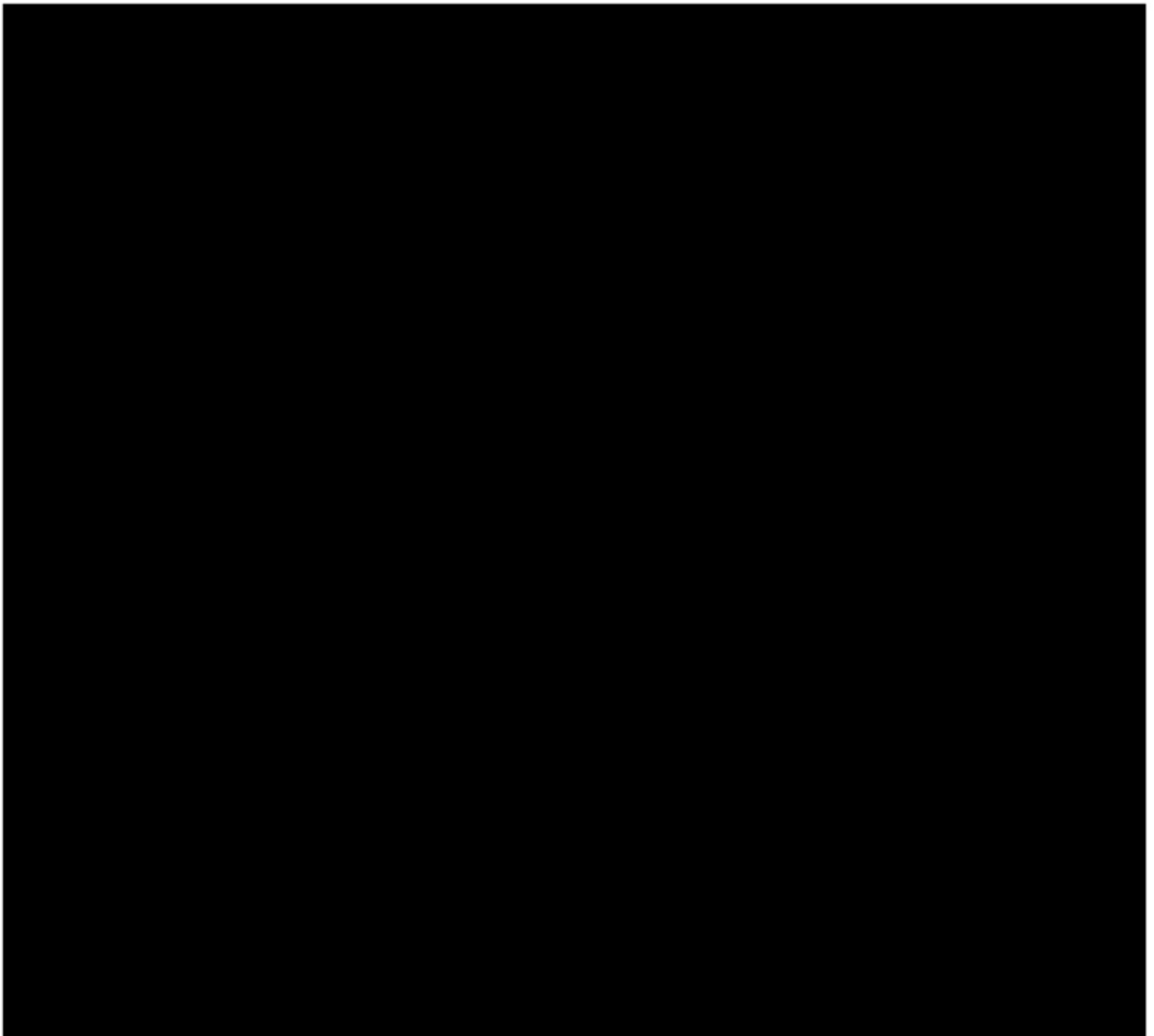
Kde:

C <sub>8</sub>	= -5,800 220 6.10 <sup>3</sup>
C <sub>9</sub>	= -5,516 256 0
C <sub>10</sub>	= -4,864 023 9.10 <sup>-2</sup>
C <sub>11</sub>	= 4,176 476 8.10 <sup>-5</sup>
C <sub>12</sub>	= -1,445 209 3.10 <sup>-8</sup>
C <sub>13</sub>	= 6,545 967 3

Relativní vlhkost vzduchu výpočet:

$$\varphi = \frac{p_v}{p_v''} \quad (7.3)$$

Do h-x diagramu byly zakresleny ideální podmínky pro dlouhodobé uchování dřevěných nástrojů (relativní vlhkost vzduchu ██████ %, teplota vnitřního vzduchu ██████ °C, kovových nástrojů (relativní vlhkost vzduchu ██████ %, teplota vnitřního vzduchu ██████ °C). Z těchto dvou množin lze určit průnik vhodných podmínek pro kombinované nástroje ze dřeva a kovu. Tyto podmínky jsou: relativní vlhkost vzduchu ██████ % a teplota vnitřního vzduchu ██████ °C. Červenou barvou jsou označeny dosažené extrémy, které jsme během měření zaznamenali.



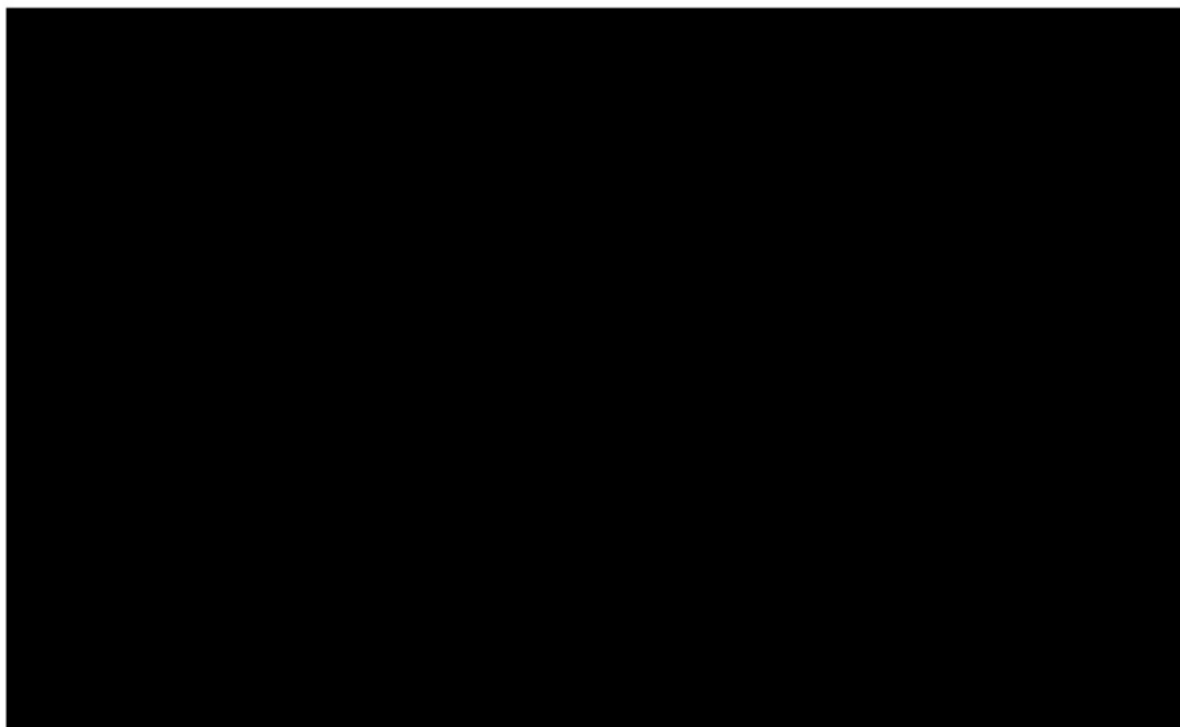
Obrázek 26: Zakreslení stavů do h-x diagramu

## 7.1 Zóny

Expozice byla rozdělena do tří zón. V každé zóně jsou umístěny nástroje, které spadají do specifické skupiny hudebních nástrojů.

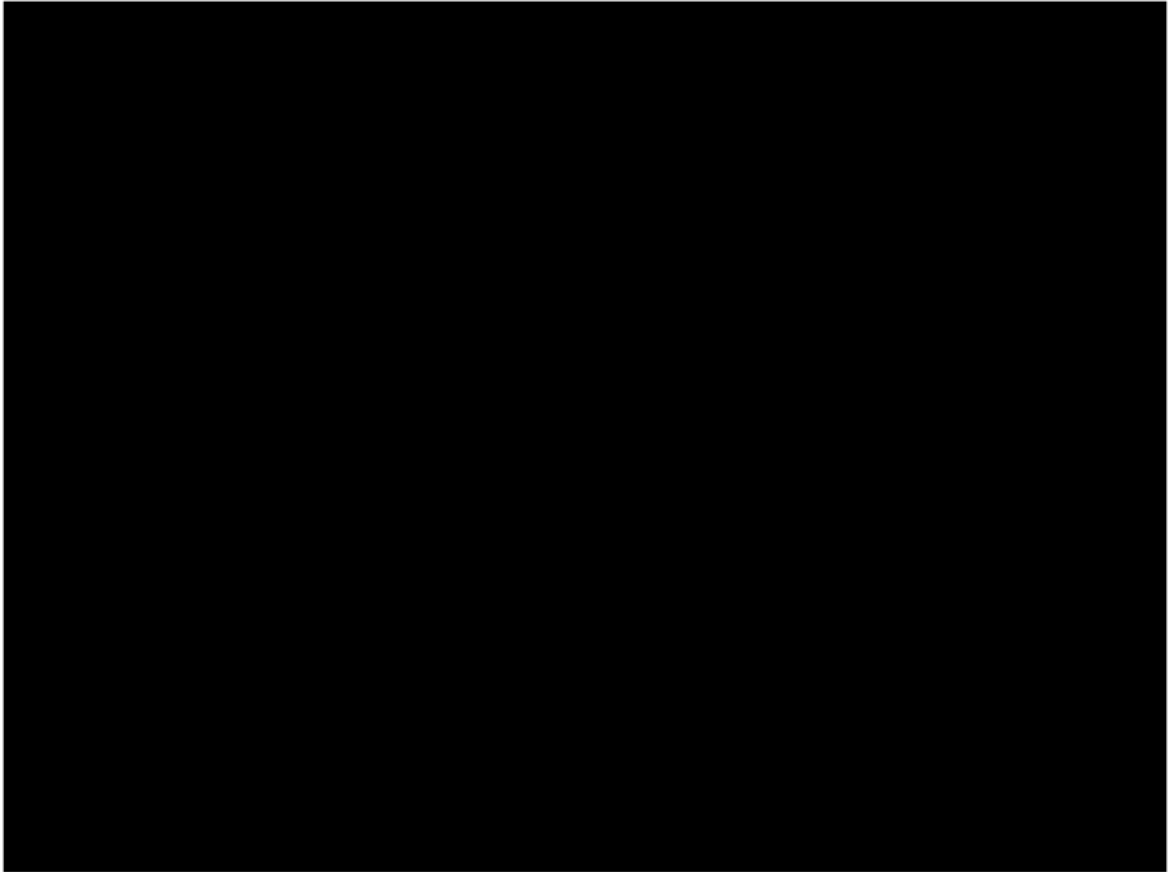
## 7.2 Zóna 1 Dechové nástroje

Tato zóna zahrnuje místnosti [REDACTED]. Defensory jsou umístěny v místnostech [REDACTED]. Konec první části expozice končí v místnosti [REDACTED] kde jsou umístěny i východové dveře, které vedou do dvorany. Klimatické podmínky v těchto místnostech budou ovlivněny jak východem tak hlavním vstupem z dvorany. Místnosti [REDACTED] a [REDACTED] jsou orientovány na sever, velké solární zisky v těchto místnostech tím pádem nebudou. Zatímco místnosti [REDACTED] a [REDACTED] jsou orientovány na východ, ale před okna je objekt, který částečně stíní tato okna. Dechové nástroje jsou převážně vyrobeny z kovových materiálů, které jsou místy doplněny slonovinou a dřevem. Relativní vlhkost vzduchu této zóny by se měla držet v pásmu [REDACTED]% a teplota vnitřního vzduchu by se měla udržovat mezi [REDACTED]°C.



Obrázek 27: Zóna 1 [REDACTED]

Na obrázku 27 jsou do půdorysu zakresleny všechny místnosti, které tato zóna zahrnuje a umístění všech defensorů, které v těchto místnostech jsou

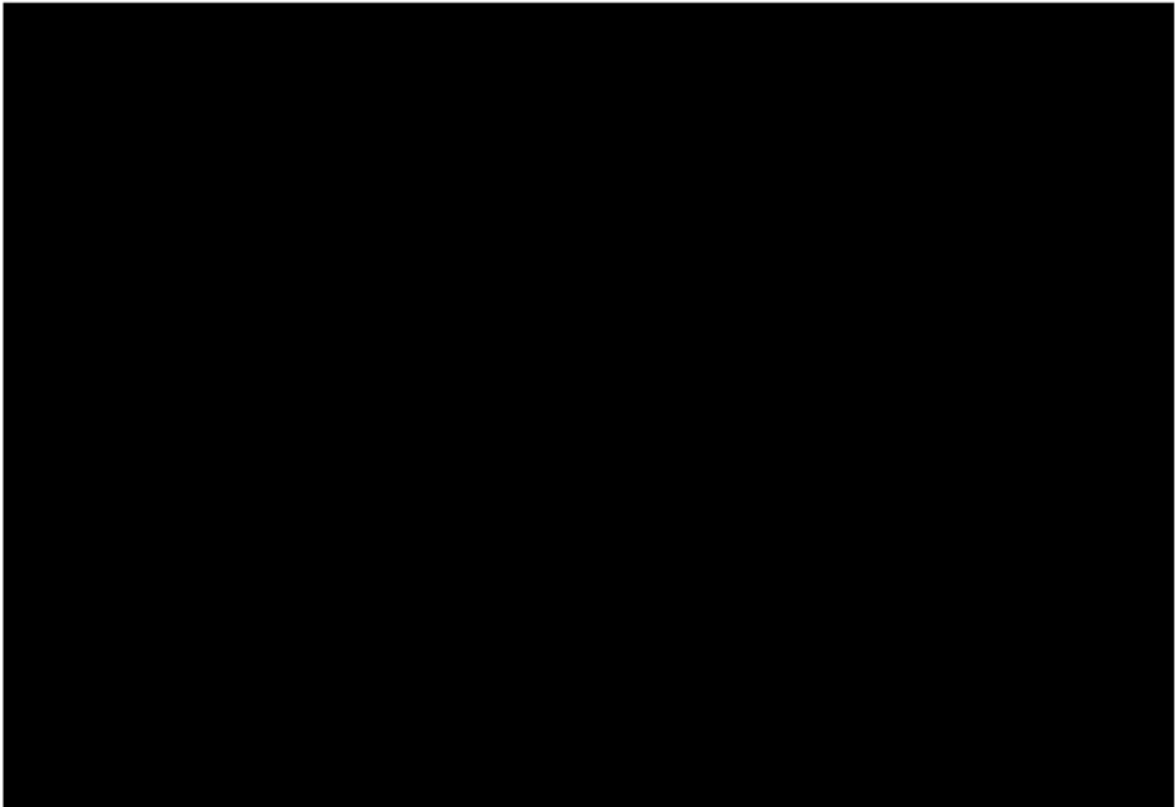


Graf 1: Grafické vyjádření průběhu teploty vnitřního vzduchu v zóně 1

Z grafického vyjádření průběhu teploty vnitřního vzduchu od [redacted] do [redacted] v zóně 1 je patrné překročení teploty vnitřního vzduchu všech místností od druhé poloviny května roku [redacted]. Překročení horního limitu teploty vnitřního vzduchu pokračuje u místnosti [redacted] až do [redacted]. Většina místností se do limitu teploty vnitřního vzduchu dostane po [redacted]. Překročení limitu teploty vnitřního vzduchu je způsobeno solárními zisky a nedostatečným odvodem přehřátého vzduchu z místností. Od začátku měření [redacted] jsou v limitu teploty vnitřního vzduchu pouze místnosti [redacted]. Zbylé tři místnosti [redacted] jsou pod limitem teploty vnitřního vzduchu. U místnosti [redacted] došlo k prudkému poklesu teploty [redacted], kdy teplota vnitřního vzduchu klesla za [redacted] hodiny o [redacted] °C. Jedná se o velice prudké ochlazení vnitřního vzduchu, které může mít za následek nevratné změny na hudebních nástrojích. Toto ochlazení mohlo být zapříčiněno otevřením dveří do dvorany, která byla v těchto dnech pouze temperována. Teplota u místnosti [redacted] se dostane do limitu teploty vnitřního vzduchu [redacted], v tomto limitu se drží až do [redacted] až na dvě krátká překročení limitu. Dne [redacted] došlo k prudkému poklesu teploty vnitřního vzduchu v místnosti [redacted], kdy



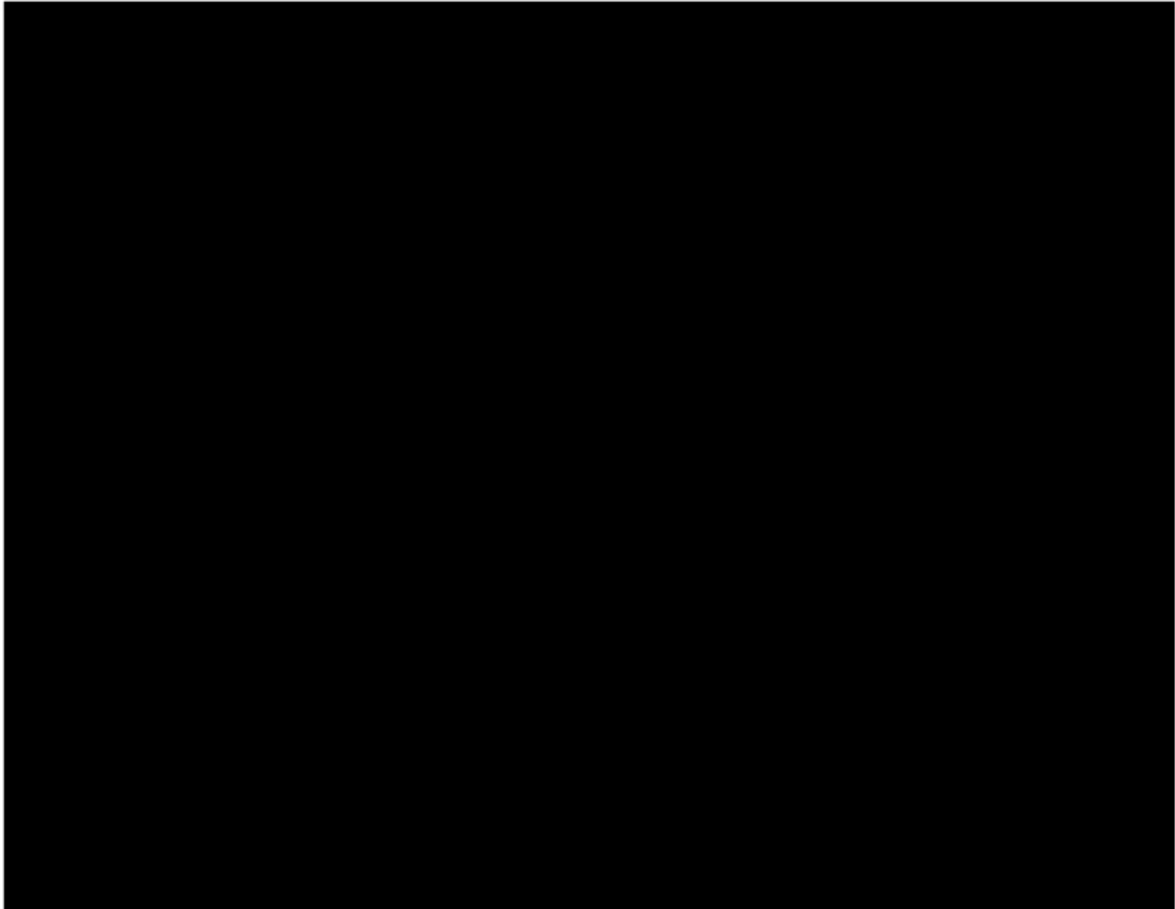
teplota vnitřního vzduchu poklesla o [redacted] °C za [redacted] hodin. Z grafu je patrné, že od [redacted] jsou všechny místnosti této zóny pod limitem teploty vnitřního vzduchu až na pár výjimek. Neudržení ideální teploty vnitřního vzduchu přisuzují pandemické situaci, která v České republice touto dobou byla a nebylo možné muzeum pro návštěvníky provozovat. Nejedná se však o vhodné řešení vzhledem k nevyčíslitelným hodnotám exponátů, které jsou v muzeu uloženy.



Graf 2: Grafické vyjádření četnosti výskytu teplot vnitřního vzduchu v zóně 1

Graf 2 poukazuje na četnost výskytu teplot vnitřního vzduchu. Na první pohled je zřejmé, že teplota vnitřního vzduchu ve všech místnostech zóny 1 většinou nesplňují interval teploty vnitřního vzduchu od [redacted] °C. Tato skutečnost je dána v letních měsících velkými solárními zisky, nedostatečným odvodem teplého vzduchu z místností a v zimních měsících nedostatečným vytápěním místností. V ideálním pásmu teploty

vnitřního vzduchu se hodnoty průměrně pro všechny místnosti drží ve ■■■ % případů měření.



Graf 3: Grafické vyjádření průběhu relativní vlhkosti vzduchu v zóně 1

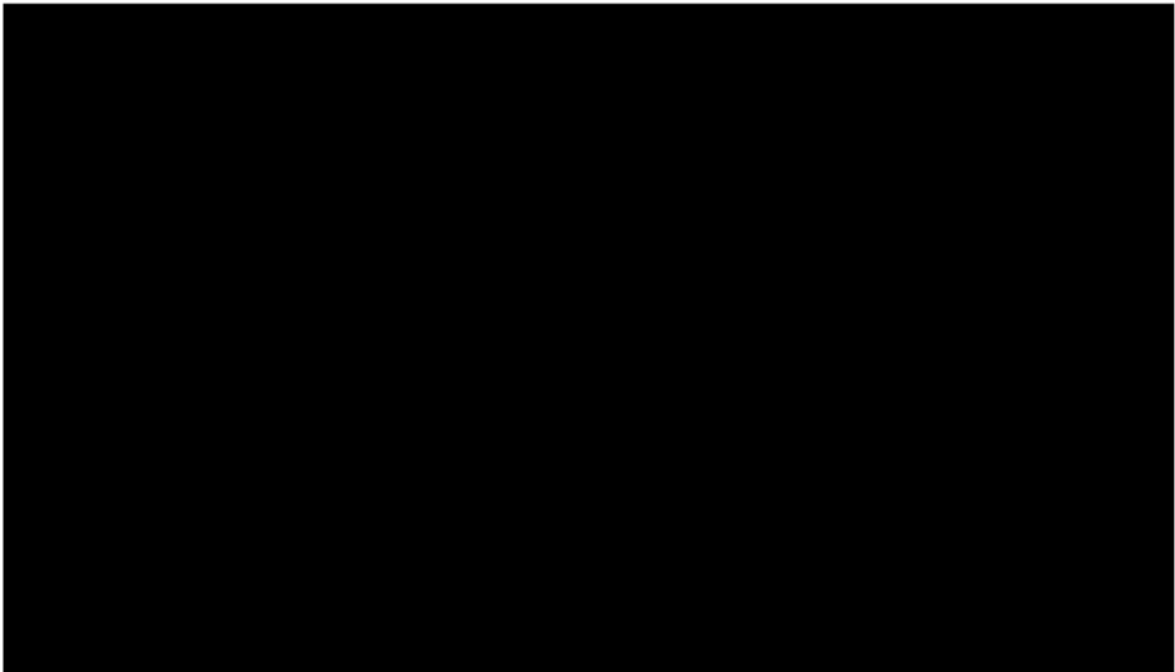
Z grafického vyjádření průběhu relativní vlhkosti vzduchu od ■■■ do ■■■ v zóně 1 lze na první pohled pozorovat fakt, že většina naměřených hodnot je uvnitř daného intervalu relativní vlhkosti vzduchu ■■■ %. Tato skutečnost je však doprovázena prudkými změnami relativní vlhkosti vzduchu.

Místnost ■■■ je ze všech místností nejméně stabilní. Relativní vlhkost vzduchu v této místnosti kolísá od ■■■ % do necelých ■■■ %. Takovéto kolísání relativní vlhkosti vzduchu je absolutně nepřípustné. Ke kolísání relativní vlhkosti vzduchu o ■■■ % během půl hodiny došlo za měřené období ■■■ x. K největšímu výkyvu došlo ■■■. Tento výkyv byl během jedné hodiny o ■■■ %, maximální tolerovaná hodnota je ■■■ % tím pádem došlo skoro k trojnásobnému povolenému výkyvu relativní vlhkosti vzduchu. Takto extrémní kolísání může být například způsobeno chybným zvlhčovačem, který je v místnosti

umístěn. Doporučoval bych proto zvlhčovač seřídít, nebo vyměnit za jiný kus, aby se vyloučila, nebo potvrdila možnost poškozeného zvlhčovače.

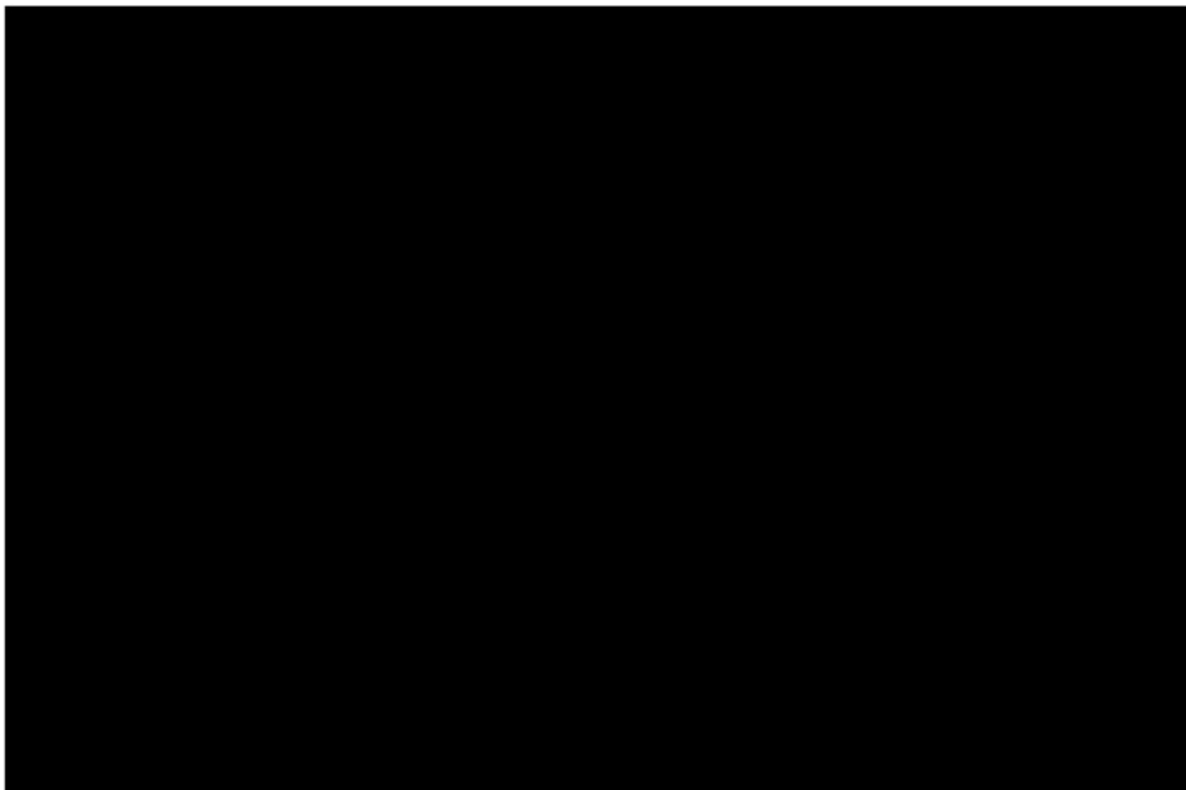
Místnosti [REDACTED] se drží v dovoleném pásmu hodnot relativní vlhkosti vzduchu, většinou u těchto místností nedochází ani k extrémním výkyvům relativní vlhkosti vzduchu.

V místnosti [REDACTED] také dochází k poměrně velkým a častým výkyvům relativní vlhkosti vzduchu. Hodnoty kolísají od [REDACTED] do [REDACTED] %. K výkyvům větším než [REDACTED] % došlo pouze v jednom případě. Kolísání relativní vlhkosti vzduchu je častější než u místností [REDACTED] a [REDACTED], ale toto kolísání by se dalo ještě považovat za přijatelné.



Graf 4: Grafické vyjádření četnosti výskytu relativní vlhkosti vzduchu v zóně 1

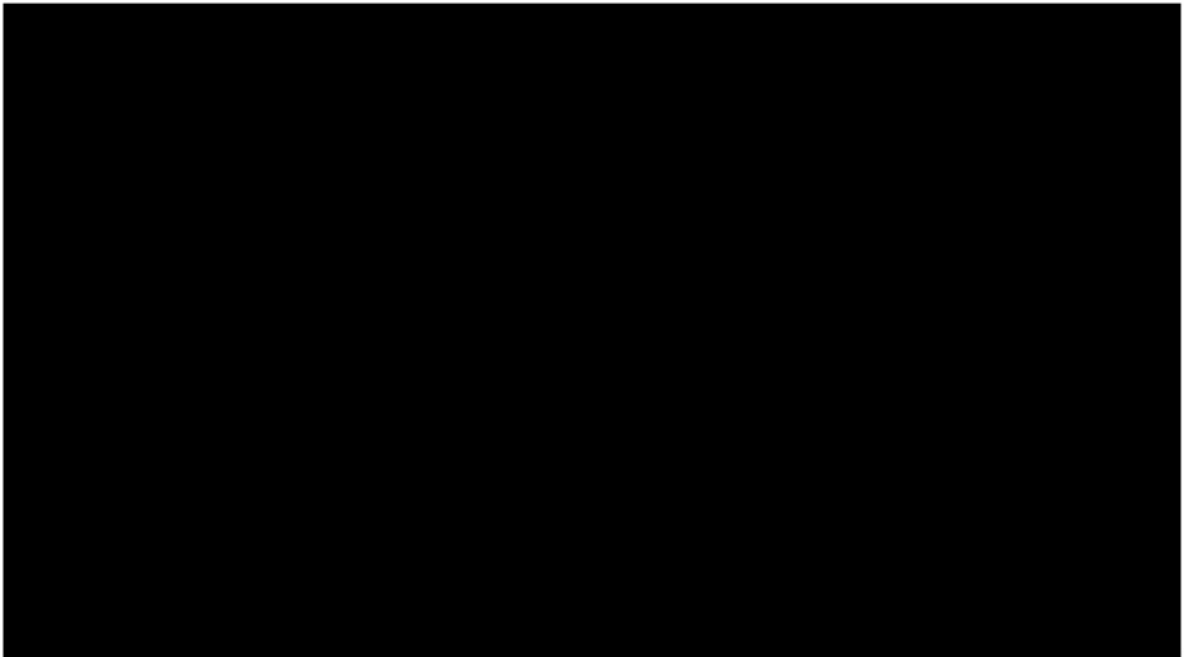
Graf 4 poukazuje na četnost výskytu relativní vlhkosti vzduchu. Většina hodnot relativní vlhkosti vzduchu splňuje podmínku relativní vlhkosti vzduchu [REDACTED]%. Z tohoto grafu nejsou patrné velké výkyvy, které jsou popsány v předchozích odstavcích pod grafem 3.



Graf 5: Grafické vyjádření měrné vlhkosti vzduchu v zóně 1

V žádné dostupné literatuře se nevěnují hodnocení vnitřního prostředí na základě měrné vlhkosti vzduchu. Tento parametr popisuje vztah mezi teplotou vnitřního vzduchu a relativní vlhkostí vzduchu. Na základě doporučené teploty vnitřního vzduchu [redacted] °C a relativní vlhkosti vzduchu [redacted] % byly dopočítány následující minimální a maximální hodnoty měrné vlhkosti vzduchu [redacted] g/m<sup>3</sup>.

Z grafického vyjádření měrné vlhkosti je patrné, že tvar křivek měrné vlhkosti pro různé místnosti je podobný tvaru křivek teploty vnitřního vzduchu pro tytéž místnosti. Kdy v letních měsících začne růst teplota uvnitř místností, začne shodně docházet k překročení horního limitu měrné vlhkosti vzduchu [redacted] %. Hodnoty měrná vlhkosti byly nad horním limitem od druhé poloviny června [redacted] více méně až do konce září roku [redacted]. Následně se hodnoty měrné vlhkosti vzduchu držely v dovoleném pásmu měrné vlhkosti vzduchu, kdy však koncem roku došlo k oscilaci kolem spodního limitu měrné vlhkosti vzduchu. Z grafu je také patrné, jak je měrná vlhkost vzduchu závislá na hodnotě relativní vlhkosti vzduchu, můžeme si všimnout, že dochází k poměrně velkým výkyvům měrné vlhkosti vzduchu a místností [redacted] a [redacted].



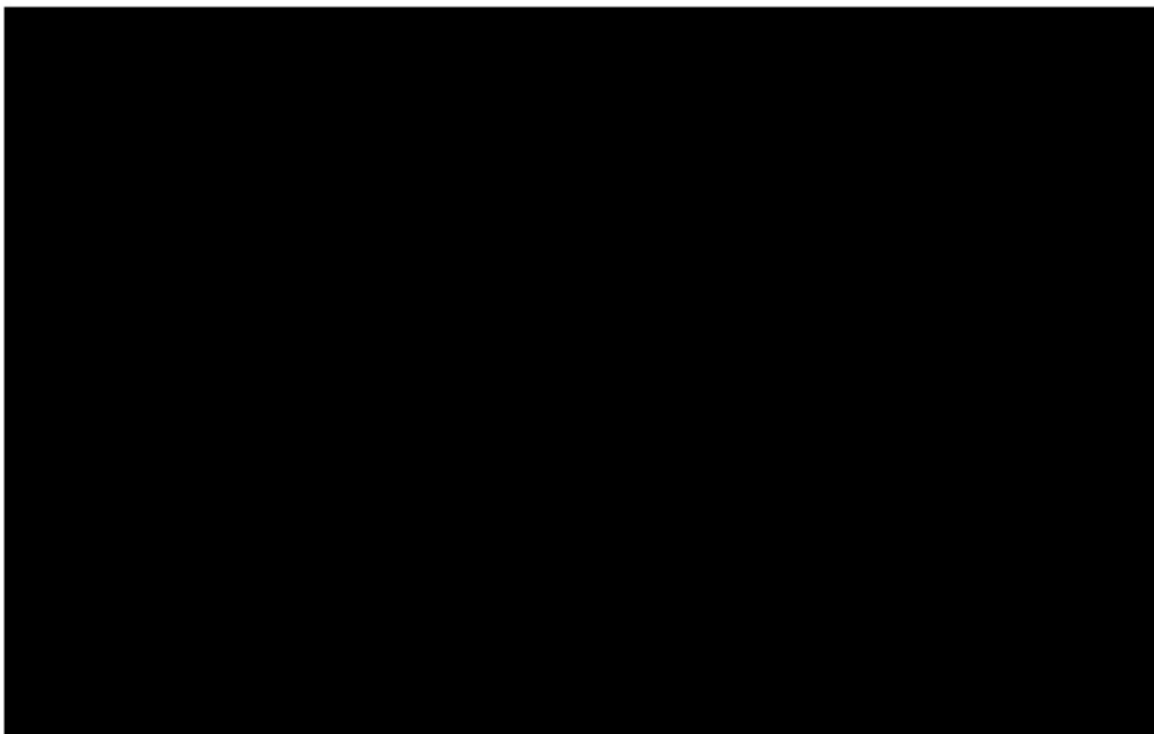
Graf 6: Grafické vyjádření četnosti výskytu měrné vlhkosti vzduchu v zóně 1

Na grafu 7 můžeme pozorovat četnost výskytu měrné vlhkosti vzduchu v zóně 1. Hodnoty měrné vlhkosti vzduchu jsou v povoleném intervalu v ■ % všech případech. Tento fakt je dán tím, že měrná vlhkost vzduchu je závislá na relativní vlhkosti vzduchu a vnitřní teplotě vzduchu. Tyto dva parametry, z kterých měrná vlhkost vzduchu vychází, nejsou vždy v ideálním intervalu, tím pádem dochází i k překročení hranic intervalu měrné vlhkosti vzduchu. Za předpokladu, že by byla udržena teplota vnitřního vzduchu a relativní vlhkost vzduchu, tak by byla splněna i následující podmínka měrné vlhkosti vzduchu ■ g/m<sup>3</sup>.

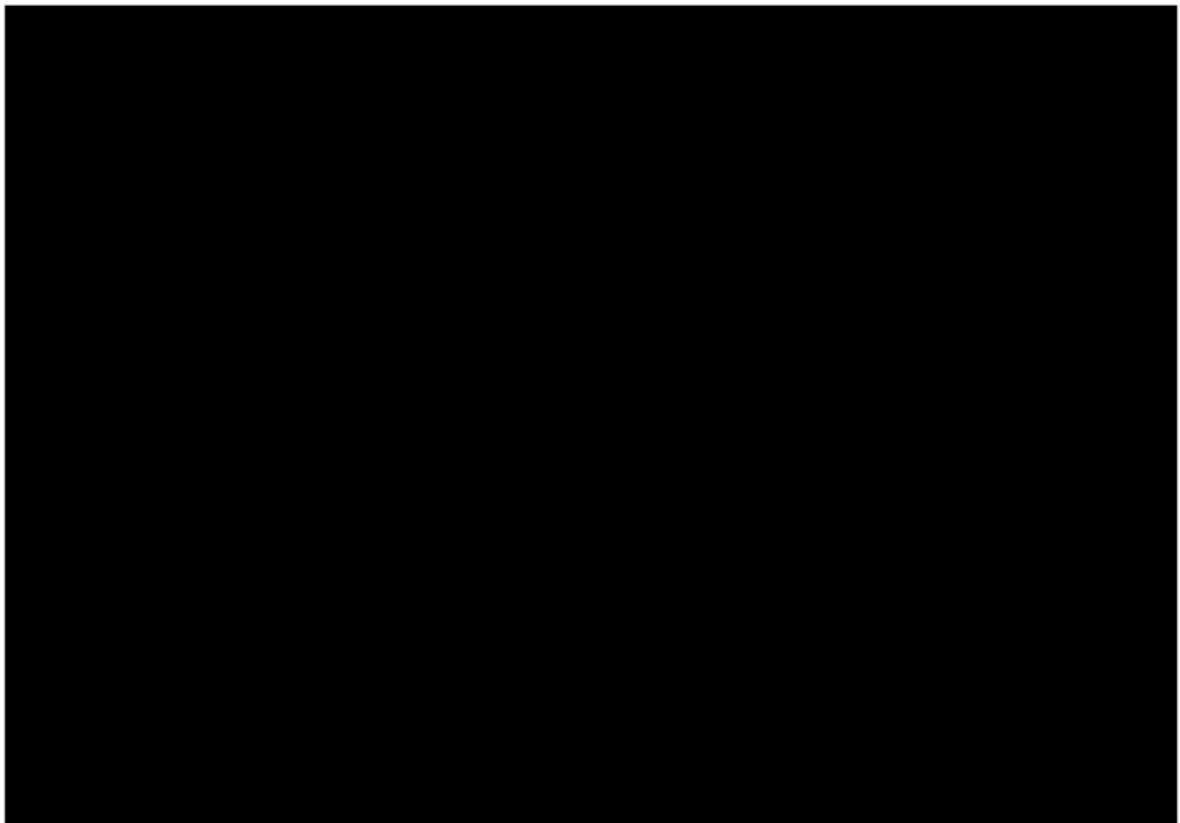
### 7.3 Zóna 2 ■

Tato zóna zahrnuje místnosti ■. Defensory jsou umístěny v místnostech ■. Začátek první části expozice začíná v místnosti ■ a dále pokračuje do dalších částí expozice. Klimatické podmínky v těchto místnostech budou ovlivněny hlavním vstupem z dvorany, který zůstává otevřen pouze na dobu nezbytně nutnou pro vstup návštěvníku do expozice. Většina místností této zóny jsou orientovány na sever a všechna okna jsou opatřena žaluziemi. Smýkácí nástroje mají ve většině případech dřevěné tělo, které je doplněno ocelovými strunami. Velký problém u těchto hudebních nástrojů spočívá ve správném naladění. Na kovové materiály má velký vliv teplota, protože s rostoucí teplotou se má kov tendenci rozpínat. Zatímco na dřevěné

materiály má větší vliv vlhkost vzduchu, protože dřevo má tendenci vlhkost do sebe absorbovat. Nízká vlhkost ale vede k praskání dřeva. Proto je potřeba udržovat relativní vlhkost vzduchu na požadovaných hodnotách [REDACTED] % a teplotu vnitřního vzduchu udržovat v rozmezí [REDACTED] °C.



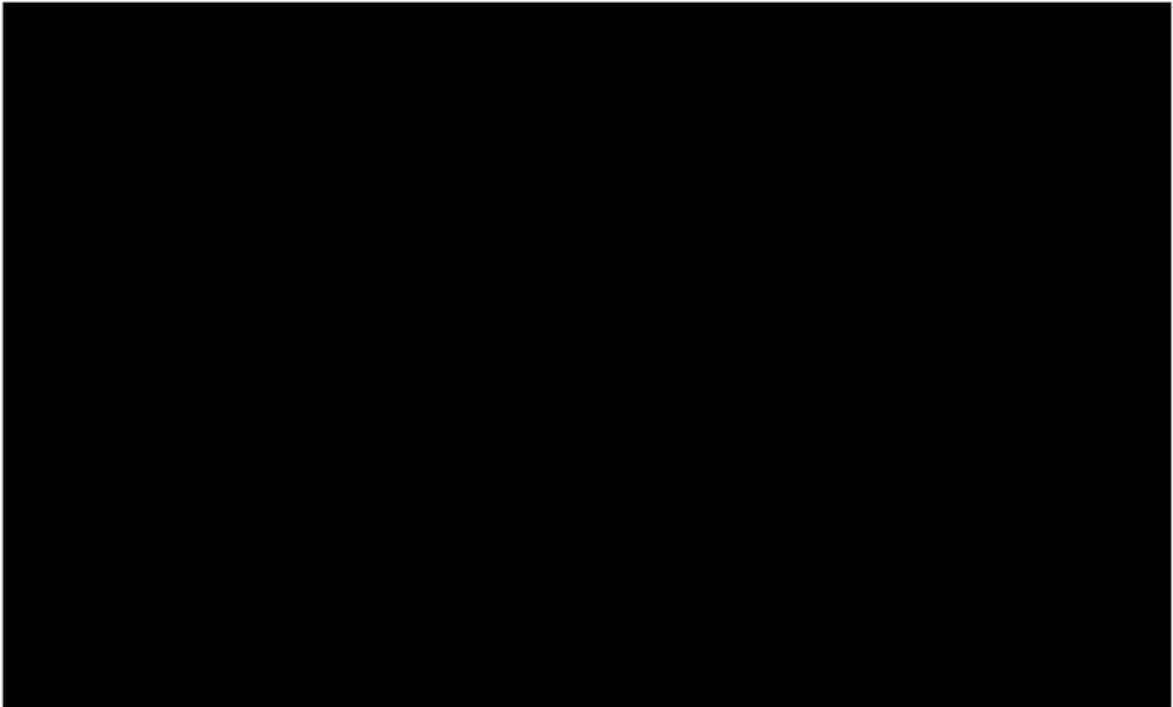
Obrázek 28: Zóna 2 [REDACTED]



Graf 7: Grafické vyjádření průběhu teploty vnitřního vzduchu v zóně 2

Dle grafického vyjádření průběhu teploty vnitřního vzduchu od [redacted] v zóně 2 lze poukázat na překročení teploty vnitřního vzduchu u všech místností od druhé poloviny května roku [redacted] do začátku listopadu roku [redacted]. Teplota vnitřního vzduchu byla nad horním limitem bezmála půl roku. Tento fakt je převážně způsoben solárními zisky a nedostatečným odvodem teplého vzduchu z exponovaných místností. Jako další zdroje tepla v tomto období můžeme uvažovat i návštěvníky, osoby podílející se na chodu muzea, technologie jako jsou zvlhčovače, osvětlení a další zařízení. Podíl těchto zdrojů na finální teplotě bude však minimální oproti solárním ziskům. Dne [redacted] došlo k výraznému poklesu teploty vnitřního vzduchu. Tento pokles teploty vnitřního vzduchu mohl být způsoben výpadkem otopného systému, nebo plánovanou odstávkou plynových kotlů. Jedná se o nejprudší pokles za celou dobu pozorování vnitřních podmínek v Českém muzeu hudby. Tento pokles byl nejdramatičtější u místnosti [redacted] kdy během dvou hodin teplota vnitřního vzduchu poklesla z [redacted] °C na [redacted] °C. Místnost [redacted] se [redacted] dostane pod horní limit teploty vnitřního vzduchu a během dvou týdnů teplota poklesne pod spodní limit teploty vnitřního vzduchu. Teplota vnitřního vzduchu v této místnosti se pod spodním limitem drží skoro až do konce celého měření. Pokles teploty zbylých místností je s odstupem několika dní totožný jako u místnosti [redacted]. Teplota vnitřního vzduchu se u

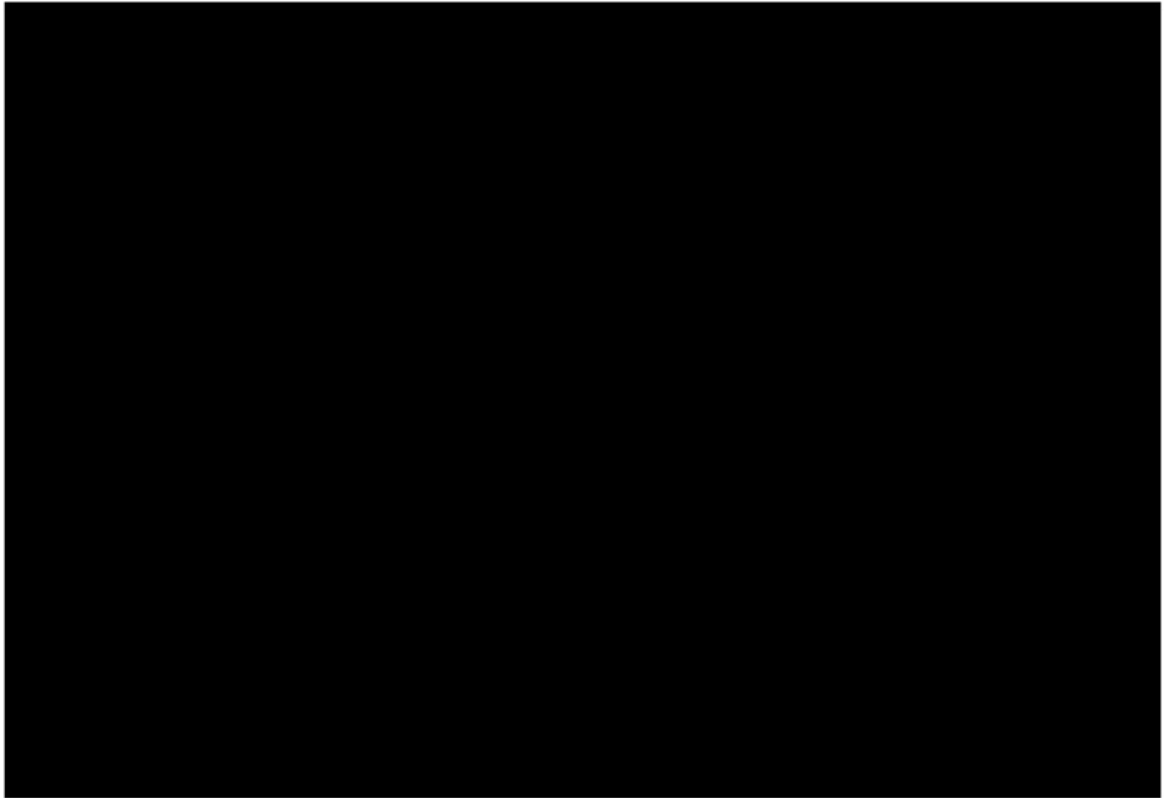
místností [REDACTED] snaží oscilovat kolem spodního limitu teploty vnitřního vzduchu. Mezi jednu z hlavních příčin, proč teplota v těchto místnostech nedosahovala alespoň minimální požadované teploty vnitřního vzduchu, patří pandemická situace, která v tuto dobu v České republice panovala a nebylo možné České muzeum hudby návštěvníkům otevřít.



Graf 8: Grafické vyjádření četnosti výskytu teplot vnitřního vzduchu v zóně 2

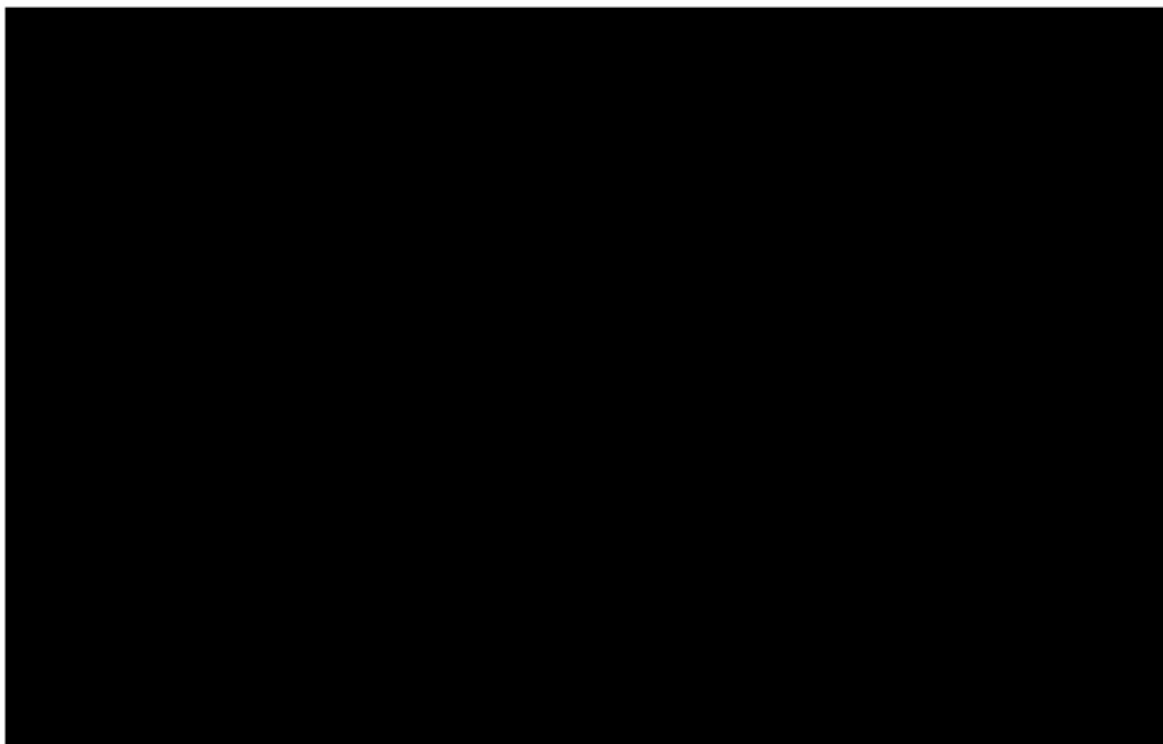
Na první pohled z grafu 8 je patrné, že se nedaří držet teplotu vnitřního vzduchu v nastaveném pásmu [REDACTED] °C. V takovémto případě, kdy není udržena stabilní teplota vnitřního vzduchu lze jen těžko udržovat relativní vlhkost vzduchu.





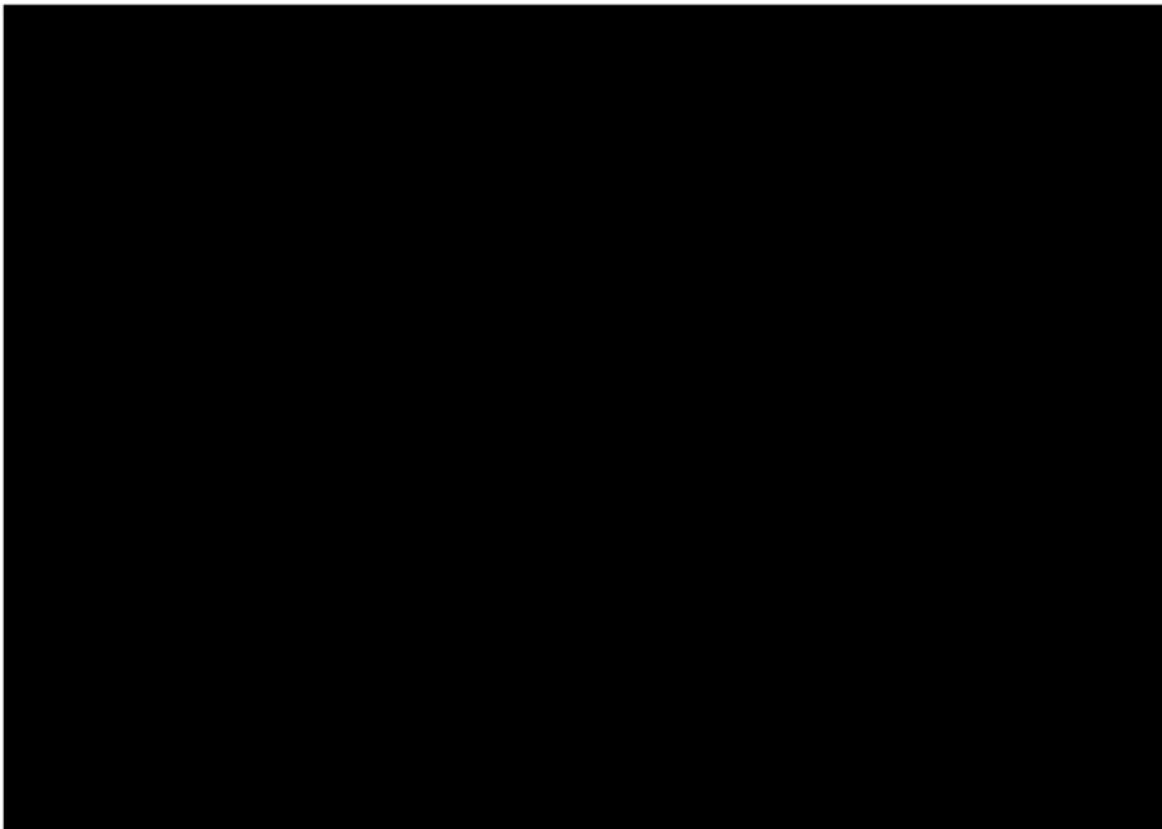
Graf 9: Grafické vyjádření průběhu relativní vlhkosti vzduchu v zóně 2

Z grafu 9 vidíme, že dochází k prudkým výkyvům relativní vlhkosti vzduchu u všech místností. K těmto výkyvům by nemělo v žádném případě docházet, protože dochází k nevratnému poškození všech exponátů, které jsou v této zóně umístěny. Tyto výkyvy mohou být způsobeny nedostatečným výkonem zvlhčovačů a správné regulaci jejich výkonu. Další fakt, který ovlivňuje tyto prudké výkyvy relativní vlhkosti vzduchu jsou výkyvy a neudržení konstantní teploty vnitřního vzduchu mezi [REDACTED] °C. U této zóny nelze vybrat jedinou místnost, která by alespoň částečně splňovala nastavené podmínky. Místnost, která se nejčastěji pohybuje v ideálním intervalu relativní měrné vlhkosti vzduchu, je místnost [REDACTED], ale splňuje podmínky pouze v necelých [REDACTED] %.



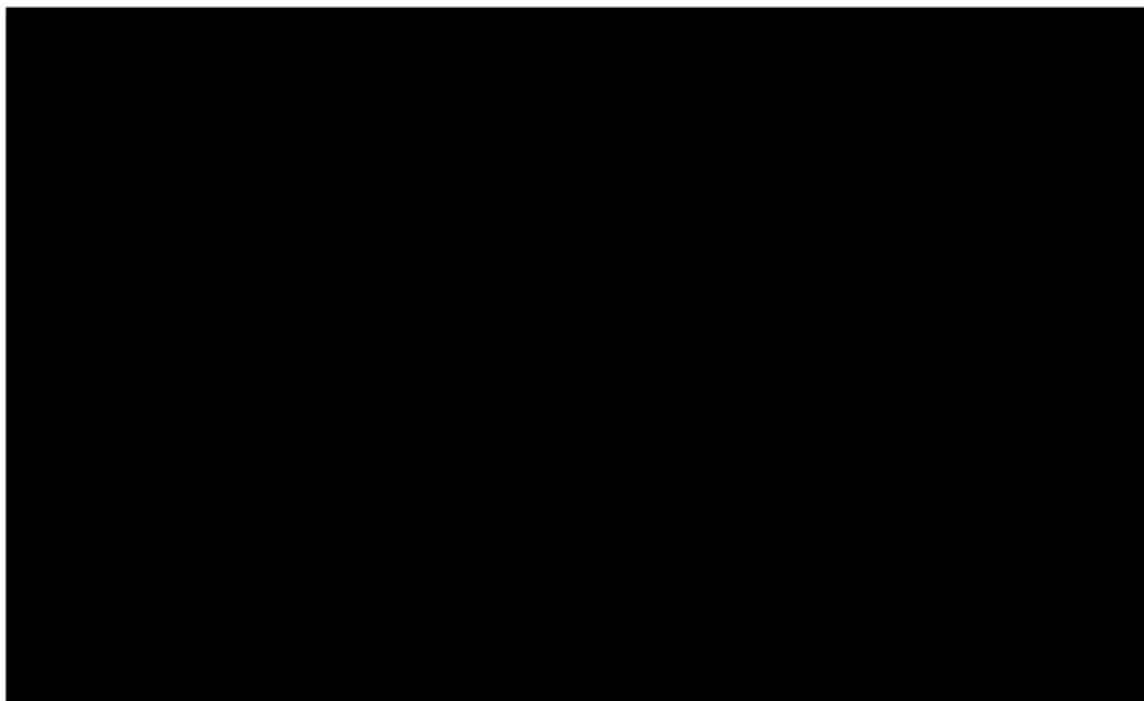
Graf 10: Grafické vyjádření četnosti výskytu relativní vlhkosti vzduchu v zóně 2

Z grafického vyjádření četnosti výskytu relativní vlhkosti vzduchu je patrné, že s udržením relativní vlhkosti vzduchu v daných místnostech jsou značné problémy, protože podmínky pro relativní vlhkost vzduchu jsou splněny pouze v necelých ■ % případech. Dále je z grafu patrné, že četnost překročení spodní hranice relativní vlhkosti vzduchu je mnohonásobně častější než překročení horní hranice. K překročení spodní hranice relativní vlhkosti vzduchu u všech místností dochází v průměru v ■ %. Tato skutečnost je dána nedostatečným zvlhčováním vnitřního vzduchu.



Graf 11: Grafické vyjádření měrné vlhkosti vzduchu v zóně 2

V žádné dostupné literatuře nejsou popsány ideální hodnoty měrné vlhkosti vzduchu pro různé materiály a sbírkové exponáty. Měrná vlhkost je vypočtena z teploty vnitřního vzduchu a relativní vlhkosti vzduchu. Na základě těchto dvou parametrů byla doložena minimální a maximální hodnota měrné vlhkosti vzduchu. Interval, ve kterém by se hodnoty měly pohybovat, je [redacted]  $\text{g/m}^3$ . Z grafického vyjádření pro měrnou vlhkost vzduchu pro zónu 2 je na první pohled patrné, že k udržení intervalu nedochází ani v jedné polovině všech hodnot. Tvar všech křivek ve většině případů kopíruje tvar křivek pro stejné místnosti a jejich teploty vnitřního vzduchu. Stejně tak je z grafu patrné, že měrná vlhkost vzduchu je závislá i na relativní vlhkosti vzduchu. Měrná vlhkost vzduchu pro tuto zónu není splněna z největší pravděpodobnosti kvůli nesplnění ideálních podmínek pro teplotu vnitřního vzduchu a relativní vlhkost vzduchu.



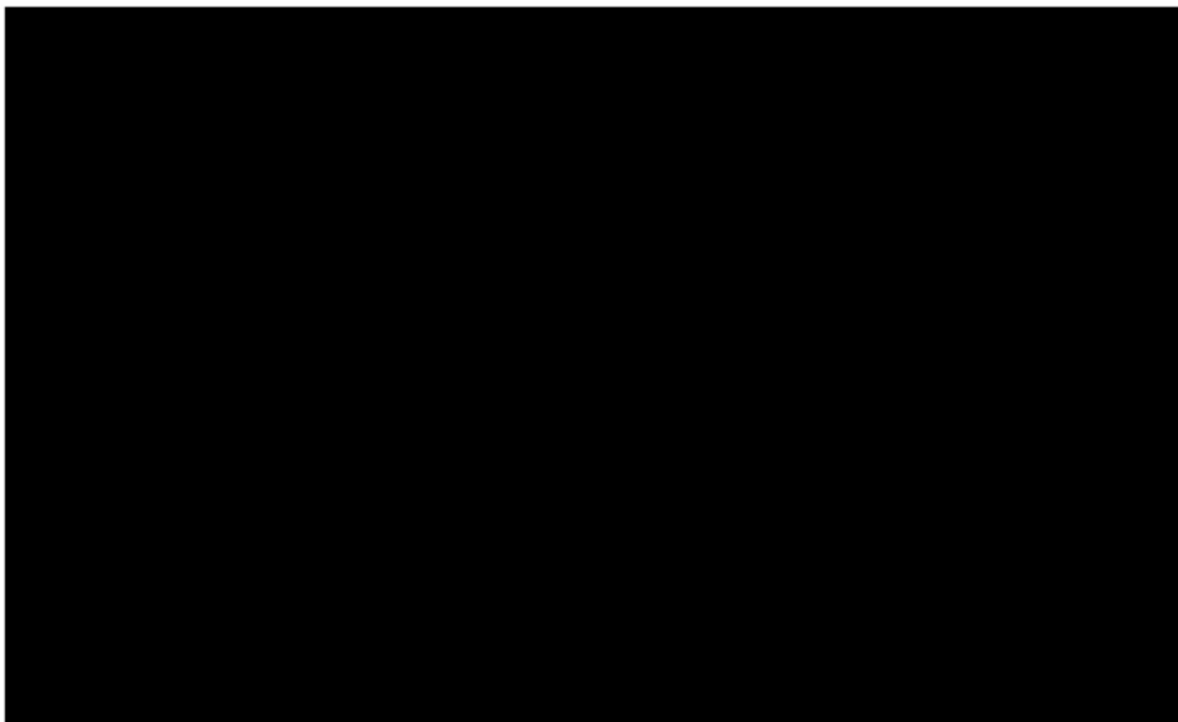
Graf 12: Grafické vyjádření četnosti výskytu měrné vlhkosti vzduchu v zóně 2

Z grafu 12 můžeme pozorovat četnost výskytu měrné vlhkosti vzduchu u zóny 2. Měrná vlhkost vzduchu se pohybuje v určeném intervalu [redacted] g/m<sup>3</sup> pouze u necelých [redacted] % případů. Jedná se o velice neuspokojivé hodnoty. Špatný výsledek je přisouzen neudržení vhodných podmínek pro teplotu vnitřního vzduchu a relativní vlhkost vzduchu. Ideální měrnou vlhkost vzduchu jsme schopni udržovat v daném intervalu pouze za předpokladu, že budou udrženy správné hodnoty pro teplotu vnitřního vzduchu a relativní vlhkosti vzduchu, také je zapotřebí, aby nedocházelo k prudkým a náhlým změnám.

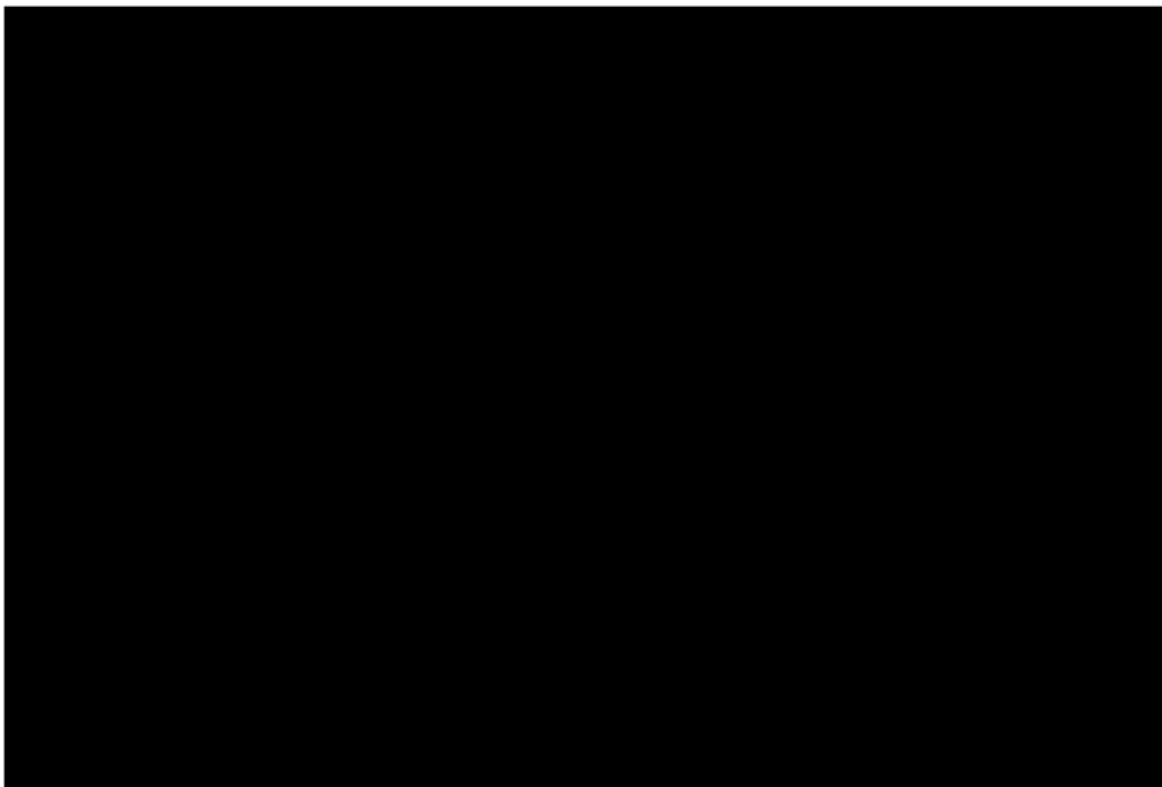
#### 7.4 Zóna 3 [redacted]

Tato zóna zahrnuje místnosti [redacted]. Defensory jsou umístěny v místnostech [redacted]. Konec druhé části expozice je v místnosti [redacted]. východové dveře ústí do dvorany a jsou otevřené pouze na nezbytně nutnou dobu pro východ návštěvníků. Většina místností má orientaci na západ. V blízkém okolí se nenachází stínící objekt, tím pádem dochází k největším solárním ziskům ze tří hodnocených zón. Všechna okna jsou opatřena žaluziemi. Úderné nástroje například jako klavíry a piana jsou tvořeny z několika částí – skříň klavíru, litinový rám, ozvučná deska, kobylka, klaviatura, struny a podobné. Všechny tyto komponenty jsou vyrobeny

z různých materiálů, ve většině případech se jedná o kovové a dřevěné materiály. Teplota vnitřního vzduchu by se měla držet mezi 18 °C a 20 °C. Relativní vlhkost vzduchu by pak měla být s ohledem na použité materiály udržována na hodnotách 40 – 55 %.



Obrázek 29: Zóna 3



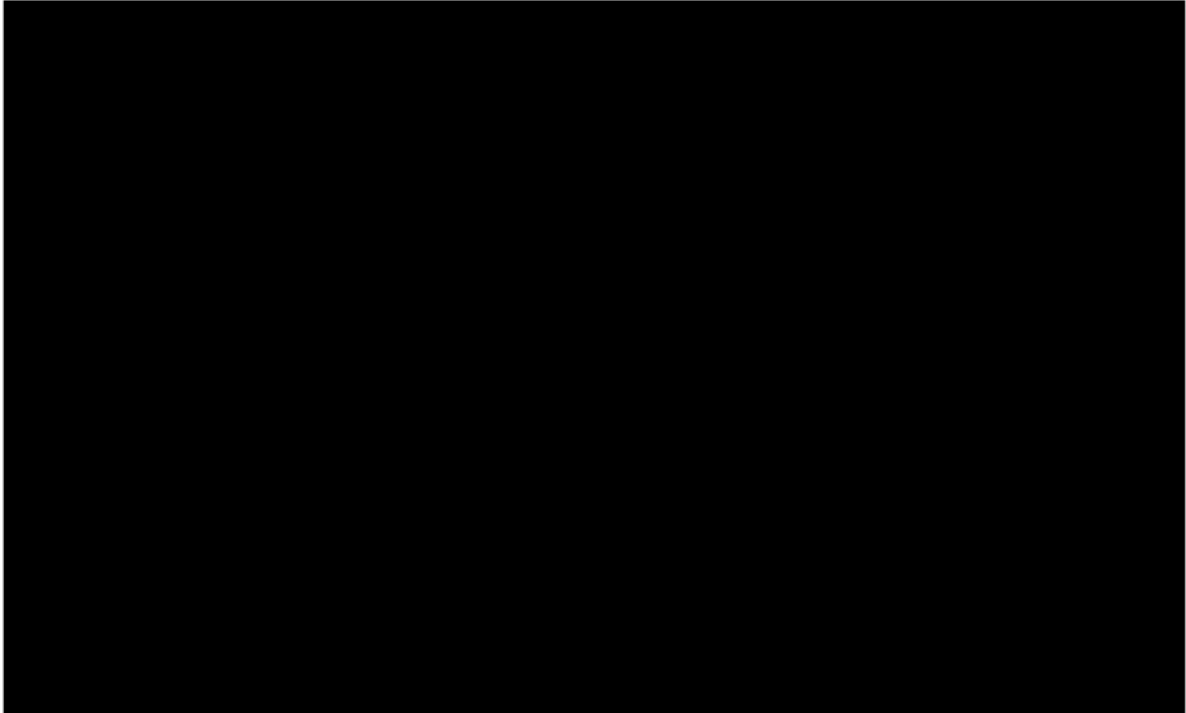
Graf 13: Grafické vyjádření průběhu teploty vnitřního vzduchu v zóně 3

Z grafického vyjádření průběhu teploty vnitřního vzduchu za období [redacted] do [redacted] je patrné, že teplota vnitřního vzduchu měla v průběhu roku velkou tendenci se měnit. Největší vliv na tyto výkyvy měla teplota venkovního vzduchu. Ke správné teplotě vnitřního vzduchu docházelo pouze v přechodovém období mezi jarem/létem a podzimem/zimou.

Během letních měsíců došlo k velkému a dlouhému překročení horní hranice teploty vnitřního vzduchu. Toto překročení trvalo u nejhorsí místnosti, co se týče teploty vnitřního vzduchu [redacted]. V této místnosti je uložen jeden z nejcennějších exponátů kladívkový klavír, na který hrál Wolfgang Amadeus Mozart. V této zóně také došlo k nevyšší naměřené teplotě vnitřního vzduchu a to k [redacted] °C, jedná se o překročení maximální dovolené teploty o [redacted] °C.

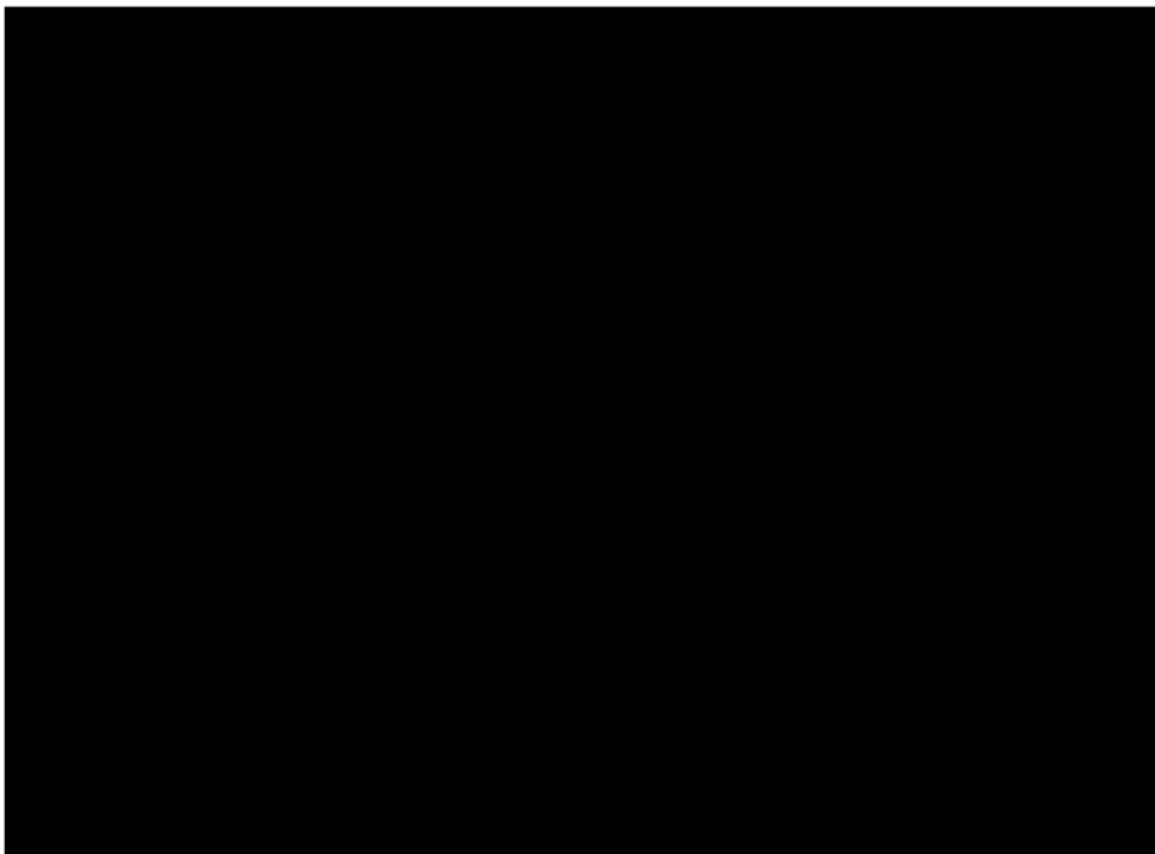
V chladných podzimních a zimních měsících docházelo k dlouhodobému překročení spodní hranice teploty vnitřního vzduchu. V místnosti [redacted] poklesla teplota pod doporučených [redacted] °C dne [redacted] a pod touto hranicí se držela až do konce měření. Nedostatečná teplota vnitřního vzduchu v místnosti byla způsobena nedostatečným pokrytím tepelných ztrát. Velké tepelné ztráty, této místnosti je možné přisuzovat díky

dveřím do dvorany. Většina místností této zóny byla během chladných měsíců pod doporučenou minimální hodnotou vnitřního vzduchu [REDACTED] °C. Nedostatečná teplota je způsobena jako u předešlých zón nedostatečným pokrytím tepelných ztrát místností.



Graf 14: Grafické vyjádření četnosti výskytu teplot vnitřního vzduchu v zóně 3

Již na první pohled z grafického vyjádření četnosti výskytu teploty vnitřního vzduchu je patrné, že k výskytu doporučených teplot vnitřního vzduchu [REDACTED] °C v mnoha případech nedošlo. Teplota vnitřního vzduchu se ve správném intervalu držela v průměru pro všechny místnosti pouze v [REDACTED]%. Jedná se jednoznačně o nejhorší dosažené hodnoty během celého měření.

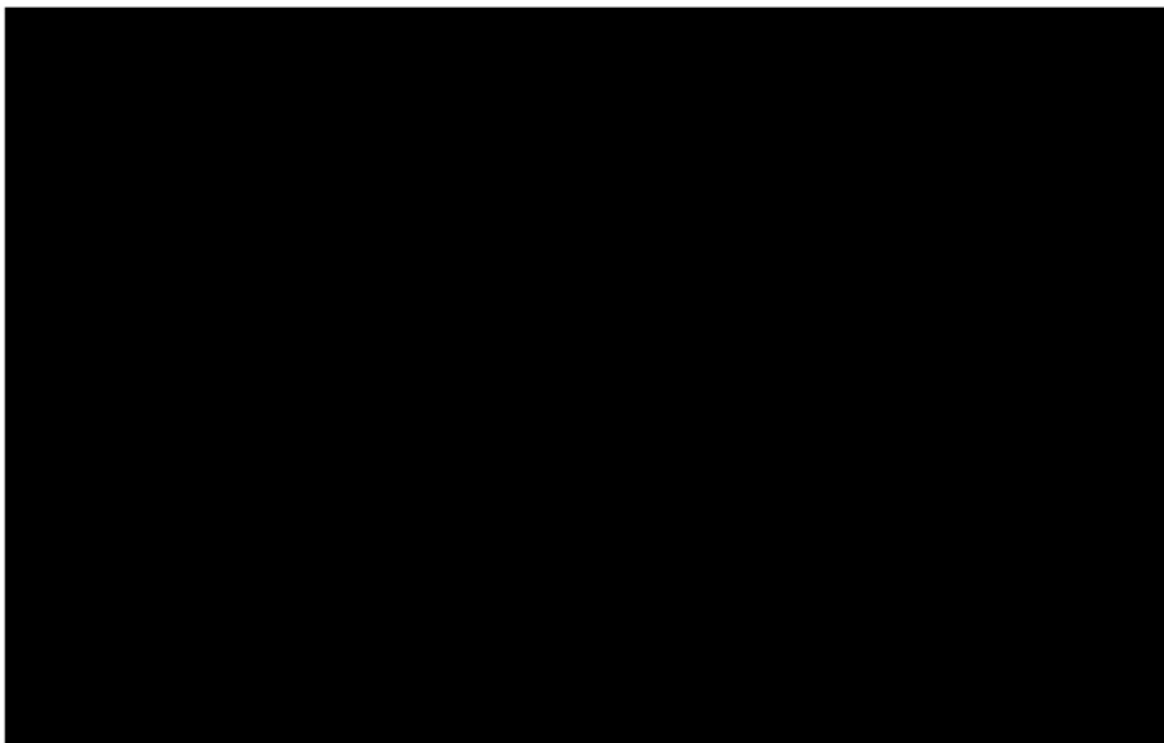


Graf 15: Grafické vyjádření průběhu relativní vlhkosti vzduchu v zóně 3

Z grafického vyjádření průběhu relativní vlhkosti vzduchu v zóně 3 od [redacted] do [redacted] je vidět, že se poměrně dobře daří udržet hodnoty pod maximálním dovoleným limitem relativní vlhkosti vzduchu [redacted] %. Udržení spodního limitu relativní vlhkosti vzduchu je však komplikovanější, ale nejedná se o velice časté překročení. Největší komplikace všech místností je v prudkých a častých změnách relativní vlhkosti vzduchu. To mohlo být způsobeno častým kolísáním teploty vnitřního vzduchu.

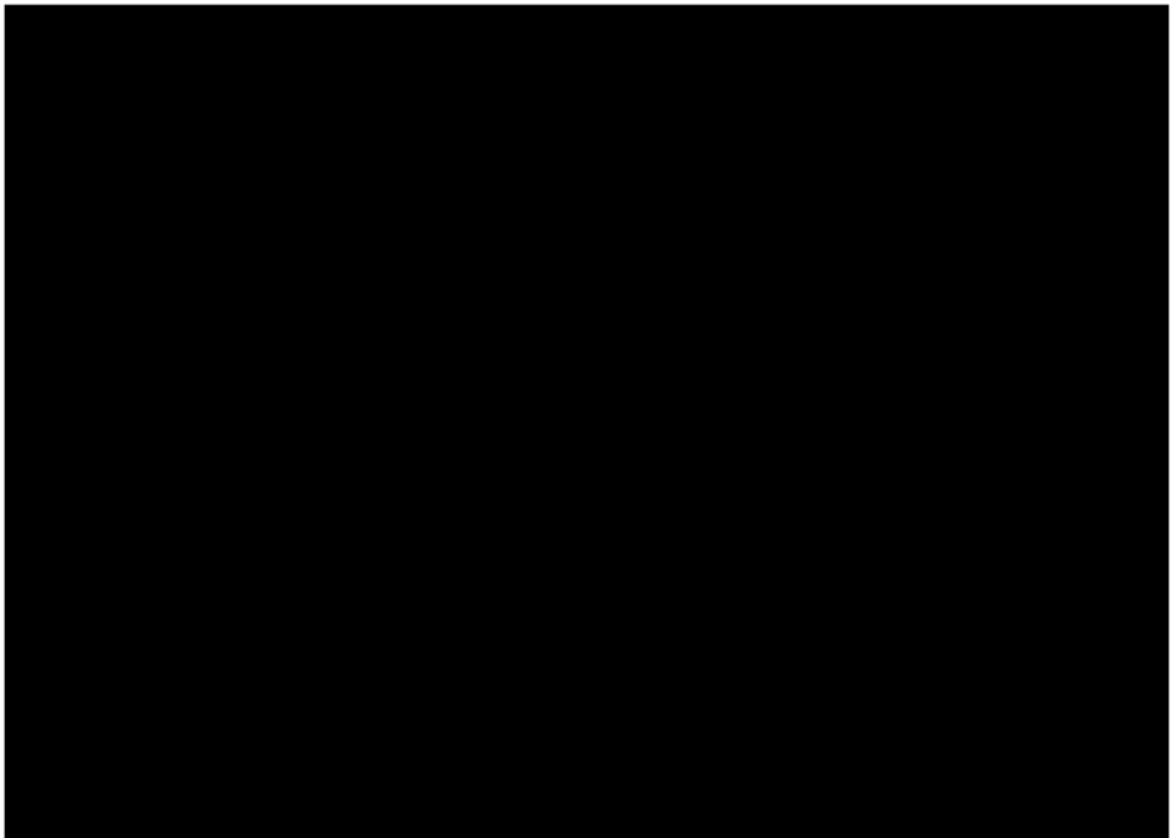
Místnost [redacted] má z této zóny největší výkyvy relativní vlhkosti vzduchu. K výkyvům větším než [redacted] % během jedné hodiny došlo v několika případech. Jedná se o extrémní a nepřípustné kolísání relativní vlhkosti v takovýchto prostorách.





Graf 16: Grafické vyjádření četnosti výskytu relativní vlhkosti vzduchu v zóně 3

Z grafu 16 můžeme určit, že v této zóně se poměrně dobře daří držet relativní vlhkost vzduchu ve stanoveném pásmu ■■■ až ■■■%. Relativní vlhkost vzduchu se v tomto pásmu drží v průměru v ■■■%. Jedná se o velice slušný výsledek.



Graf 17: Grafické vyjádření měrné vlhkosti vzduchu v zóně 3

Hodnota měrné vlhkosti vzduchu pro tuto zónu byla stanovena na [REDACTED] g/m<sup>3</sup>. Tento interval vychází z výpočtu pro měrnou vlhkost vzduchu z relativní vlhkosti vzduchu a teploty vnitřního vzduchu. Minimální hodnota [REDACTED] byla stanovena pro následující hodnoty: relativní vlhkost vzduchu [REDACTED]% a teplota vnitřního vzduchu [REDACTED]°C. Maximální hodnota byla stanovena pro hodnoty: relativní vlhkost vzduchu [REDACTED]% a teplota vnitřního vzduchu [REDACTED] °C. Nejedná se o dobré výsledky a při přihlédnutí k faktu, že se jedná o hudební nástroje a další relikvie s nevyčíslitelnou hodnotou, jsou tyto hodnoty nedostatečné. K největšímu překročení měrné vlhkosti vzduchu u této zóny docházelo během letních teplých měsíců, kdy i teplota vnitřního vzduchu byla vysoko nad horním limitem teploty vnitřního vzduchu. V chladných měsících hodnota měrné vlhkosti vzduchu spíše oscilovala kolem minimální hodnoty. Problém s překročením horního i dolního limitu je nejspíše způsoben nedodržením minimální a maximální teploty vnitřního vzduchu a častou změnou relativní vlhkosti vzduchu.



Graf 18: Grafické vyjádření četnosti výskytu měrné vlhkosti vzduchu v zóně 3

Z grafu 18 je patrné, že k dodržení intervalu měrné vlhkosti vzduchu v mnoha případech nedochází. Jedná se pouze o polovinu všech případů hodnot měrné vlhkosti vzduchu pro zónu 3. Ve [redacted] % případů došlo k překročení maximální hodnoty měrné vlhkosti vzduchu. K překročení měrné vlhkosti vzduchu s největší pravděpodobností dochází z důvodu neudržení maximální hodnoty vnitřní teploty vzduchu během letních měsíců. Jako další negativní faktor, který ovlivňuje špatné výsledky měrné vlhkosti vzduchu, je relativní vlhkost vzduchu. Při udržení těchto dvou parametrů dojde i k ustálení měrné vlhkosti vzduchu v daném intervalu [redacted] g/m<sup>3</sup>.

## 8 Závěr

Z přiložených grafů sledujících teplotu vnitřního vzduchu a četnost výskytu teplot vnitřního vzduchu je evidentní, že dochází v letních měsících k přehřívání místností z důvodu velkých solárních zisků. Proto by byla potřeba omezit solární zisky a zařídit odvod přehřátého vzduchu v letních měsících, nebo zvýšenou teplotu vzduchu řešit jedním z několika typů chlazení. Jedna z možných variant chlazení objektu by bylo noční chlazení. Toto chlazení spočívá v otvírání oken v nočních hodinách, kdy teplota vzduchu poklesne pod určitou hodnotu. Chlad z vnitřního vzduchu se naakumuluje do obvodových stěn, které jsou ze smíšeného zdiva (kámen a cihla) tyto materiály mají poměrně slušnou akumulační schopnost. V ranních hodinách, kdy teplota vzduchu opět překročí určitou hodnotu, je potřeba okna opět zavřít, aby do objektu nevnikal teplý, ohřátý vzduch. Tento princip větrání v tak rozsáhlém objektu jako je České národní muzeum hudby potřeba automatizovat. Tento systém by měl obsahovat řídicí jednotku, která by sledovala venkovní a vnitřní teplotu vzduchu. Na základě těchto parametrů by docházelo k otvírání a zavírání oken automaticky. Je však potřeba vzít v úvahu charakteristiku objektu a exponátů, které jsou zde uloženy a mají nevyčíslitelnou hodnotu. Bylo by zapotřebí určit okna, která nejsou snadno dostupná pro veřejnost, aby nedošlo k případnému vandalismu. Další typ chlazení by byla možnost rozvádět upravený vzduch po objektu pomocí vzduchotechnické jednotky. Tato varianta by byla vhodnější i z pohledu udržení relativní vlhkosti vzduchu v doporučeném intervalu.

Druhým sledovaným parametrem byla relativní vlhkost vzduchu. Z přiložených grafů jsou patrné časté a velké změny relativní vlhkosti vzduchu. K těmto změnám nejspíše dochází z několika důvodů. Jako je například nedostatečný výkon zvlhčovačů, které jsou v místnostech instalovány. Další pochybení by mohlo být na straně regulace, bylo by zapotřebí všechny zvlhčovače a čidla kalibrovat a správně nastavit. Další důvod spočívá v neudržení vhodné teploty vnitřního vzduchu, velice obtížně se reguluje relativní vlhkost vzduchu za předpokladu, že teplota není dlouhodobě stabilní. České muzeum hudby již podstoupilo určité kroky pro zlepšení a nahradilo původní zvlhčovače PH15 za výkonnější zvlhčovače PH28.

Posledním hodnoceným parametrem byla měrná vlhkost vzduchu, která se vypočítala z relativní vlhkosti vzduchu a teploty vnitřního vzduchu. Z přiložených grafů bylo možné pozorovat, jak se tvary křivek měrné vlhkosti vzduchu a teploty vnitřního vzduchu podobaly. Hodnoty měrné vlhkosti vzduchu ve většině případů byly mimo vyhrazené limity. Bylo by potřeba udržet konstantní relativní vlhkost vzduchu, která by prudce nestoupala ani neklesala a držela se v ideálním pásmu. Stejně tak je velice důležité držet teplotu vnitřního vzduchu v daném intervalu.

## 9 Literatura

[1] P., Štefcová. PREVENTIVNÍ OCHRANA SBÍRKOVÝCH PŘEDMĚTŮ. Praha: Národní muzeum, 2000.

[2] METODIKA UCHOVÁVÁNÍ PŘEDMĚTŮ KULTURNÍ POVAHY. Brno: Technické muzeum v Brně, 2017. ISBN 978-80-87896-40-2.

[3] MUSEUMS, LIBRARIES, AND ARCHIVES.

[4] The Care of Historic Musical Instruments Edited by Robert L. Barclay. Edinburgh, 1997. ISBN 37654465.

[5] DEFENSOR PH 15 / 28 mobilní zvlhčovače a čističky vzduchu [online]. [cit. 2021-6-16]. Dostupné z: <https://www.flair.cz/mobilni-zvlhcovace-defensor-ph?gclid=CjwKCAiAlNf-BRB EiwA2osbxSH0InbGSDpsBZ8Td7pAcSdPbiscdTaG2JzyqB6HVhZ1ezOSmLz7BoCGzcQAvD BwE>

[6] VLHKÝ VZDUCH – STAVOVÉ VELIČINY [online]. [cit. 2021-6-25]. Dostupné z: <http://tzb.fsv.cvut.cz/vyucujici/14/vlhky-vzduch.pdf>

[7] Účinky vlhkosti na sbírkové materiály [online]. [cit. 2021-6-16]. Dostupné z: [https://www.slu.cz/slu/cz/projekty/webs/zkvalitneni/vystupy-1/uhv-m0096-preventivni-konzervace/vlhkost/at\\_download/file/](https://www.slu.cz/slu/cz/projekty/webs/zkvalitneni/vystupy-1/uhv-m0096-preventivni-konzervace/vlhkost/at_download/file/)

[8] TERMOHYGROMETR DIGITÁLNÍ, 430.201 [online]. [cit. 2021-6-16]. Dostupné z: <http://www.airflow.cz/produkty/pristroje/th3000.php>

[9] TERMOHYGROMETR DIGITÁLNÍ, 430.201 [online]. [cit. 2021-6-16]. Dostupné z: <https://www.optingservis.cz/index.php/139-laboratorni-pristroje/vlhkometer-hygrometr-termohygrometr/464-6-termohygrometr-digitalni-430-201>

[10] Atrea rekuperace [online]. [cit. 2021-6-16]. Dostupné z: <https://www.atrea.cz/cz/co-je-to-rekuperace>

[12] Adiabatický zvlhčovač EVAP [online]. [cit. 2021-6-16]. Dostupné z: [https://www.storc.cz/wp-content/uploads/2018/10/TL\\_EVAP\\_4Q18.pdf](https://www.storc.cz/wp-content/uploads/2018/10/TL_EVAP_4Q18.pdf)

- [13] Parní zvlhčovače vzduchu [online]. [cit. 2021-6-16]. Dostupné z: <https://www.dobraklima.cz/parni-zvlhcovace-vzduchu>
- [14] Temperature Monitoring [online]. [cit. 2021-6-16]. Dostupné z: <https://hanwell.com/news/fridge-temperature-monitoring/>
- [15] Projektování – Zajímavé projekty, Národní muzeum v Praze [online]. [cit. 2021-6-16]. Dostupné z: [http://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:V4P6vOelpd8J:www.stpcr.cz/%3Fdownload%3Darticles/vvi-2009-04\\_s163.pdf+&cd=5&hl=cs&ct=clnk&gl=cz&client=opera](http://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:V4P6vOelpd8J:www.stpcr.cz/%3Fdownload%3Darticles/vvi-2009-04_s163.pdf+&cd=5&hl=cs&ct=clnk&gl=cz&client=opera)
- [16] Jak funguje kouřový požární hlásič [online]. [cit. 2021-6-16]. Dostupné z: <https://www.zabezpecovaci-zarizeni.cz/pozarni-detektory/jak-funguje-kourovyy-pozarni-hlasic-%5Bb062%5D>
- [17] Fyzická bezpečnost, Téma: Elektrická požární signalizace [online]. [cit. 2021-6-16]. Dostupné z: [https://moodle.unob.cz/pluginfile.php/18052/mod\\_resource/content/4/09\\_Elektrická%20požární%20signalizace.pdf](https://moodle.unob.cz/pluginfile.php/18052/mod_resource/content/4/09_Elektrická%20požární%20signalizace.pdf)
- [18] Vnitřní tepelná akumulace pasivních domů a letní tepelná stabilita [online]. [cit. 2021-6-16]. Dostupné z: <https://stavba.tzb-info.cz/pasivni-domy/13198-vnitri-tepelna-akumulace-pasivnich-domu-a-letni-tepelna-stabilita>
- [19] BH059 Tepelná technika budov [online]. [cit. 2021-6-16]. Dostupné z: [https://www.fce.vutbr.cz/PST/bantova.s/BH059/BH059\\_Prednaska5b\\_Bantova\\_Cuprova.pdf](https://www.fce.vutbr.cz/PST/bantova.s/BH059/BH059_Prednaska5b_Bantova_Cuprova.pdf)
- [20] České muzeum hudby Karmelitská ulice, Malá Strana č.p. 387 a 388 - Z historie budovy. Praha: Národní muzeum.
- [21] Teplota a její měření [online]. [cit. 2021-6-16]. Dostupné z: <https://vytapani.tzb-info.cz/mereni-a-regulace/3115-teplota-a-jeji-mereni>
- [22] Teploměr PROCIRCUIT THERMOSTRIPS [online]. [cit. 2021-6-16]. Dostupné z: <https://www.mxtech-eshop.cz/Teplomer-PROCIRCUIT-THERMOSTRIPS-1-kus->

[d16274.htm?gclid=Cj0KCQjwzYGGbhCTARIsAHdMTQw1SNqCbGjsWsYKLuRuHD45Qy5k  
iCSnALcc5klBXcvSVTESS0qPmiAaAhdXEALw\\_wcB](https://www.tzb-info.cz/energeticka-narocnost-budov/8972-stanoveni-tepelných-zisků-zasklení-ze-slunečního-záření-v-energetickém-hodnocení-budov)

[23] Stanovení tepelných zisků zasklení ze slunečního záření v energetickém hodnocení budov [online]. [cit. 2021-6-17]. Dostupné z: <https://www.tzb-info.cz/energeticka-narocnost-budov/8972-stanoveni-tepelných-zisků-zasklení-ze-slunečního-záření-v-energetickém-hodnocení-budov>

[24] Bimetalový teploměr [online]. [cit. 2021-6-16]. Dostupné z: <https://illustrationprize.com/cs/221-bimetallic-thermometer.html>

[25] Termodynamická teplota [online]. [cit. 2021-6-16]. Dostupné z: [http://www.omska.cz/Soubory/termodynamika/doplňkové\\_úlohy.html](http://www.omska.cz/Soubory/termodynamika/doplňkové_úlohy.html)

[26] Teplota a její měření [online]. [cit. 2021-6-16]. Dostupné z: <http://www.fyzika007.cz/molekulova-fyzika-a-termika/teplota-a-jeji-mereni>

[27] FTOP08\_Teplota [online]. [cit. 2021-6-16]. Dostupné z: [http://uprt.vscht.cz/kminekm/mrt/predn/txt-Mgr/FTOP08\\_Teplota.pdf](http://uprt.vscht.cz/kminekm/mrt/predn/txt-Mgr/FTOP08_Teplota.pdf)

[28] 3. Pyrometry [online]. [cit. 2021-6-16]. Dostupné z: <http://www.technotrend.cz/stranky/teorie/teorie3.htm>

[29] DRKAL, František a Vladimír ZMRHAL. *Větrání*. Praha: nakladatelství ČVUT, 2013. ISBN 978-80-01-05181-8.

[30] České muzeum hudby [online]. [cit. 2021-6-16]. Dostupné z: <https://www.nm.cz/navstivte-nas/objekty/ceske-muzeum-hudby>

[31] Teorie vlhkého vzduchu (I) Úvod a vyjádření vlhkosti vzduchu [online]. [cit. 2021-6-17]. Dostupné z: <https://vetrani.tzb-info.cz/teorie-a-vypočty-vetrani-klimatizace/3323-teorie-vlhkeho-vzduchu-i>

[32] 5 Types of Fire Sprinklers to Consider for a Sprinkler Installation [online]. [cit. 2021-6-16]. Dostupné z: <https://www.fireline.com/5-types-fire-sprinklers-consider-sprinkler-installation/>



- [33] Snímače teploty – dilatační [online]. [cit. 2021-6-16]. Dostupné z: <https://eluc.kr-olomoucky.cz/verejne/lekce/1583>
- [34] VLHKOMĚR HYGROMETR VLASOVÝ S TEPLOMĚREM, 899 [online]. [cit. 2021-6-16]. Dostupné z: [https://www.optingservis.cz/index.php/139-laboratorni-pristroje/vlhkomer-hygrometr-termohygrometr/56-vlhkomer-hygrometr-termohygrometr%20\[9\]](https://www.optingservis.cz/index.php/139-laboratorni-pristroje/vlhkomer-hygrometr-termohygrometr/56-vlhkomer-hygrometr-termohygrometr%20[9])
- [35] Karta indikátoru vlhkosti [online]. [cit. 2021-6-16]. Dostupné z: <http://cz.absorbwell.de/humidity-indicator-card/cobalt-free-halogen-free-6-dots-hic.html>
- [36] Akviziční činnost Českého muzea hudby [online]. [cit. 2021-6-16]. Dostupné z: <http://vyrocni-zpravy.nm.cz/2018/sbirkotvorna-cinnost-4/ceske-muzeum-hudby-19/>
- [37] MUSEUM - ARCHITECTURE [online]. [cit. 2021-6-16]. Dostupné z: [https://maxernstmuseum.lvr.de/en/museum/baugeschichte/baugeschichte\\_1.html](https://maxernstmuseum.lvr.de/en/museum/baugeschichte/baugeschichte_1.html)
- [38] ADSORBČNÍ ODVLHČOVAČE DST DR, DC, R [online]. [cit. 2021-6-16]. Dostupné z: <https://www.flair.cz/Adsorbncni-odvlhcovace-DST-DR-DC-R>
- [39] Projektování - Zajímavé projekty - Národní muzeum v Praze. Praha: Petlach TZB, 2009.
- [40] VOLT CRAFT IR 800-20C infračervený teploměr Optika 20:1 -40 do 800 °C pyrometr [online]. [cit. 2021-6-16]. Dostupné z: <https://www.conrad.cz/p/voltcraft-ir-800-20c-infracerveny-teplomer-optika-201-40-do-800-c-pyrometr-1602741>
- [41] ČSN 73 0548. Výpočet tepelné zátěže klimatizovaných prostorů.

## 10 Přílohy

Součástí této diplomové práce je CD, které obsahuje následující:

1. Diplomovou práci ve formátu .pdf
2. Naměřené hodnoty včetně výpočtu a grafického znázornění ve formátu .xlsx