

**ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI  
FAKULTA ELEKTROTECHNICKÁ**

**KATEDRA MATERIÁLŮ A TECHNOLOGIÍ**

## **BAKALÁŘSKÁ PRÁCE**

**Vliv konfigurace akustických pohltivých prvků na činitel  
zvukové pohltivosti**

## ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI

Fakulta elektrotechnická

Akademický rok: 2020/2021

### ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(projektu, uměleckého díla, uměleckého výkonu)

Jméno a příjmení: **Pavel SLÁMA**  
Osobní číslo: **E18B0183P**  
Studijní program: **B2612 Elektrotechnika a informatika**  
Studijní obor: **Komerční elektrotechnika**  
Téma práce: **Vliv konfigurace akustických pohltivých prvků na činitel zvukové pohltivosti**  
Zadávající katedra: **Katedra materiálů a technologií**

#### Zásady pro vypracování

1. Prostudujte princip a možnosti metody měření činitele zvukové pohltivosti v dozvukové komoře.
2. Prostudujte možnosti rozmístění a montáže akustických prvků na bázi pěnových materiálů.
3. Pro měření v dozvukové komoře ověřte vliv velikosti měřené plochy vzorku na správnost výsledku.
4. V dozvukové komoře změřte pohltivost několika variant různých rozmístění jednoho typu akustických prvků.


Rozsah bakalářské práce: **30 – 40 stran**  
Rozsah grafických prací: **podle doporučení vedoucího**  
Forma zpracování bakalářské práce: **tištěná/elektronická**

Seznam doporučené literatury:

1. ČSN ISO 354 – Akustika. Měření zvukové pohltivosti v dozvukové místnosti
2. M. Krňák. Akustické obklady
3. F. Kolmer, J. Kyncl. Prostorová akustika
4. T.J. Cox, P. D'Antonio. Acoustic Absorbers and Diffusers
5. L. L. Beranek – Acoustics

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Stanislav Bouzek**  
Regionální inovační centrum elektrotechniky

Datum zadání bakalářské práce: **9. října 2020**  
Termín odevzdání bakalářské práce: **27. května 2021**

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



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

V Plzni dne 9. října 2020

## Abstrakt

Tato bakalářská práce je zaměřená na měření vlivu konfigurací jednoho druhu akustického prvku na činitel zvukové pohltivosti. První část se věnuje prostudování principu a možnostem metod měření činitele zvukové pohltivosti v dozvukové komoře. Tato část vychází z normy ČNS EN ISO 354. Druhá část práce se zabývá přípravou na praktickou část. To znamená hledání v katalogu výrobce a informování se o používaných montážích a konfiguracích. Ve třetí části bylo měření vlivu velikosti měřené plochy na správnost výsledku. Pro různé plochy měřeného vzorku byly v dozvukové komoře změřeny doby dozvuku. Pomocí vzorečků uvedených v první části se pak dopočítal činitel zvukové pohltivosti  $\alpha_s$ . Pro čtvrtou část měření byl zkoumán vliv různých geometrických rozmístění stejných akustických prvků na celkovou pohltivost obsazené plochy.

## Klíčová slova

prostorová akustika, doba dozvuku, dozvuková křivka, akustické prvky

## **Abstract**

This bachelor thesis focuses on the measurement of the effect of configurations of one type of acoustic element on the sound absorption factor. The first part is devoted to the study of the principle and possible methods of measuring the sound absorption factor in a reverberation chamber. This part is based on the ČNS EN ISO 354 standard. The second part of the work deals with the preparation for the practical part. This involves searching the manufacturer's catalogue and finding out about the assemblies and configurations used. The third part was to measure the effect of the size of the measured area on the correctness of the result. For different areas of the measured sample, the reverberation times were measured in the reverberation chamber. The sound absorption coefficient  $\alpha_s$  was then calculated using the samples presented in the first part. For the fourth part of the measurements, the effect of different geometrical arrangements of the same acoustic elements on the total absorption of the occupied area was investigated.

## **Key words**

room acoustic, reverberation time, decay curve, acoustic elements

## Prohlášení

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

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



.....  
podpis

V Plzni dne 27.5.2021

Pavel Sláma

# Obsah

<b>OBSAH</b> .....	<b>7</b>
<b>SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK</b> .....	<b>8</b>
<b>ÚVOD</b> .....	<b>9</b>
<b>1 PROSTOROVÁ AKUSTIKA</b> .....	<b>10</b>
1.1 ZVUKOVÁ POHLTIVOST .....	10
1.1.1 Materiály a konstrukce používané k pohlcování a rozptylování zvuku.....	10
1.2 DOBA DOZVUKU.....	10
<b>2 POSTUP MĚŘENÍ DOBY DOZVUKU V DOZVUKOVÉ KOMOŘE</b> .....	<b>12</b>
2.1 DOZVUKOVÁ KOMORA .....	12
2.2 MIKROFONY A ZDROJE ZVUKU .....	13
2.3 METODA PŘERUŠOVANÉHO ŠUMU .....	14
2.3.1 Požadavky.....	14
2.3.2 Průměrování.....	15
2.4 METODA INTEGROVANÉ IMPULSNÍ ODEZVY .....	15
2.4.1 Přímá metoda .....	15
2.4.2 Nepřímá metoda .....	15
2.5 VYJÁDŘENÍ VÝSLEDKŮ.....	15
2.5.1 Výpočet dob dozvuku $T_1$ a $T_2$ .....	16
2.5.2 Výpočet ekvivalentní pohltivé plochy $A_1$ , $A_2$ a $A_T$ .....	16
2.5.3 Činitel zvukové pohltivosti $\alpha_s$ .....	17
<b>3 MĚŘENÍ</b> .....	<b>18</b>
3.1 VYBAVENÍ K MĚŘENÍ.....	19
3.2 VLIV VELIKOSTI MĚŘENÉ PLOCHY AKUSTICKÉHO PRVKU NA ČINITEL ZVUKOVÉ POHLTIVOSTI.....	20
3.2.1 První konfigurace – $10 \text{ m}^2$ .....	21
3.2.2 Druhá konfigurace – polovina materiálu, $5 \text{ m}^2$ .....	23
3.2.3 Třetí konfigurace – třetinové využití materiálu, $3 \text{ m}^2$ .....	23
3.2.4 Porovnání výsledků měření s různou plochou vzorku.....	24
3.3 MĚŘENÍ DOPADU ZMĚNY KONFIGURACE NA ČINITEL POHLTIVOSTI $A_S$ .....	26
3.3.1 Varianta 1 – šachovnice .....	28
3.3.2 Varianta 2 – mezery 200 mm.....	29
3.3.3 Varianta 3 – svislá s mezerami 200 mm a 400 mm, 15 kusů .....	31
3.3.4 Varianta 4 – svislá s mezerami 200 mm a 895 mm, 9 kusů .....	33
3.3.5 Varianta 5 – mezery 200 mm a podložení 200 mm.....	35
3.3.6 Varianta 6 – obložení obvodu komory.....	37
3.3.7 Varianta 7 – naskládání do rohů.....	39
<b>VARIANTA 7 MÁ VYSOKÝ ČINITEL POHLTIVOSTI</b> .....	<b>41</b>
<b>ZÁVĚR</b> .....	<b>42</b>
<b>SEZNAM LITERATURY A INFORMAČNÍCH ZDROJŮ</b> .....	<b>43</b>
<b>PŘÍLOHA A – OBRÁZKY</b> .....	<b>1</b>
<b>PŘÍLOHA B – TABULKY</b> .....	<b>7</b>

## Seznam symbolů a zkratk

$f$ .....	Frekvence [Hz]
$a_s$ .....	Činitel pohltivosti
$a_i$ .....	Činitel pohltivosti dílčího prvku
$A_T$ .....	Ekvivalentní pohltivá plocha [m <sup>2</sup> ]
$A_1$ .....	Ekvivalentní pohltivá plocha v prázdné dozvukové komoře [m <sup>2</sup> ]
$A_2$ .....	Ekvivalentní pohltivá plocha s měřeným vzorkem [m <sup>2</sup> ]
$V$ .....	Objem dozvukové komory [m <sup>3</sup> ]
$T_S$ .....	Doba dozvuku [s]
$T_{30}$ .....	Doba dozvuku pro pokles akustického tlaku o 30 dB [s]
$T_{60}$ .....	Doba dozvuku pro pokles akustického tlaku o 60 dB [s]
$T_1$ .....	Aritmetický průměr dob dozvuku pro zdroj Z1 [s]
$T_2$ .....	Aritmetický průměr dob dozvuku pro zdroj Z2 [s]
$T_{12}$ .....	Aritmetický průměr z dob dozvuku $T_1$ a $T_2$ [s]
$Z_1, Z_2$ .....	Zdroje zvuků (reproduktory)
$M_1$ až $M_{16}$ .....	Měřicí pozice mikrofonů
$S$ .....	Plocha [m <sup>2</sup> ]
$I_{dop}$ .....	Intenzita zvuku dopadající na překážku
$I_{poh}$ .....	Intenzita zvuku pohlcená překážkou
$l_{max}$ .....	Nejdelší vzdálenost dvou bodů na hranici místnosti [m]
$m$ .....	Součinitel útlumu ve vzduchu [m <sup>-1</sup> ]
$L_P$ .....	Hladina akustického tlaku [dB]



## Úvod

Když mluvíme o zvuku, mluvíme o mechanickém vlnění, které prochází elastickým materiálem, kapalinou nebo plynem a je způsobeno chvěním [1,2]. Existuje několik parametrů, které se dají pro zvuk vyjádřit a tyto parametry jsou závislé na zdroji zvuku a na prostředí ve kterém se zvuk šíří. Mezi tyto parametry lze zařadit například frekvenci. Ta vyjadřuje počet opakování zvukové vlny za jednotku času. Pro frekvenci  $f$  se používá jednotka hertz [Hz]. Je obecně známo, že zvuk musí mít frekvenci mezi 16 Hz a 20000 Hz, aby byl slyšitelný pro člověka [1,2]. Zvuk, jenž je pod dolní hranici slyšitelnosti 16 Hz, se označuje jako infrazvuk a zvuk, jenž je nad horní hranicí slyšitelnosti 20000 Hz, se označuje jako ultrazvuk [2]. Dalšími parametry je hladina intenzity zvuku, kde se používá jednotka decibel [dB], a vlnová délka uváděna v metrech [m] [1-3]. Další parametry jsou závislé na prostředí, kterým zvukové vlnění prochází, či do kterého přechází. Zde mluvíme například o rychlosti šíření zvuku nebo činiteli zvukové pohltivosti [1-3]. Tyto parametry mají vliv na lidský organismus, především mluvíme-li o expozici člověka konstantnímu hluku [2]. Vědním oborem, který se zabývá parametry zvuku, je akustika. Samotná akustika se dá rozdělit na několik forem odvětví. Jedním z těchto odvětví je prostorová akustika [2].

Pro určení činitele zvukové pohltivosti se používá norma ČSN EN ISO 354. Ta se zabývá měřením doby dozvuku v dozvukové komoře a přepočítáním těchto dob dozvuku na činitel zvukové pohltivosti  $\alpha_s$ . Dále se zabývá vypracováním protokolu o tomto měření. V normě je uvedeno několik podmínek a požadavků na dozvukovou komoru, zdroje zvuku, mikrofony a měřený vzorek. Ty by měly být dodrženy, aby bylo dosaženo přesného měření. Více o těchto podmínkách je uvedeno níže v kapitole 2 a jejích podkapitolách. Tato kapitola se zabývá také způsoby měření různých veličin nutných k výpočtu činitele zvukové pohltivosti  $\alpha_s$  a také samotným výpočtem  $\alpha_s$ . Kapitola 3 se zabývá měřením doby dozvuku. Dále je zde popsán průběh měření, zobrazeny výsledky měření a porovnání těchto výsledků mezi konfiguracemi.

# 1 Prostorová akustika

S prostorovou akustikou se setkáme při zkoumání akustických jevů ve vnitřních prostorech a to z hlediska dobré slyšitelnosti a srozumitelnosti přenášeného zvuku [1]. K řešení akustiky prostoru se používají metody geometrické a statistické akustiky a v některých zvláštních případech se použije řešení vlnové rovnice za daných podmínek [2].

## 1.1 Zvuková pohltivost

Po vypnutí zdroje zvuku v uzavřeném prostoru bude akustická energie postupně ubývat, dokud zcela nezanikne. Pohlcena je částečně šířením skrz vzduch a částečně stěnami uzavřeného prostoru, kde se část energie pohltí a část se odrazí zpět. Pohlcená zvuková energie se přemění na energii tepelnou [3]. Množství pohlcené zvukové energie je závislé na úhlu dopadu [4] a obecně platí, že zajistit pohlcení zvuku na nízké frekvenci je obtížnější než na vysokých frekvencích. Velikost této pohlcené zvukové energie vyjadřujeme bezrozměrným činitelem pohltivosti  $\alpha$ , který se může pohybovat v intervalu od 0 do 1 a je dán vztahem 1.1 [3].

$$\alpha = \frac{I_{poh}}{I_{dop}}, \quad (1.1)$$

kde

$I_{poh}$  je intenzita zvuku pohlcená překážkou,

$I_{dop}$  je intenzita zvuku dopadající na překážku.

### 1.1.1 Materiály a konstrukce používané k pohlcování a rozptylování zvuku

K pohlcení dopadající zvukové energie je možné použít různé typy materiálů a druhy konstrukcí. Jejich použitím v prostoru se upravuje doba dozvuku, zvyšuje srozumitelnost srozumitelnosti nebo snižuje hluk v uzavřeném prostoru. Tyto akustické materiály a konstrukce lze rozdělit na porézní a vláknité, na kmitající desky a membrány, rezonátory a na rozptylové prvky [1].

## 1.2 Doba dozvuku

Zvuk, který se stále šíří prostorem po vypnutí zdroje zvuku se nazývá dozvuk a doba po kterou dozvuk existuje je nazývána dobou dozvuku [2]. Doba dozvuku je jedním z hlavních parametrů akustiky uzavřených prostorů. Tato doba se definuje časem v sekundách, který je

nutný k poklesu akustického tlaku o 60 dB. Tato definice však předpokládá, že v ideálním případě je závislost mezi hladinou akustického tlaku a časem lineární a že hladina akustického tlaku pozadí je dostatečně nízká [4]. Pro prostory s nízkou zvukovou pohltivostí  $\alpha$  existuje vztah 1.2 podle Sabineho, pro poměrně přesný výpočet doby dozvuku. Celkovou pohltivost  $\alpha$  lze určit z dílčích ploch a odpovídajících pohltivostí vztahem 1.3 [5].

$$T_S = 0,164 \cdot \frac{V}{A + 4 \cdot m \cdot V}, \quad (1.2)$$

$$A = \frac{1}{5} \sum \alpha_i \cdot S_i, \quad (1.3)$$

kde

$A$  je ekvivalentní pohltivá plocha v  $\text{m}^2$ ,

$T_S$  je doba dozvuku v s,

$V$  je objem prostoru v  $\text{m}^3$ ,

$S_i$  je plocha dílčího materiálu v  $\text{m}^2$ ,

$\alpha_i$  je činitel pohltivosti dílčího materiálu,

$M$  je činitel útlumu ve vzduchu ( $\text{m}^{-1}$ ), který se uplatní nad 2 kHz a u velkých prostorů.

## 2 Postup měření doby dozvuku v dozvukové komoře

Tato kapitola vychází z normy ČSN EN ISO 354 [4].

V následující kapitole budou uvedeny požadavky a podmínky normy pro určení pohltivosti akustických prvků v dozvukové komoře. Po vypnutí zdroje v uzavřeném prostoru je doba dozvuku ovlivněna pohltivými vlastnostmi povrchů stěn, vzduchem a předměty v tomto prostoru.

Tab. 1: Měřené frekvence v dozvukové komoře (převzato a upraveno z [4])

Frekvence [Hz]	100	125	160	200	150	315	400	500
	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000

### 2.1 Dozvuková komora

Normou doporučený objem dozvukové komory by měl být minimálně 200 m<sup>3</sup>. Dál by objem neměl přesahovat 500 m<sup>3</sup>. Důvodem je vliv pohltivosti vzduchu na měření. Dozvuková komora by dále měla splňovat podmínku:

$$l_{max} < 1,9^{1/3}V, \quad (2.1)$$

kde

$l_{max}$  je nejdelší vzdálenost dvou bodů na hranici místnosti v metrech,

$V$  je objem dozvukové komory v m<sup>3</sup>.

Měření může ovlivňovat také hluk pozadí. To je zvuk pronikající do chráněné místnosti z okolí. Dále se musí dosáhnout rovnoměrného rozložení vlastních kmitů. Této vlastnosti lze dosáhnou tím, že poměr stran komory nebude poměrem malých celých čísel. Doznívající zvukové pole musí být také dostatečně difuzní. Toho lze dosáhnou stojanovými nebo zavěšenými difuzory, či rotujícími křídly.

Ekvivalentní pohltivá plocha AT prázdné dozvukové komory musí být dle normy rovná hodnot, dle frekvence uvedených v tabulce 2 pro objem komory rovný 200 m<sup>3</sup>. Pro hodnoty jiné než 200 jsou hodnoty uvedené v tabulce 2 násobeny činitelem o velikosti  $(V/200)^{2/3}$ .

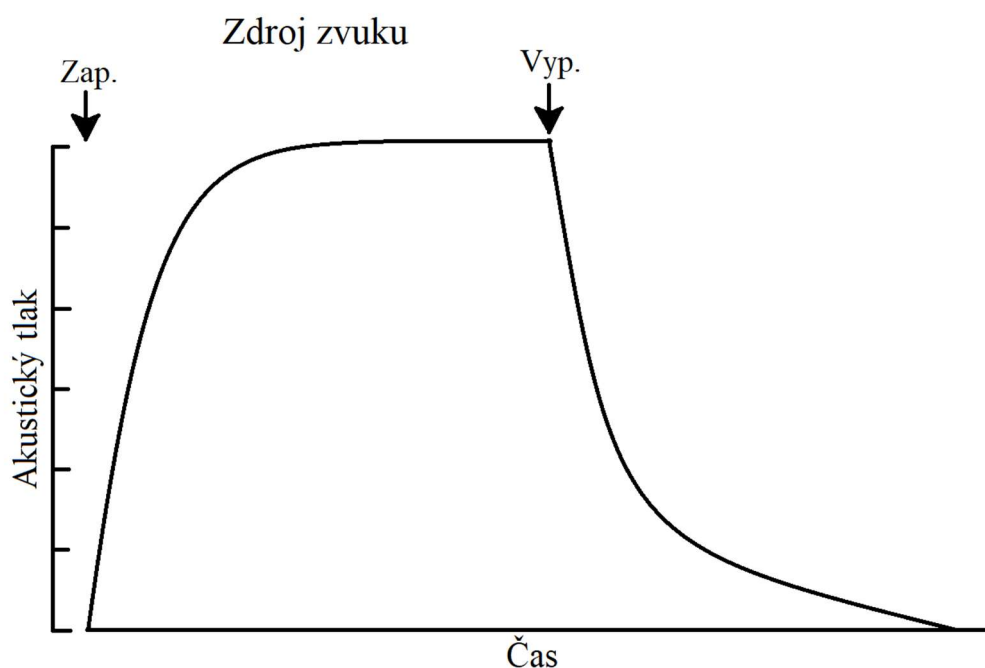
Tab. 2: Max. hodnoty  $A_T$  v závislosti na frekvenci v prázdné dozvukové komoře (převzato a upraveno z [4])

Frekvence [Hz]	100	125	160	200	150	315	400	500	630
Ekvivalentní pohltivá plocha [m <sup>2</sup> ]	6,5	6,5	6,5	6,5	6,5	6,5	6,5	6,5	6,5

Frekvence [Hz]	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000
Ekvivalentní pohltivá plocha [m <sup>2</sup> ]	6,5	7,0	7,5	8,0	9,5	10,5	12,0	13,0	14,0

## 2.2 Mikrofony a zdroje zvuku

Mikrofony používané k měření musí mít všesměrovou charakteristiku. Měření se musí provést pro různá místa mikrofону, která jsou od sebe vzdálená alespoň 1,5 m, od kteréhokoliv zdroje zvuku 2 m a od kraje místnosti a vzorku aspoň 1 m. Výsledné křivky poklesu dozvuku se pro různé mikrofony nesmí sdružovat. Zvuk musí být postupně buzen ze zdrojů se všesměrovým vyzařovacím diagramem a jednotlivé zdroje zvuku musí mezi sebou být vzdáleny alespoň 3 m.



Obr. 1: Průběh akustického tlaku po zapnutí a vypnutí zdroje zvuku v akustické komoře (převzato a překresleno z [6])

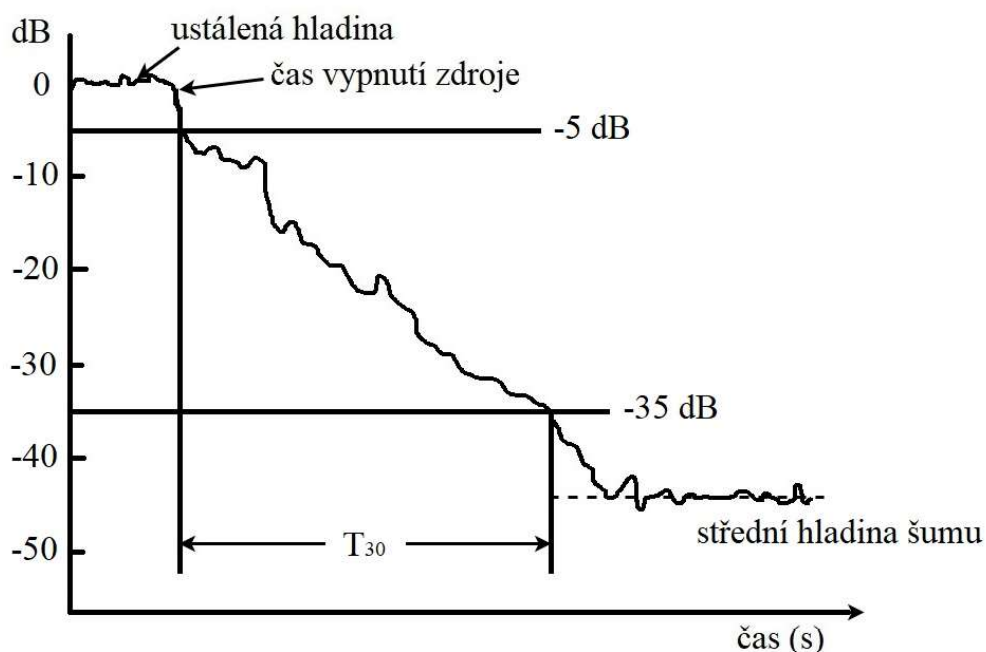
Dozvuková křivka získaná metodou přerušovaného šumu je výsledek statistického procesu, kde je potřeba pro jednu konfiguraci průměrovat několik dozvukových křivek nebo dob dozvuku, aby se došlo k vyhovující opakovatelnosti. Metoda integrované impulsní odezvy je deterministická funkce. Není tedy náchylná na statistické chyby a není nutné zde průměrovat.

## 2.3 Metoda přerušovaného šumu

Dříve se jednalo o nejznámější a nejpoužívanější metodu měření doby dozvuku [5]. Pro měření uvedené v kapitole 4 se použítá právě tato metoda.

### 2.3.1 Požadavky

Na obrázku 2 je vidět měření pro  $T_{30}$ . To je doba dozvuku pro pokles akustického tlaku o 30 dB. Pro měření je potřeba prostor vybudit alespoň o 60 dB (viz obrázek 2) nad úroveň akustického tlaku pozadí (střední hladinu šumu).  $T_{30}$  a  $T_{20}$  jsou standartní doby měření a prakticky se pokles o 60 dB neměří. Ta se dá dopočítat například podle vzorce 2.2. Doba buzení zdroje musí být taková, aby došlo k ustálení akustického tlaku na všech měřených kmitočtech – doba buzení bude minimálně poloviční k očekávané době dozvuku. Zároveň vybudení musí být takové, aby dolní hladina vyhodnocovaného rozmezí byla nejméně 10 dB na hladinou akustického tlaku pozadí. Jako zdroj zvuku se používá reproduktor a signál vedený do reproduktoru se odvodí z širokopásmového nebo pásmového šumu se spojitým kmitočtovým spektrem. Při použití širokopásmového šumu a analyzátoru v reálném čase musí být spektrum šumu takové, aby rozdíly hladin akustického tlaku byly menší než 6 dB v sousedních třetinooktávových pásmech a když se použije pásmový šum, musí být šířka pásma nejméně jedna třetina oktávy.



Obr. 2: Znáznornění průběhu dozvukové křivky (překresleno z [1])

$$T_{60} = 2 \cdot T_{30}(s), \quad (2.2)$$

kde

$T_{30}$  je doba dozvuku pro pokles akustického tlaku o 30 dB,

$T_{60}$  je standartní doba dozvuku pro pokles akustického tlaku o 60 dB.

### 2.3.2 Průměrování

Průměrování několika měření, které byly uskutečněné v jedné konfiguraci mikrofon/reproduktor, je v případě měření pomocí metody přerušného šumu nezbytně nutné pro redukování nejistoty měření, způsobné statistickými odchylkami. Počet těchto měření musí být minimálně tři. Aby se opakovatelnost dostala na úroveň opakovatelnosti metody integrované impulsní odezvy musí měření být alespoň deset.

## 2.4 Metoda integrované impulsní odezvy

### 2.4.1 Přímá metoda

Impulsová odezva může být vyhodnocena bezprostředně po použití zdroje impulsu. Tím může být výstřel, prasknutí balónu, jiskrový výboj, nebo jiné zdroje vytvářející impuls s dostatečnou šířkou pásma a energií pro splnění požadavku jako u 2.1.1.

### 2.4.2 Nepřímá metoda

Použití speciálních zvukových signálů, které dávají odezvu pouze po speciálním zpracování signálu z mikrofonu. To může přinášet zlepšené odstupy signálu od šumu. Díky možnému zvětšenému odstupu signálu od šumu jsou nároky na zdroj značně nižší než u metody přímé. Šířka pásma signálu musí být větší než jedna třetina oktávy.

## 2.5 Vyjádření výsledků

V následující kapitole je uveden postup určení pohltivosti měřeného vzorku z naměřených dob dozvuku.

### 2.5.1 Výpočet dob dozvuku $T_1$ a $T_2$

Doba dozvuku se ve všech kmitočtových pásmech vyjadřuje aritmetickým průměrem z celkového počtu měření doby dozvuku v příslušném kmitočtovém pásmu. Průměrné doby dozvuku místnosti v každém kmitočtovém pásmu bez zkušební vzorku a s ním, příslušně  $T_1$  a  $T_2$ , se vyjádří s přesností nejméně na dvě desetinná místa.

### 2.5.2 Výpočet ekvivalentní pohltivé plochy $A_1$ , $A_2$ a $A_T$

Ekvivalentní pohltivá plocha se vyjadřuje v metrech čtverečních. Jedná se o hypotetickou plochu, která by v dokonalé odrazivé místnosti vedla ke stejné době dozvuku jako v místnosti měřené. Hodnota  $A_1$  vyjadřuje hodnotu této plochy pro dozvukovou komoru bez měřeného vzorku. Všechny hodnoty obsahující v dolním indexu číslo 1 jsou spřažené s prázdnou komorou. Hodnota  $A_2$  zase vyjadřuje hodnotu ekvivalentní pohltivé plochy s měřeným vzorkem. Všechny hodnoty s dolním indexem 2 jsou hodnoty pro místnost s vloženým zkušebním vzorkem. Hodnota  $A_T$  vyjadřuje rozdíl mezi  $A_1$  a  $A_2$ .

$$A_1 = \frac{55,3 V}{c T_1} - 4V m_1, \quad (3.1)$$

$$A_2 = \frac{55,3 V}{c T_2} - 4V m_2, \quad (3.2)$$

$$A_T = A_2 - A_1 = 55,3V \left( \frac{1}{c_2 T_2} - \frac{1}{c_1 T_1} \right) - 4V(m_2 - m_1), \quad (3.3)$$

kde

$A$  je ekvivalentní pohltivá plocha v  $m^2$ ,

$V$  je objem prostoru v  $m^3$ ,

$c$  je rychlost šíření zvuku ve vzduchu při teplotě  $t$  v  $m/s$ ,

$T$  je doba dozvuku v místnosti,

$m$  je součinitel útlumu ve vzduchu ( $m^{-1}$ ).

Vypočítaná plocha  $A_T$  lze přepočítat na jednotlivé pohltivé prvky vydělením, tedy za předpokladu že všechny prvky mají stejné parametry. Tato doba se také značí  $A_T$ , ale pro větší přehlednost se v následující vzorci bude značit  $A_{Tn}$ .



$$A_{Tn} = \frac{A_T}{n}, \quad (3.4)$$

kde

$A_{Tn}$  je ekvivalentní pohltivá plocha jednoho pohltivého prvku v m<sup>2</sup>,

$A_T$  je ekvivalentní pohltivá plocha v m<sup>2</sup>,

$n$  je počet prvků.

### 2.5.3 Činitel zvukové pohltivosti $\alpha_s$

Abychom mohli vypočítat činitel zvukové pohltivosti  $\alpha_s$ , musí se prvně použít vzorec 3.3 (případně i 3.4). Poté se  $\alpha_s$  vypočte podle vzorce:

$$\alpha_s = \frac{A_T}{S} \quad (3.5)$$

kde

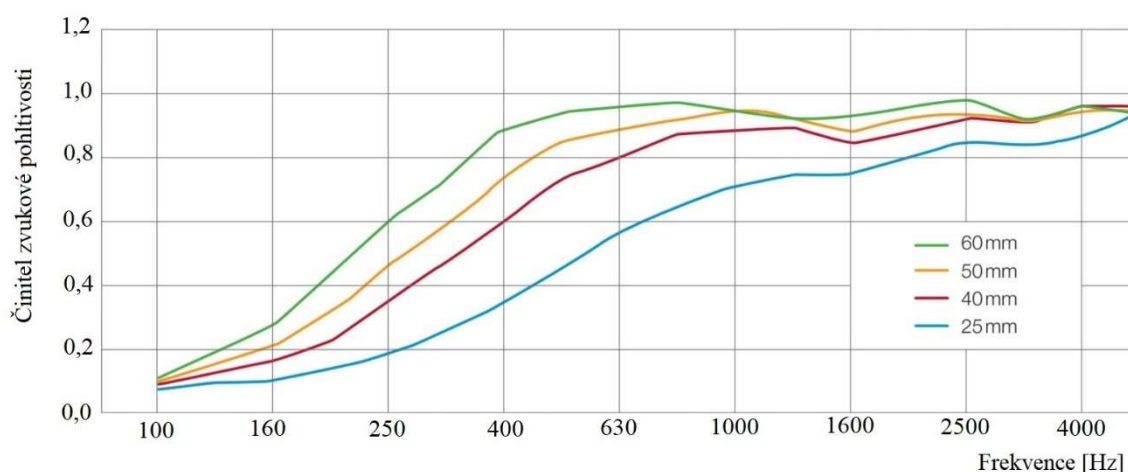
$\alpha_s$  je činitel zvukové pohltivosti bezrozměrný,

$A_T$  je ekvivalentní pohltivá plocha v m<sup>2</sup>,

$S$  je plocha pokrytá zkušební vzorkem v m<sup>2</sup>.

### 3 Měření

V této kapitole se dostáváme k samotné praktické části, ve které byly měřeny různé konfigurace pohltivých prvků a jejich dopady na dobu dozvuku. Než se začaly měřit zmíněné vlivy pohltivých prvků a jejich množství, tak bylo nutné změřit dobu dozvuku v prázdné dozvukové komoře. V tomto případě by měly být doby dozvuku nejdelší ze všech měření. Všechna takto provedená měření jsou v ideálním případě provedena za naprosto stejných atmosférických podmínek, tedy za stejné relativní vlhkosti a teploty vzduchu. Proto je nutné sledovat tyto atmosférické podmínky a jejich odchylky od výchozího stavu (měření v prázdné dozvukové komoře) a zohlednit je ve výpočtu. Jako akustické prvky byly vybrány melaminové desky o rozměrech 1,23x0,4x0,095 m, které mají vysokou pohltivost na středních a vysokých kmitočtech. Pro tyto melaminové desky je dostupný od výrobce graf (viz obrázek 3), kde se znázorňuje závislost hodnoty činitele zvukové pohltivosti na frekvenci.



Obr. 3: Zobrazení frekvenční závislosti činitele zvukové pohltivosti na frekvenci (převzato a upraveno z [7])

Výrobce melaminových desek doporučuje použití melaminových desek jako kazetových stropů (viz obr. 4). Takto umístěné panely jsou odstranitelné a umožňují tak opravu a údržbu na instalovaných systémech za nimi. Dále desky mohou být obsazené např. ventilací nebo osvětlením. Další doporučení je, že pokud není možné instalace jako kazetových stropů, zavěšení akustických prvků vertikálně či horizontálně na kabelové systémy. Jako další možnosti instalace se jeví umístění přímo na stěnu či strop pomocí disperzních lepidel.



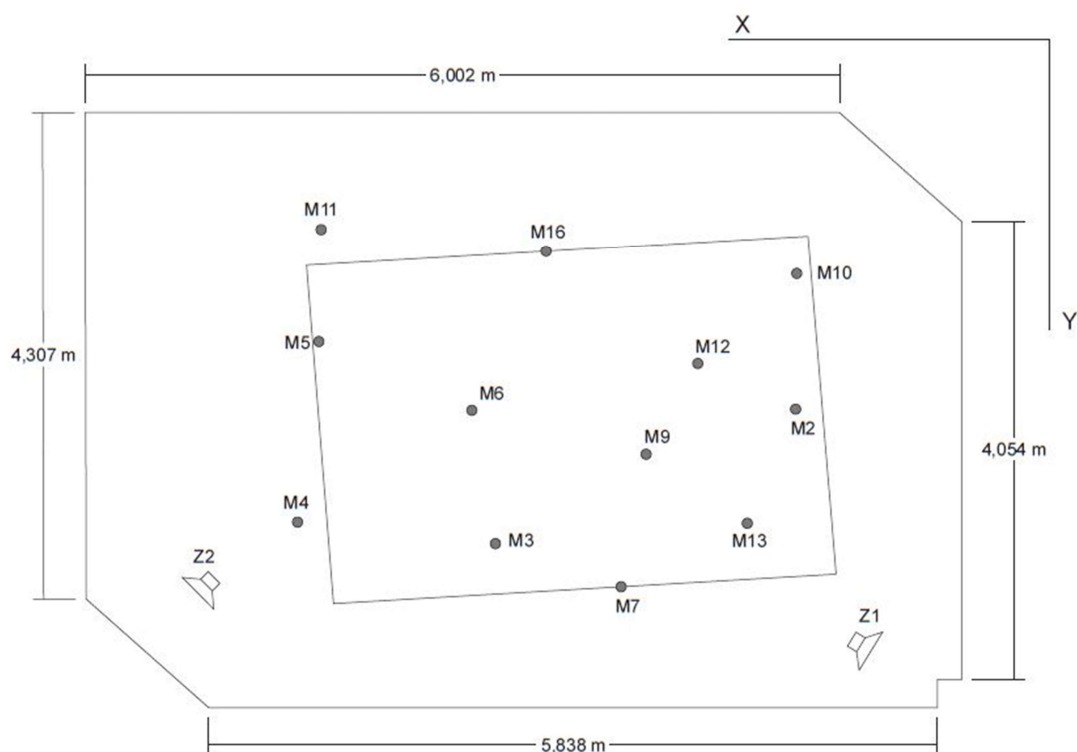
Obr. 4: Fotka možného umístění akustických prvků (převzato z [7])

### 3.1 Vybavení k měření

Měření proběhlo v dozvukové komoře splňující podmínky uvedené v normě [4]. Půdorys dozvukové komory i se znázorněnými pozicemi mikrofonů a vzorku v komoře je na obrázku 5. Tabulka pozic mikrofonů je uvedena v příloze B.1. K sledování atmosférických podmínek byl použit termometr/hygrometr. Počet difuzorů zavěšených v dozvukové komoře je 14. Vybavení použité k měření je uvedeno v tabulce 3.

Tab. 3: Vybavení k měření doby dozvuku

Vybavení	Výrobce	Počet kusů
mikrofon TYPE-4943-C-001	Brüel & Kjaer	4
generátor/analyzátor TYPE-3160-A-042	Brüel & Kjaer	1
reproduktor S1151V	Yamaha	2
zesilovač Q1212	Electro-Voice	1
termometr/hygrometr HH311	Omega	1

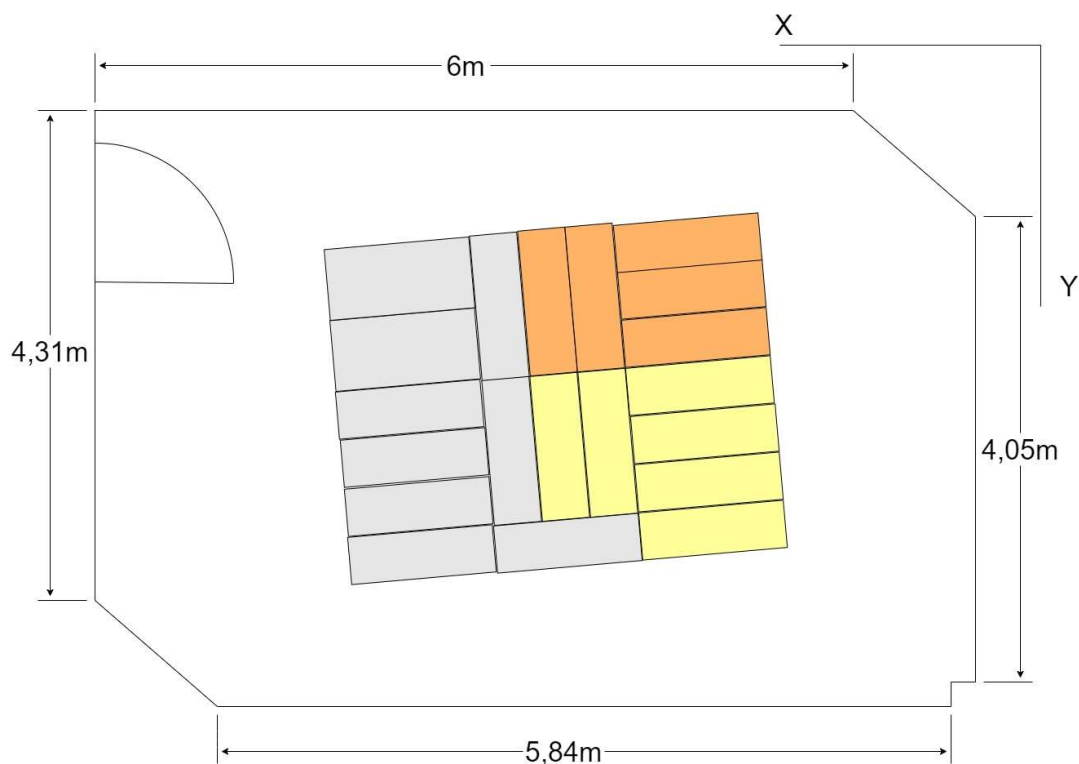


Obr. 5: Půdorys dzvukové komory s vyznačenými pozicemi mikrofonů

### 3.2 Vliv velikosti měřené plochy akustického prvku na činitel zvukové pohltivosti

Než se začalo měřit musel se rozložit akustický prvek po určité ploše v dozvukové komoře. Norma [4] udává, že by minimální plocha vzorku měla být  $10 \text{ m}^2$ . Vzhledem k tomu, že některé materiály jsou dražší nebo konstrukčně složitější je často dostupná pouze menší plocha vzorku. Proto budeme zkoumat vliv měřené plochy na činitel pohltivosti  $\alpha_s$  a to i pro menší plochy vzorků. Dále nám předpisy říkají, že rozměry plošného vzorku by měly být v poměru šířky ku délce 0,7 ku 1. Tyto předpisy byly dodrženy pouze pro první konfiguraci. Z porovnání výsledků měření by mělo být vidět, jak množství materiálu ovlivňuje jeho dobu dozvuku, ze které se následně vypočítá činitel pohltivosti po dosazení do vzorečku 3.5. V níže uvedených grafech budou vždy uvedeny dva různé průběhy činitele zvukové pohltivosti. Jedna křivka je vypočítána s uvažováním pouze podlahové plochy vzorku, druhá zahrnuje do pohltivé plochy vzorku také jeho okraj. To je způsobeno tím, že v prvních případech se jedná o plochu zabranou měřeními konfiguracemi a v druhém případě o využívanou plochu tlumících prvků v konfiguracích – plochu vystavenou vzduchu.

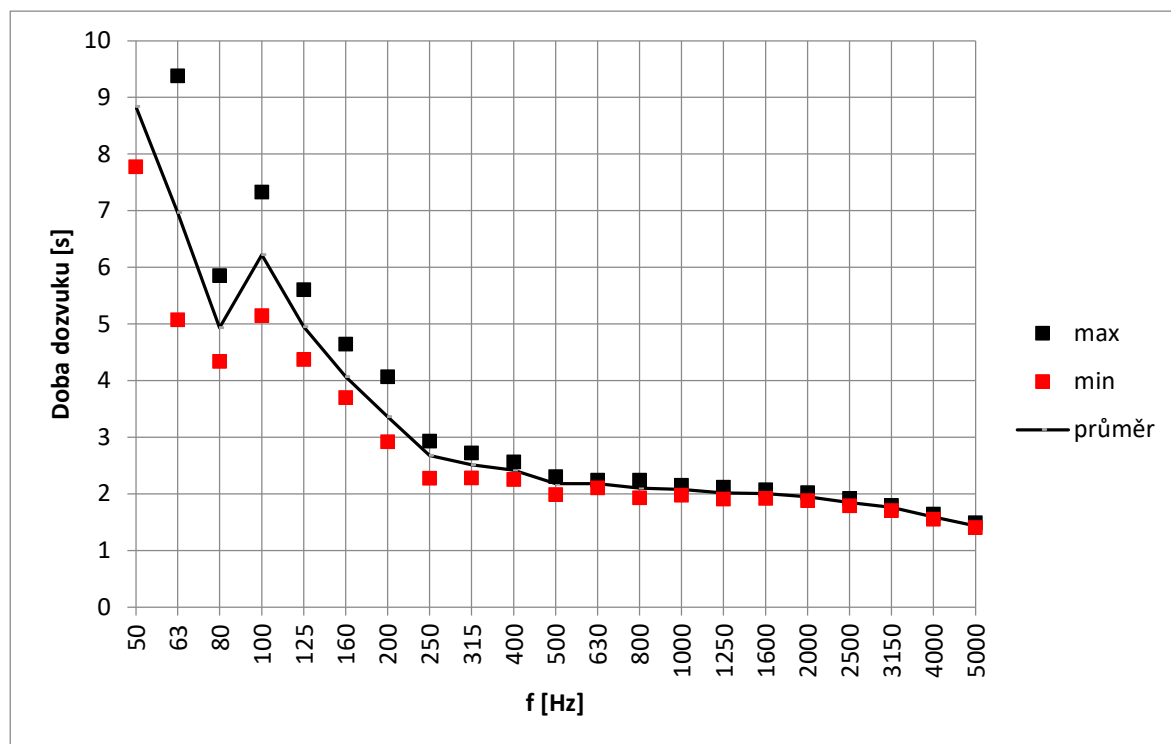
Jako první se bude počítat s plochou ekvivalentní 21 kusům akustického prvku, poté se počet akustických prvků snížil na 11 kusů a u posledního měření na 5 kusů. Vzorky vždy tvořili celistvou plochu.



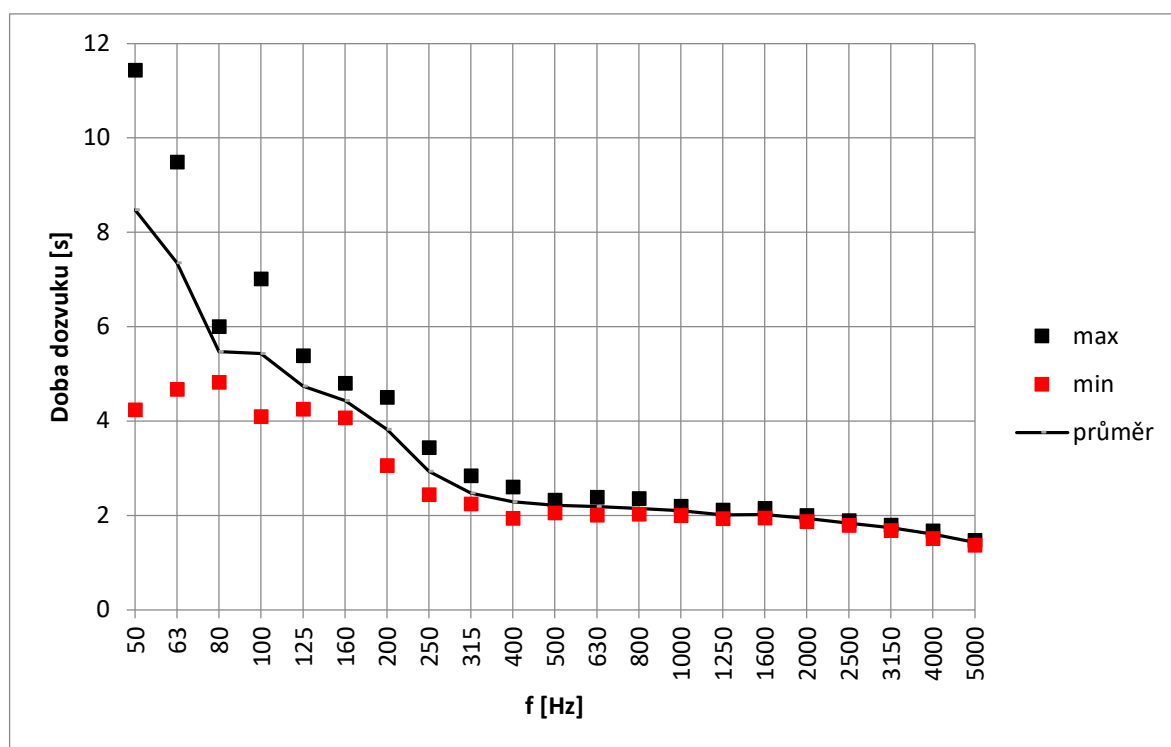
Obr. 6: Půdorys – pro měřený vzorek, kde barvy znázorňují rozdíly mezi jednotlivými konfiguracemi

### 3.2.1 První konfigurace – 10 m<sup>2</sup>

První měřenou variantou byla konfigurace, kde byl použitý veškerý dostupný materiál, tedy 21 kusů akustického prvku. Celková zabraná plocha vzorkem byla 10,3 m<sup>2</sup>. Půdorys tohoto rozmístění je znázorněn na obrázku 6, kde je konfigurace znázorněna trojbarevně (šedá + žlutá + oranžová). Tato varianta by teoreticky měla být nejúčinnější, kvůli množství použitého materiálu. Fotky z tohoto měření jsou v příloze jako obr. A.1 a obr. A.2.



Obr. 7: Zobrazení doby dozvuku [s] na frekvenční závislosti [Hz] pro 10 m<sup>2</sup> pro zdroj zvuku 1 (Z1)

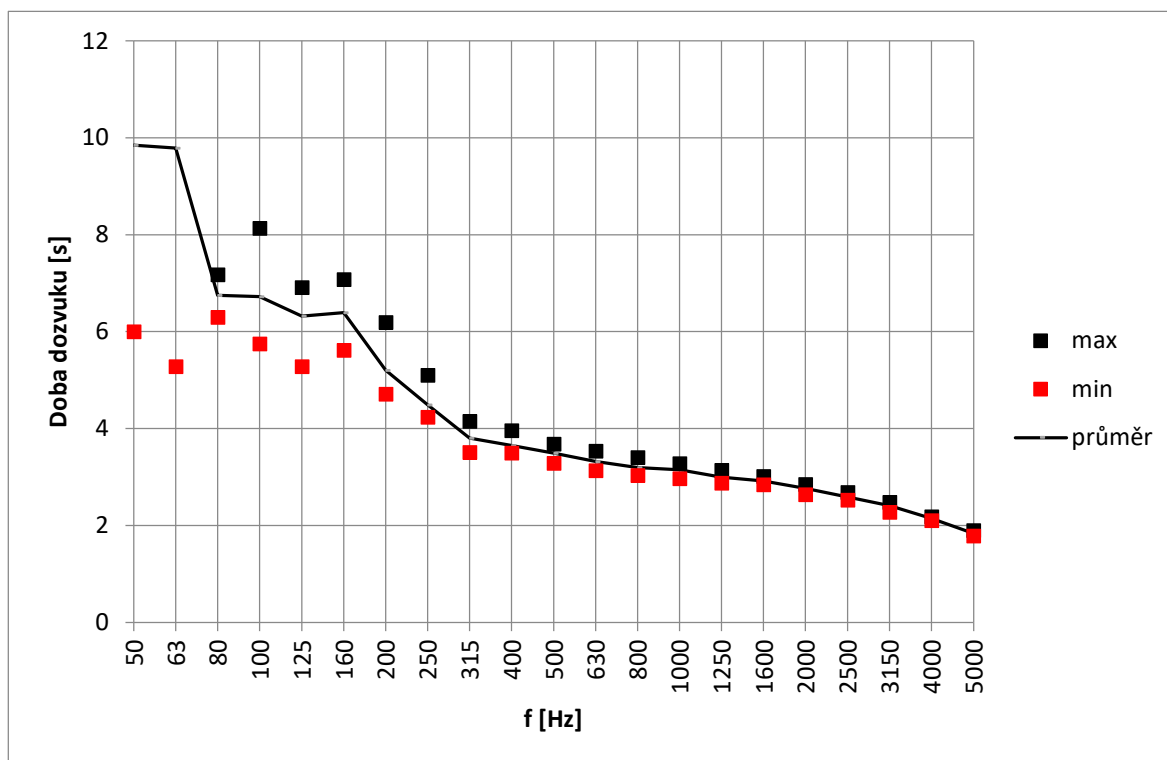


Obr. 8: Zobrazení doby dozvuku [s] na frekvenční závislosti [Hz] pro 10 m<sup>2</sup> pro zdroj zvuku 2 (Z2)

Obrázky 7 a 8 znázorňují dobu dozvuku pro zdroje zvuku (reproduktory) 1 a zdroj 2. Z dob dozvuku pro každý zdroj se vypočítal průměr dob dozvuku  $T_{12}$ , který se používal pro určení činitele pohltivosti  $\alpha_s$ . Pozice těchto zdrojů jsou vyznačeny na obr. 5.

### 3.2.2 Druhá konfigurace – polovina materiálu, 5 m<sup>2</sup>

U druhé konfigurace byla omezena použitá plocha materiálu na přibližně polovinu, tedy přibližně na 5,4 m<sup>2</sup>. Výpočty pracující s touto plochou 5,4 m<sup>2</sup>. Plocha se započítáním hran prvku se blíží k 6,1 m<sup>2</sup>. K realizaci bylo použito 11 kusů pohltivého prvku. Zobrazení půdorysu s touto konfigurací je na obrázku 6, kde je konfigurace znázorněna dvojbarevně (žlutá + oranžová). Fotky z měření druhé konfigurace jsou v příloze jako obr. A.3.

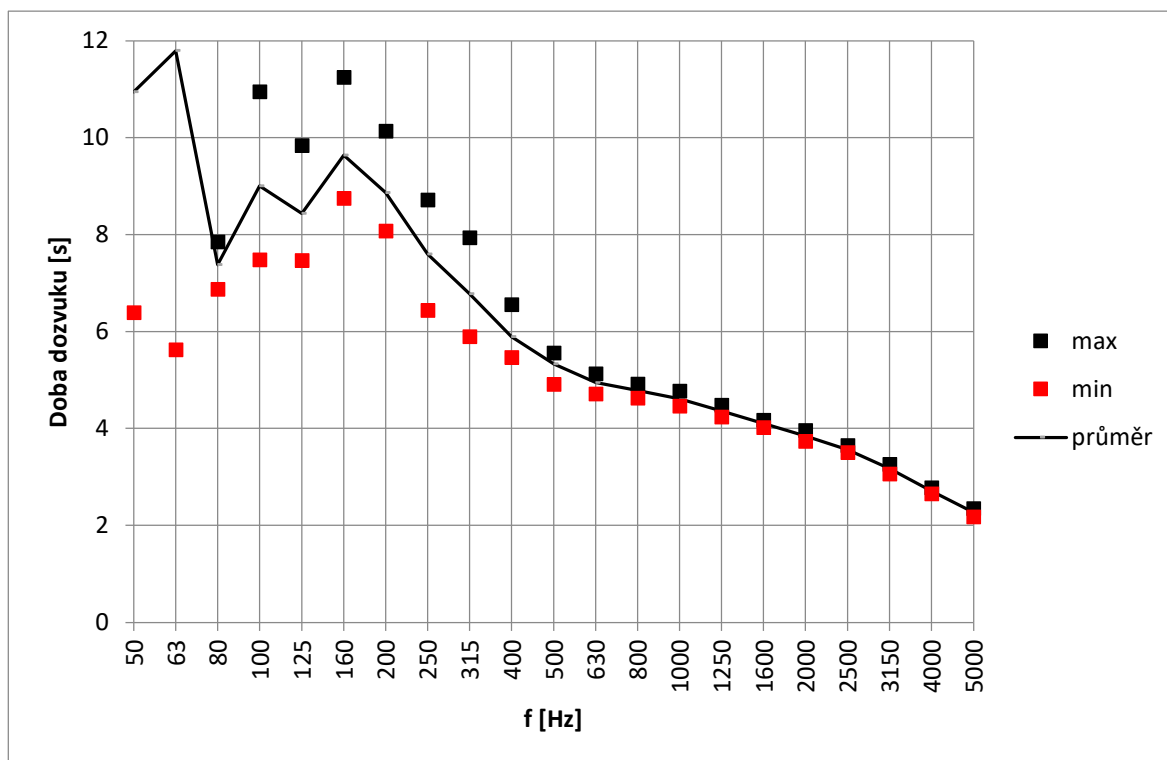


Obr. 9: Zobrazení doby dozvuku [s] na frekvenční závislosti [Hz] pro 5 m<sup>2</sup> pro zdroj zvuku 2 (Z2)

Na obrázku 9 je znázorněna závislost doby dozvuku na frekvenci pro zdroj Z2 pro konfiguraci s polovičním využitím akustických prvků. Jedná o jeden ze dvou průběhů nutných k výpočtu činitele pohltivosti pro tuto konfiguraci. Jelikož průběh křivky je podobný průběhu pro zdroj Z1 ilustračně je zde uvedený jen průběh pro Z2. Kromě zvýšení doby dozvuku se oproti konfiguraci s plným využitím materiálu se nejví jiné rozdíly.

### 3.2.3 Třetí konfigurace – třetinové využití materiálu, 3 m<sup>2</sup>

Opětovným snížením počtu kusů pohltivého materiálu jsme se dostali na 5 použitých kusů. Plocha, kterou těchto 5 kusů zabírá, je rovna 2,5 m<sup>2</sup>. Plocha se započítáním hran se přibližuje ke 3,1 m<sup>2</sup>. Konfigurace je zobrazena na obrázku 6, kde je znázorněna oranžovou barvou. V příloze jsou fotky z tohoto měření jako obr. A.4 a obr. A.5.



Obr. 10: Zobrazení doby dozvuku [s] na frekvenční závislosti [Hz] pro 3 m<sup>2</sup> pro zdroj zvuku 2 (Z2)

Na obrázku 10 jsou znázorněná průměrné, min. a max. doby dozvuku závislé na frekvenci pro zdroj Z2 pro konfiguraci s třetinovým využitím materiálu. Opět jde o jeden ze dvou průběhů nutných k výpočtu činitele pohltivosti pro tuto konfiguraci. Při porovnání s dobou dozvuku pro Z2 konfigurace s polovičním využitím materiálu vidíme, že doby dozvuku jsou nízkých frekvencích rozdílné v řádech sekund a pro vysoké je menší než 1 sekunda. Lze také vidět že max a min doby dozvuku jednotlivých mikrofonů mají větší rozptyl než u předchozích konfigurací.

### 3.2.4 Porovnání výsledků měření s různou plochou vzorku.

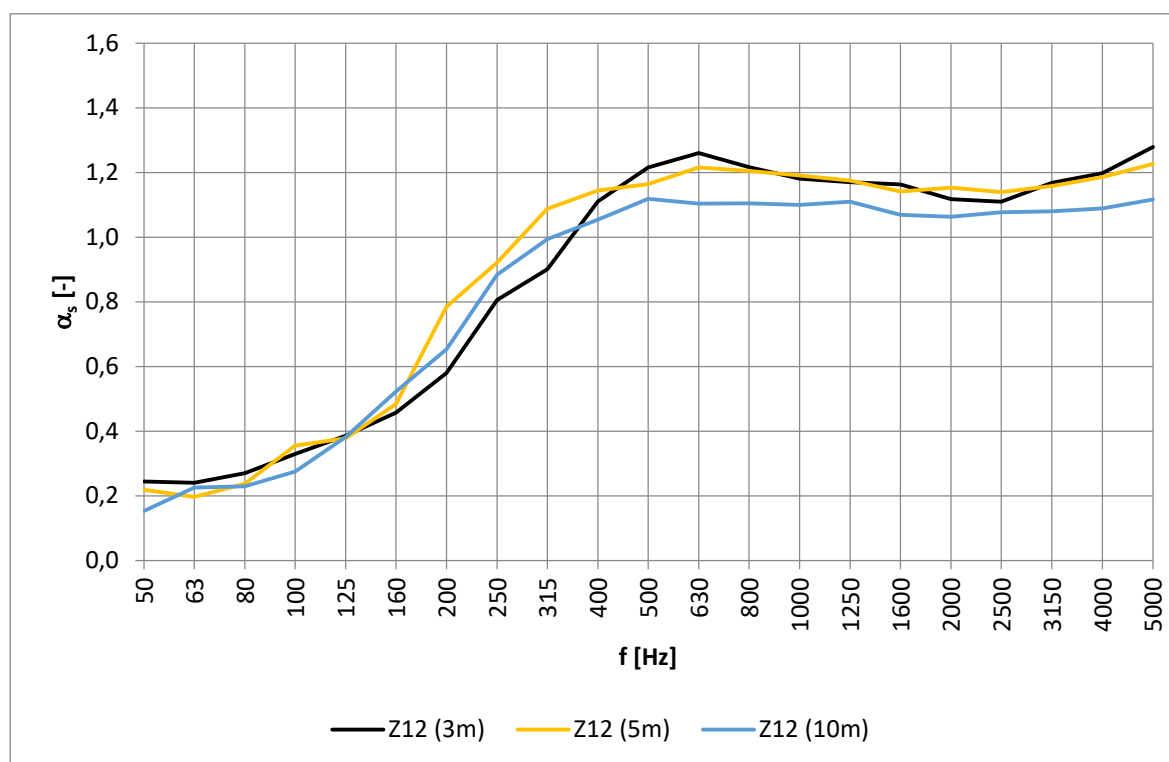
Tato podkapitola je zaměřená na porovnání výsledků z konfigurace jedna, dvě a tři. Hlavní parametr k porovnání je činitel pohltivosti. Na grafech v předchozích podkapitolách je vidět nestálost v dobách dozvuku v měření na frekvencích menších než 100 Hz. Ty jsou způsobeny rozdíly rozložení akustického pole v dozvukové komoře na těchto frekvencích. Akustické pole na nízkých kmitočtech již není difuzní, takže není zaručen všesměrový a náhodný dopad. Dalším ovlivňujícím prvkem by mohl být hluk z okolí, jelikož zvuky na takto nízkých frekvencích je složité utlumit. Následující porovnávání by tedy mělo být zaměřené na frekvence od 100 Hz, jak nám také předepisuje norma. Na hodnotách dob



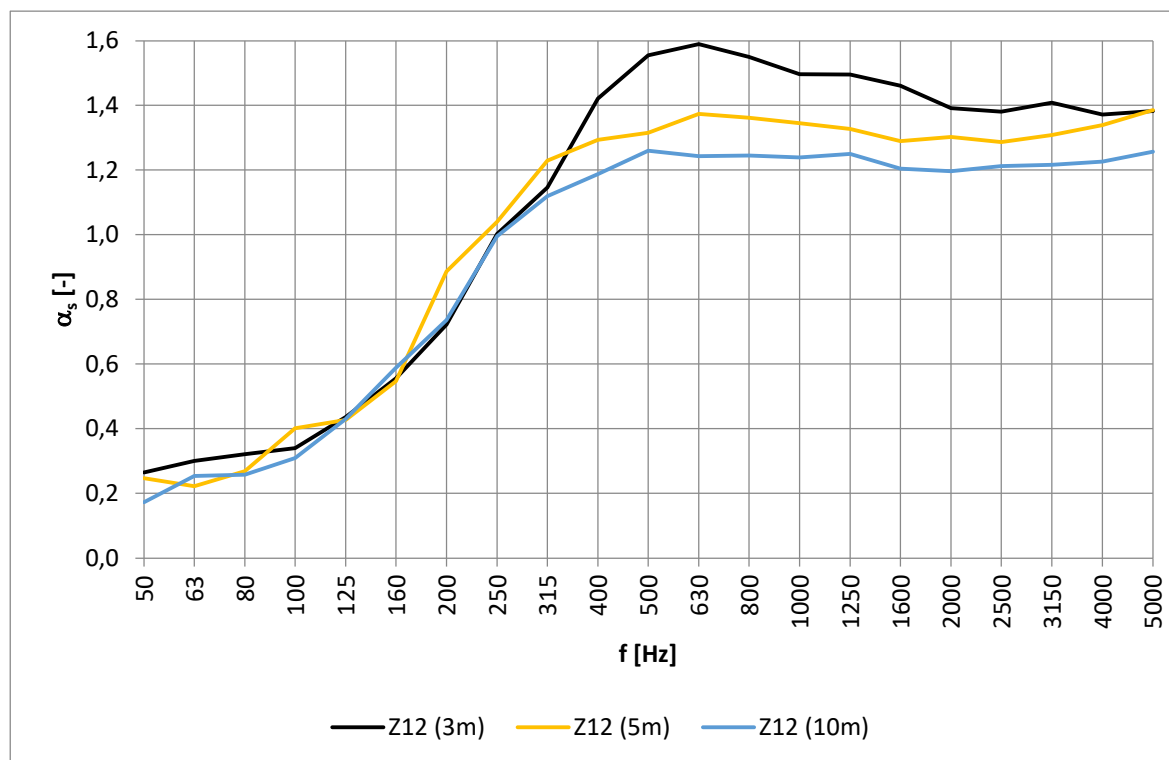
dozvuku v grafech je vidět, že se zmenšující plochou se doba dozvuku zvedá. Je však také očividné, že např. při použití polovičního počtu materiálu se průměrná doba dozvuku na nezdvojnásobila. Vzhledem k velikosti plochy akustického prvku oproti ploše celé komory se tento výsledek dal očekávat.

Z obrázku 11 lze vyčíst, že počítáme-li s okraji, hodnoty činitelů zvukových pohltivosti  $\alpha_s$  jsou si blízké. Průměrně největší  $\alpha_s$  má konfigurace s 5 m<sup>2</sup> akustického prvku a průměrně nejmenší  $\alpha_s$  má konfigurace s 10 m<sup>2</sup> akustického prvku.

Z obrázku 12 je zase vidět, že nepočítáme-li s okraji, činitel zvukové pohltivosti se velmi liší od 315 Hz až do 5000 Hz. To znamená, že pro zmenšující se množství akustického prvku bude činitel pohltivosti  $\alpha_s$  v tomto případě růst. Skutečné doby dozvuku budou však na všech frekvencích také růst.



Obr. 11: Závislost činitelů pohltivosti  $\alpha_s$  na frekvenci pro různé plochy měřených ploch (s okraji)



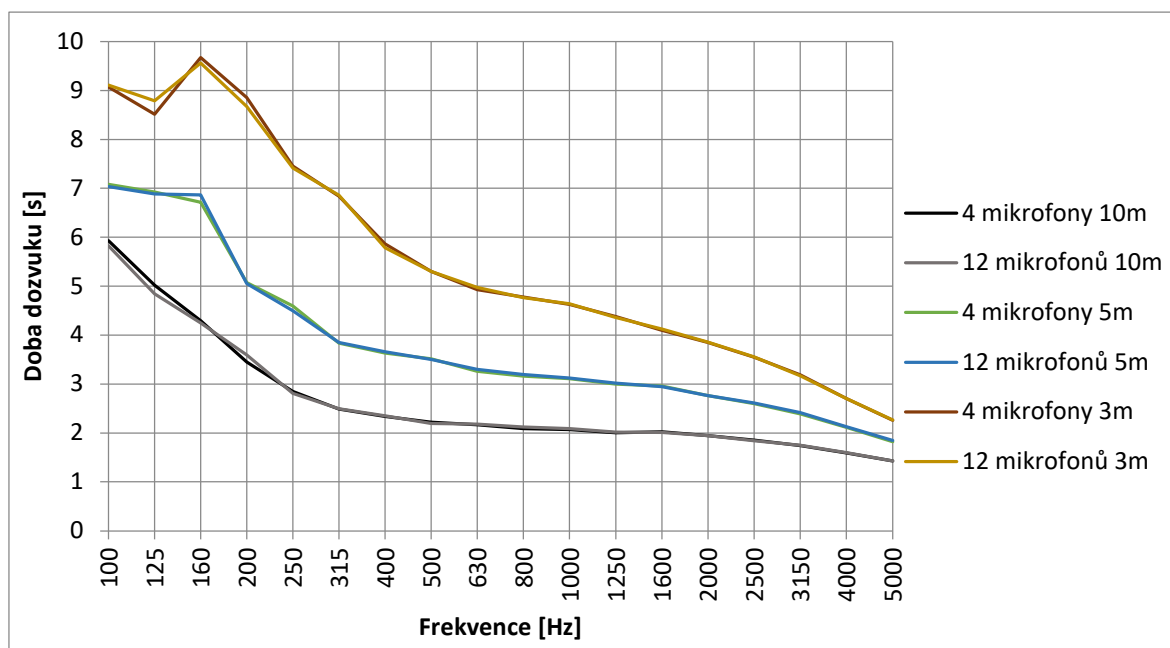
Obr. 12: Závislost činitelů pohltivosti  $\alpha_s$  na frekvenci pro různé plochy měřených ploch (bez zahrnutí okrajů)

Hodnoty činitele pohltivosti  $\alpha_s$  obou těchto grafů lze najít v příloze B.3.

### 3.3 Měření dopadu změny konfigurace na činitel pohltivosti $\alpha_s$

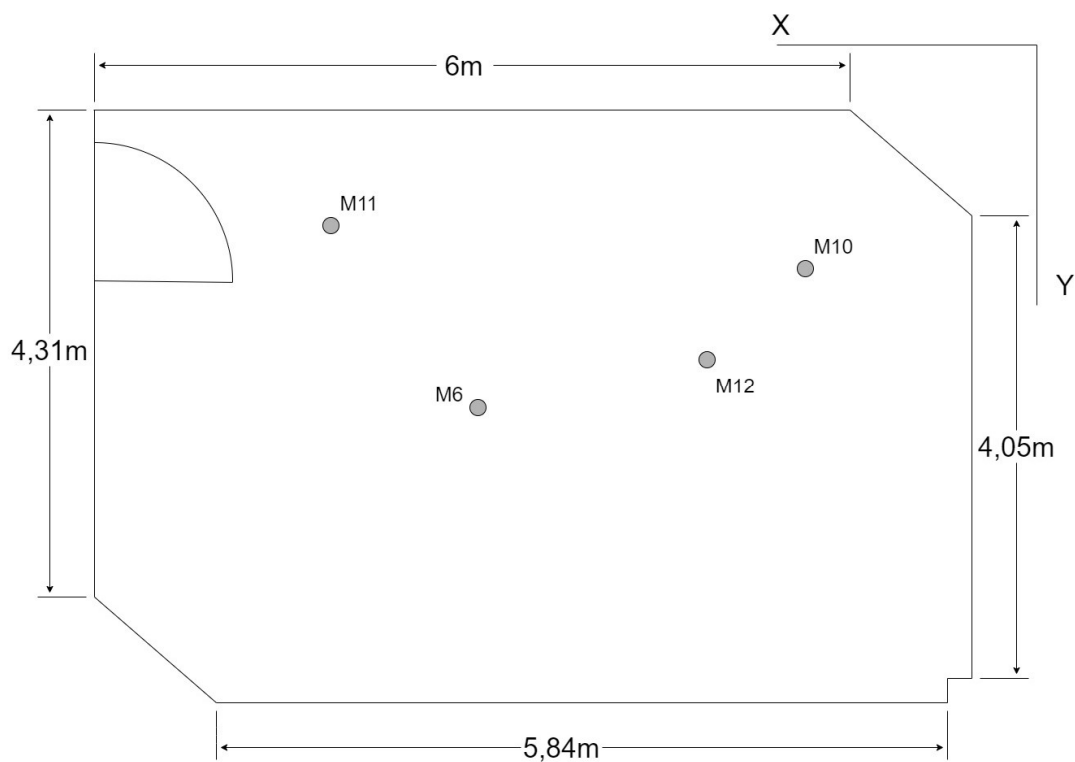
V této části se budeme věnovat měření činitele pohltivosti  $\alpha_s$  v závislosti na rozmístění akustických prvků na stejné podlahové ploše. Měření proběhla, aby se mohly jednotlivé konfigurace porovnat v účinnosti vzhledem k množství kusů použitého akustického prvku. Vypočítané hodnoty činitelů pohltivosti  $\alpha_s$  jednotlivých variací je možné najít v příloze jak tabulku B.4.

Při měření těchto konfigurací se použili pouze 4 mikrofony, přestože podle normy by mělo být minimum mikrofonů 12. Důvodem k tomuto rozhodnutí byla časová náročnost. Doba těchto měření se snížením počtu mikrofonů snížila na třetinu oproti měření všemi 12 mikrofony. Tyto 4 mikrofony (viz tabulka B.2 přílohy) byly vybrány po porovnání výsledků z měření předchozích, uvedených v kapitole 3.2.



Obr. 13: Graf závislosti doby dozvuku na frekvenci pro různé konfigurace

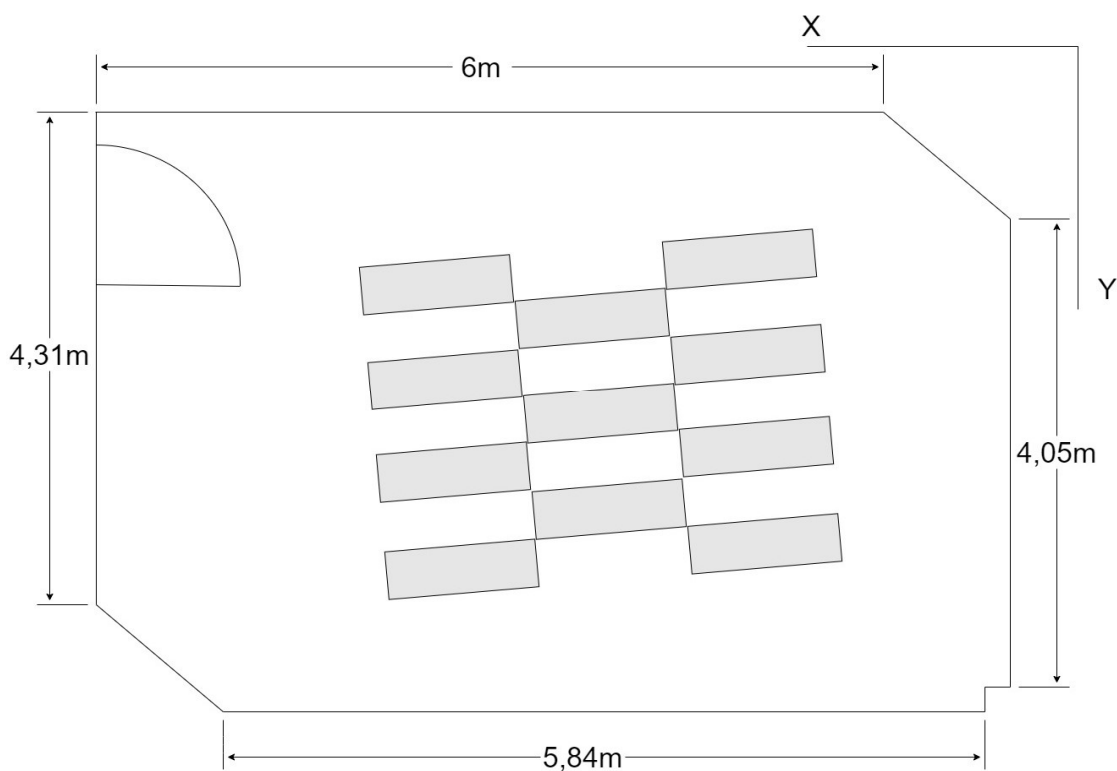
Na obrázku 13 je možno porovnávat hodnoty dob dozvuku pro tento případ. Je vidět, že doby dozvuku se liší maximálně o 4 % a to ještě na nízkých frekvencích pod 500 Hz. Bylo tedy usouzeno, že tento rozptyl je přijatelný a byly použity vybrané čtyři mikrofony (viz obr. 14 a tabulka B.2 v přílohách).



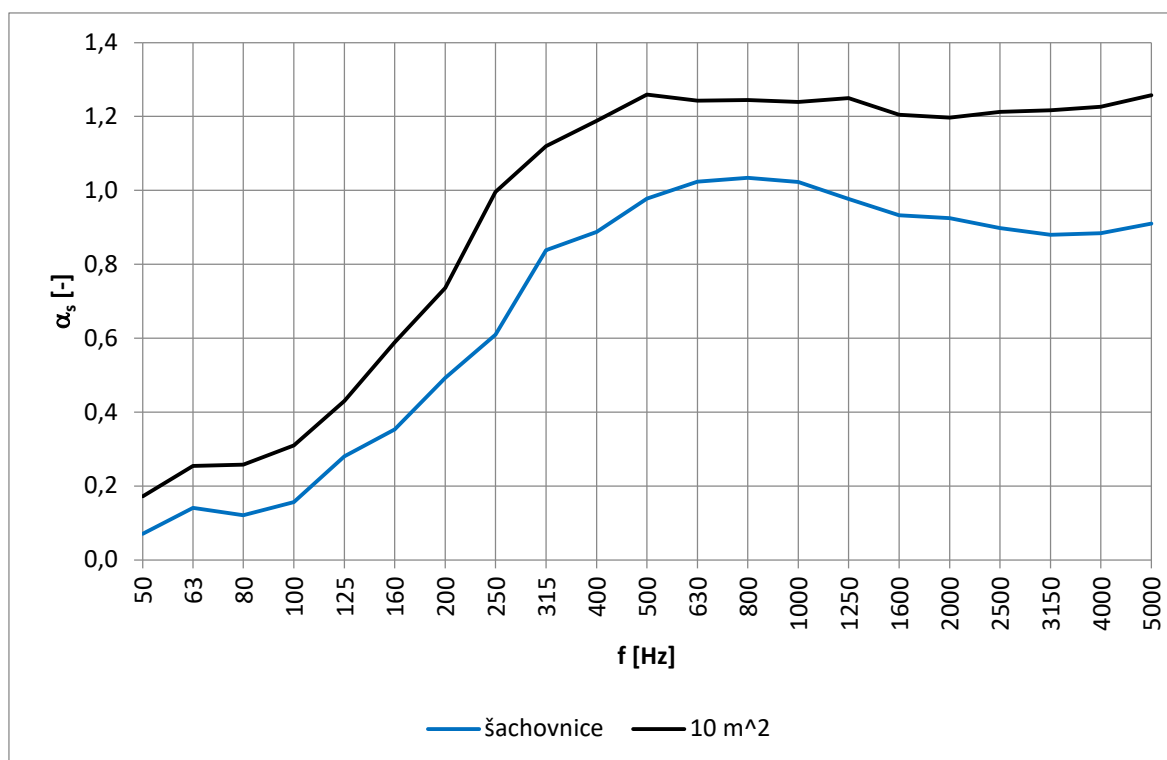
Obr. 14 Půdorys znázorňující pozice čtyř mikrofonů použitých pro měření 3.3

### 3.3.1 Varianta 1 – šachovnice

Tato konfigurace připomínala svým rozložením šachovnici. Namísto využití veškerého dostupného materiálu bylo zapotřebí pouze poloviny, tedy 11 kusů. Reálně zabraná plocha touto konfigurací zůstala stejná jako u měření konfigurace 4.1.1 znamenající 10,3 m<sup>2</sup>.



Obr. 15: Půdorys – vložení akustických prvků do konfigurace šachovnice

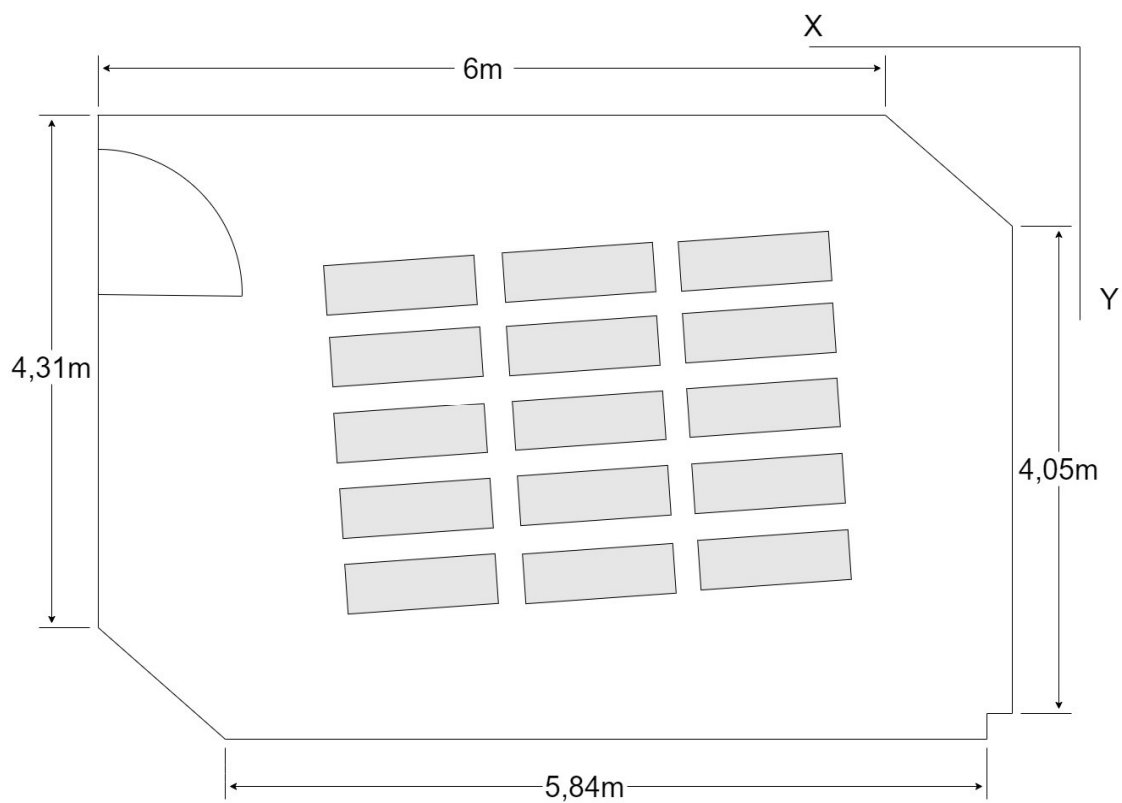


Obr. 16: Zobrazení frekvenční závislosti činitele zvukové pohltivosti pro pohltivé prvky pro variantu 1 v porovnání s plnou plochou 10 m<sup>2</sup>

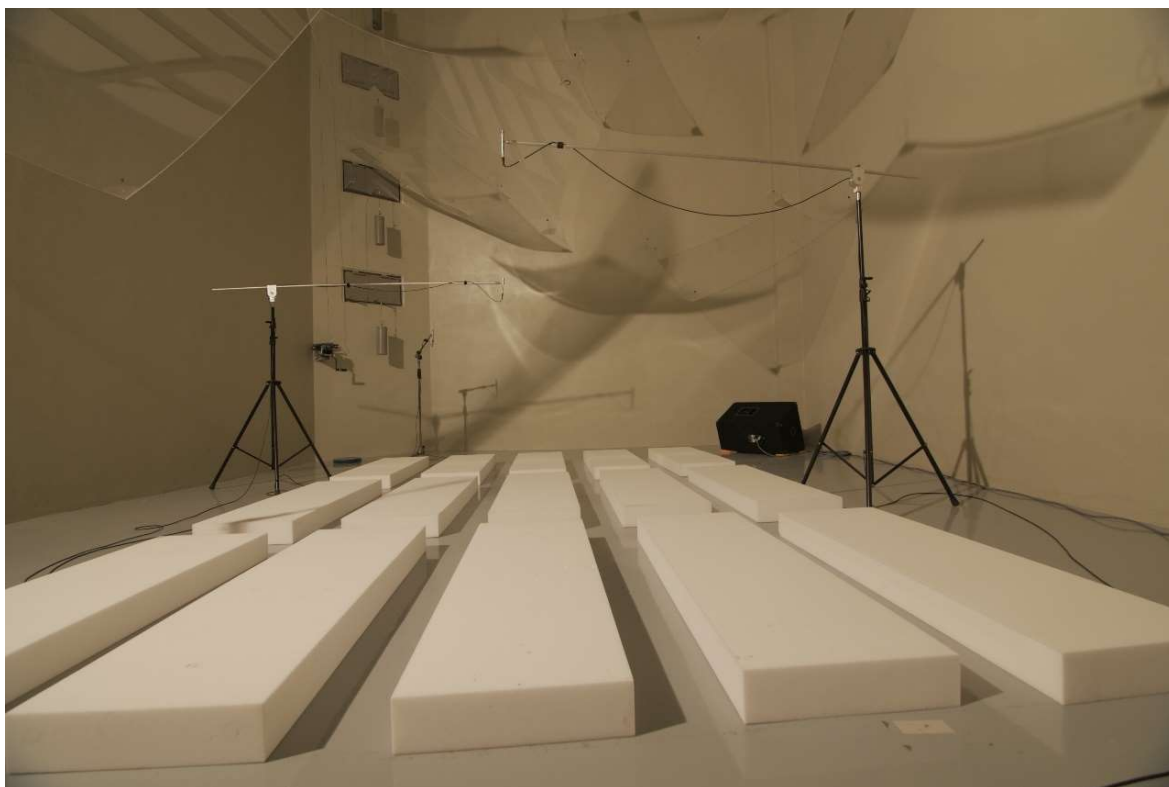
Na obrázku 16 je graf s porovnáním činitele pohltivosti  $\alpha_s$  pro konfiguraci – 10 m<sup>2</sup> a variantu 1 – šachovnice. Je zde vidět, že na celém spektru frekvencí má větší činitel pohltivosti  $\alpha_s$  konfigurace 10 m<sup>2</sup>. Jejich maximální rozdíl se vyskytuje na vyšších frekvencích a jeho přibližná hodnota je 0,3. Protože byla využita pouze polovina materiálu je 30% zhoršení považované za zvýšení hodnoty poměru cena/výkon.

### 3.3.2 Varianta 2 – mezery 200 mm

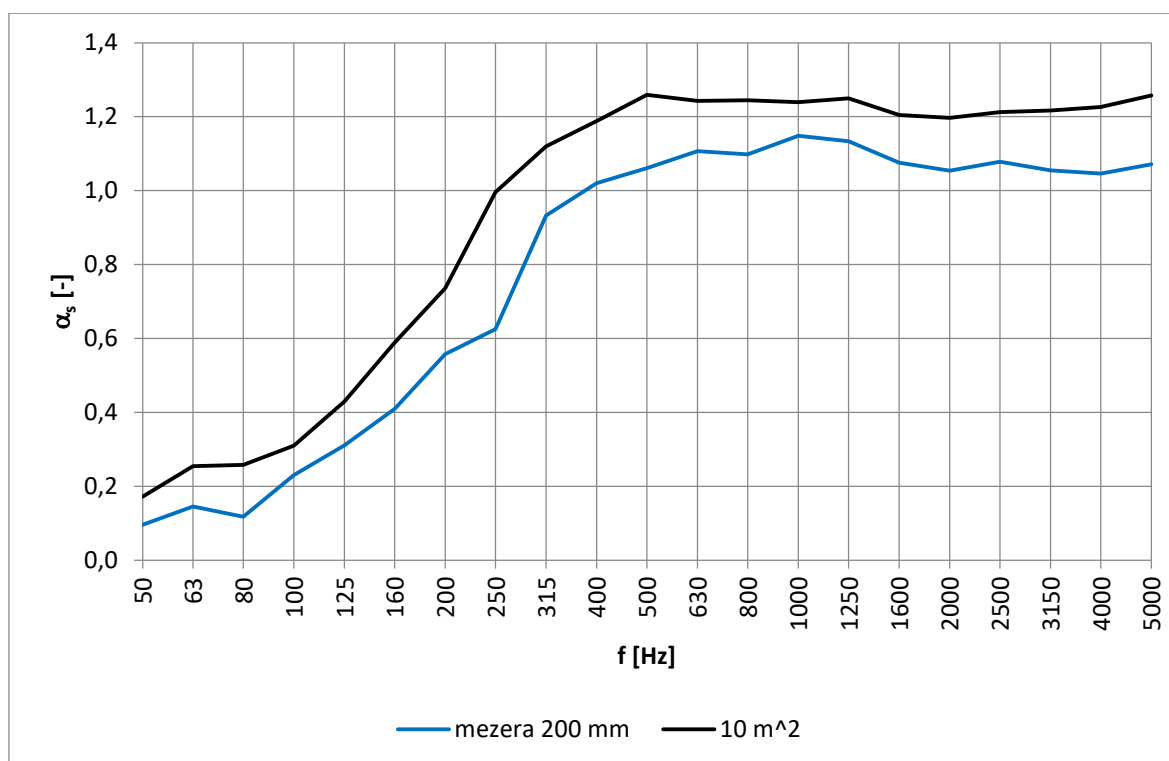
U této konfigurace byly prvky rozmístěny (viz půdorys na obr. 17) v oblasti s obsahem plochy, jenž se blíží 11,5 m<sup>2</sup>. Avšak zde mezi jednotlivými dílčími prvky byly mezery 200 mm a k realizaci se použito menší množství materiálu, přesněji 15 kusů. Fotky z tohoto měření jsou na obr. 18 a v příloze jako A.6.



Obr. 17: Půdorys – konfigurace akustických prvků s mezerami 200 mm



Obr. 18: Fotka konfigurace akustických prvků s mezerami 200 mm

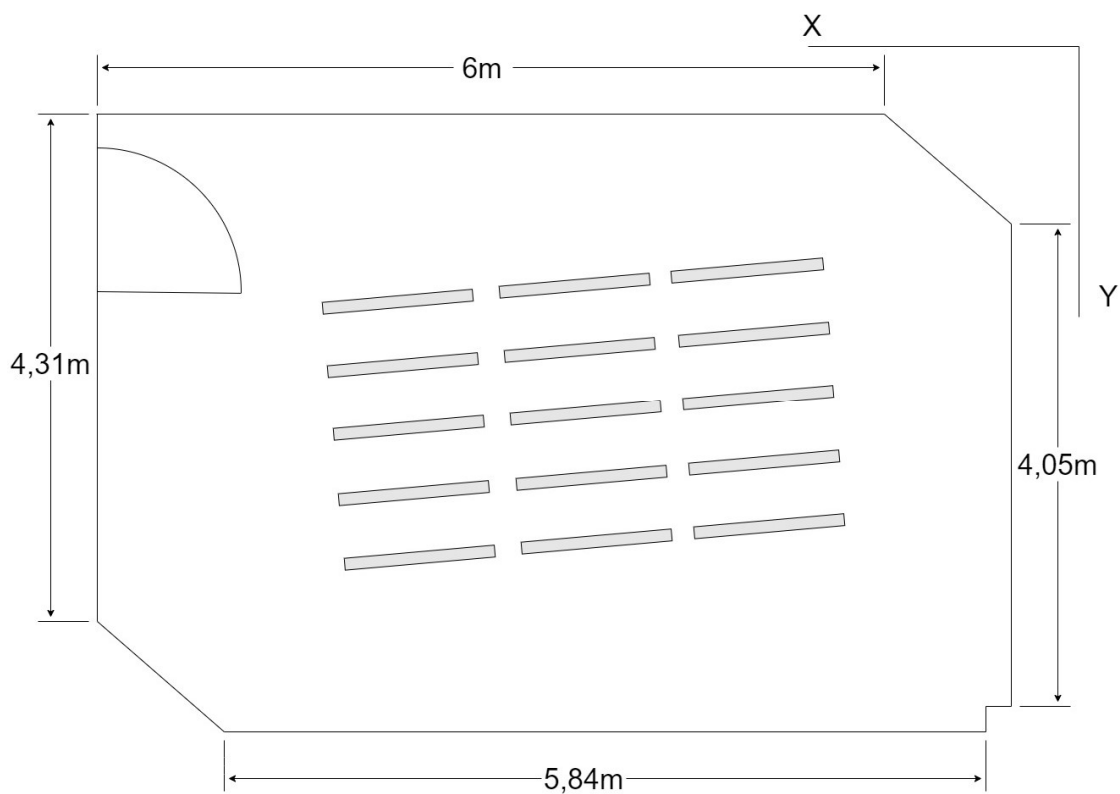


Obr. 19: Zobrazení frekvenční závislosti činitele zvukové pohltivosti pro pohltivé prvky pro variantu 2 s porovnáním s plnou plochou 10 m<sup>2</sup>

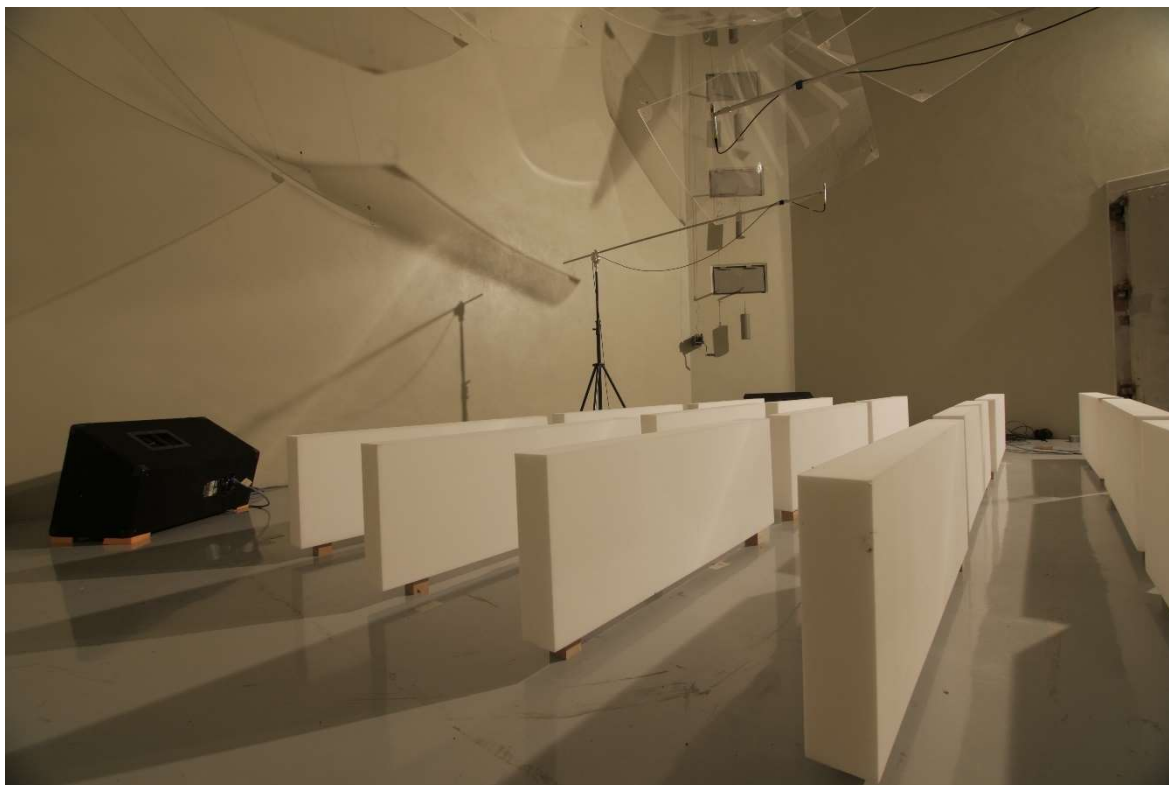
Obrázek 19 obsahuje graf, na kterém je znázorněn průběh činitelů zvukové pohltivosti varianty 2 a konfigurace – 10 m<sup>2</sup>. Oproti konfiguraci 10 m<sup>2</sup> je průměrná účinnost varianty 2 zhruba o 0,2 menší. Tato hodnota představuje na frekvencích od 400 Hz asi 12% rozdíl. Použité množství materiálu pro variantu 2 je zhruba 71 % oproti konfiguraci – 10 m<sup>2</sup>. Vzhledem k množství použitého materiálu je poměr cena/výkon na středních a vysokých frekvencích varianty 2 lepší než konfigurace – 10 m<sup>2</sup>. Na nízkých frekvencích je to naopak. Dále varianta 2 požaduje více prostoru a to o 1,3 m<sup>2</sup>.

### 3.3.3 Varianta 3 – svislá s mezerami 200 mm a 400 mm, 15 kusů

Pro třetí konfiguraci se zvětšily mezery mezi dílčími prvky na 400 mm a dílčí prvky byly rozmístěny svisle. Prvků bylo 15 a jejich konfigurace zabírala plochu zhruba 9,3 m<sup>2</sup>. Půdorys konfigurace je znázorněn na obr. 20. Fotky z měření pro tuto konfiguraci jsou uvedeny jako obr. 21 a poté v příloze jako A.7.

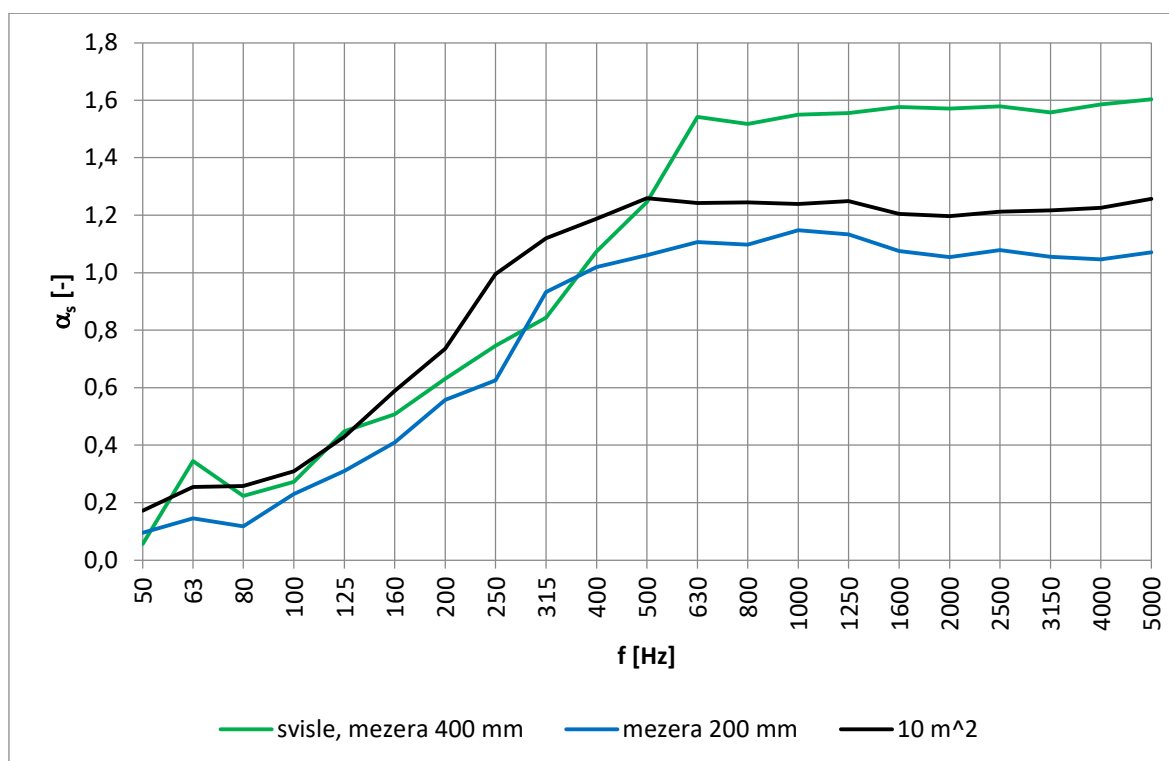


Obr. 20: Půdorys – konfigurace akustických prvků svisle s mezerami 200 mm (sloupce) a 400 mm (řádky)



Obr. 21: Fotka pro konfiguraci akustických prvků svisle s mezerami 200 mm a 400 mm



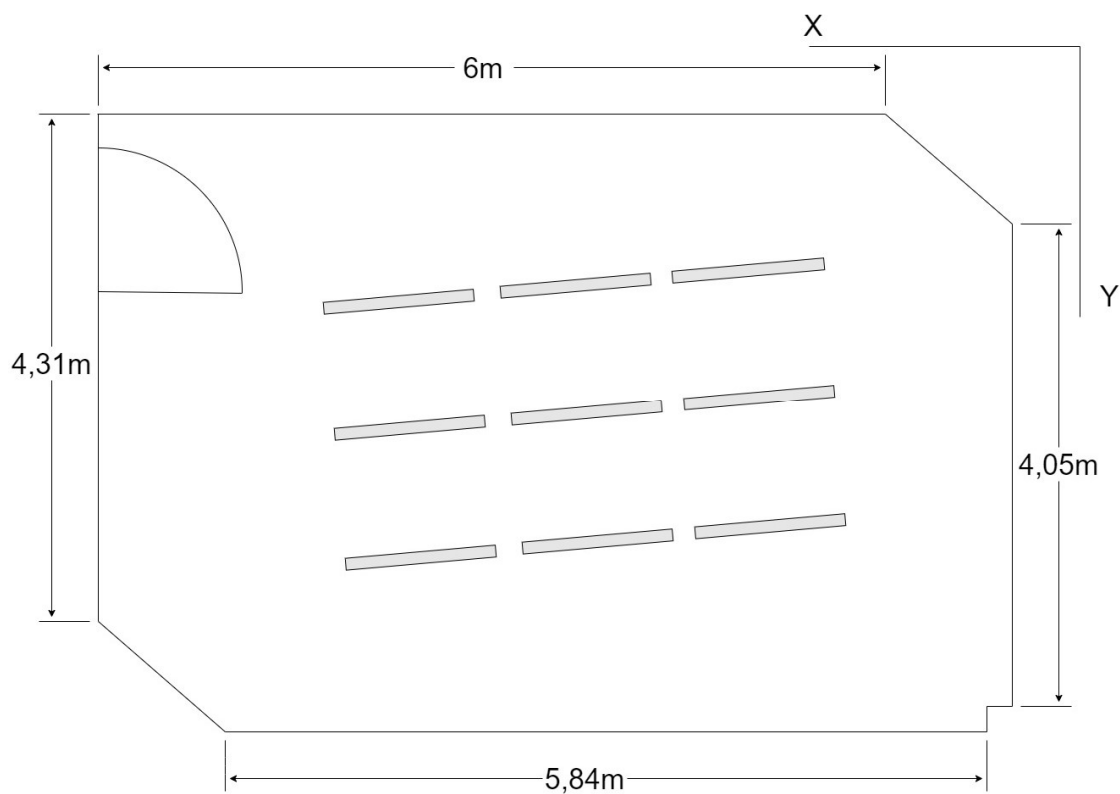


Obr. 22: Zobrazení frekvenční závislosti činitele zvukové pohltivosti pro pohltivé prvky pro variantu 3 s porovnáním s variantou 2 a s plnou plochou 10 m<sup>2</sup>

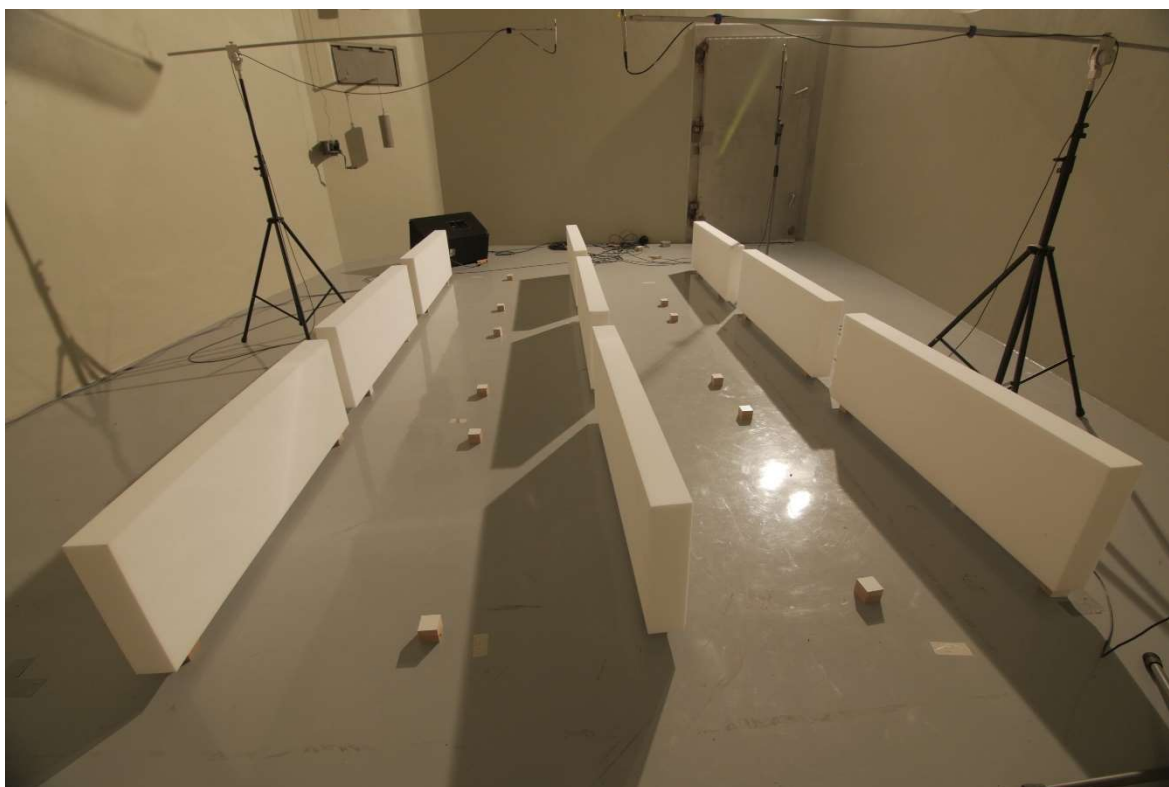
Varianta 3 je na první pohled neúčinnější na vysokých frekvencích ze znázorněných konfigurací na obrázku 22. A to se stejným množstvím použitých akustických prvků (15 kusů) jako varianta 2. Vzhledem k svislému umístění akustických prvků je zabraná plocha menší o 3 m<sup>2</sup> oproti variantě 2 i přestože jsou zde větší mezery. Varianta 2 je s nižším činitelem pohltivosti  $\alpha_s$  na všech frekvencích kromě 315 Hz. Na frekvencích od 160 Hz do 500 Hz je činitel pohltivosti  $\alpha_s$  nižší na variantě 3 v porovnání s konfigurací – 10 m<sup>2</sup>.

### 3.3.4 Varianta 4 – svislá s mezerami 200 mm a 895 mm, 9 kusů

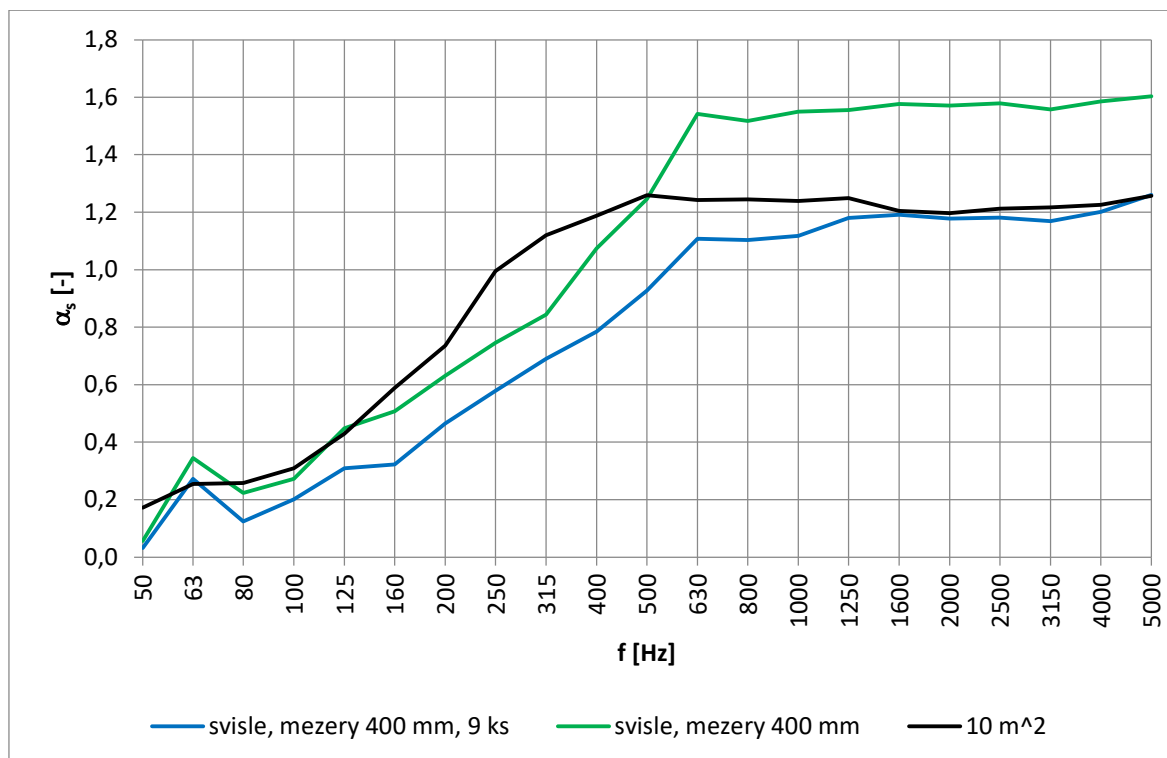
V další, tedy čtvrté konfiguraci, byl ponechán způsob rozmístění svisle. Také zůstala plocha 8,5 m<sup>2</sup> ve které je tato konfigurace rozmístěna, ale množství jednotlivých tlumících prvků bylo sníženo na 9ks. Fotky z tohoto měření jsou na obr. 24 a druhá je v příloze jako obr. A.8.



Obr. 23: Půdorys – konfigurace akustických prvků svisle s mezerami 200 mm (sloupcově) a 895 mm (řádkově)



Obr. 24: Fotka pro konfiguraci akustických prvků svisle s mezerami 200 mm (sloupcově) a 895 mm (řádkově)

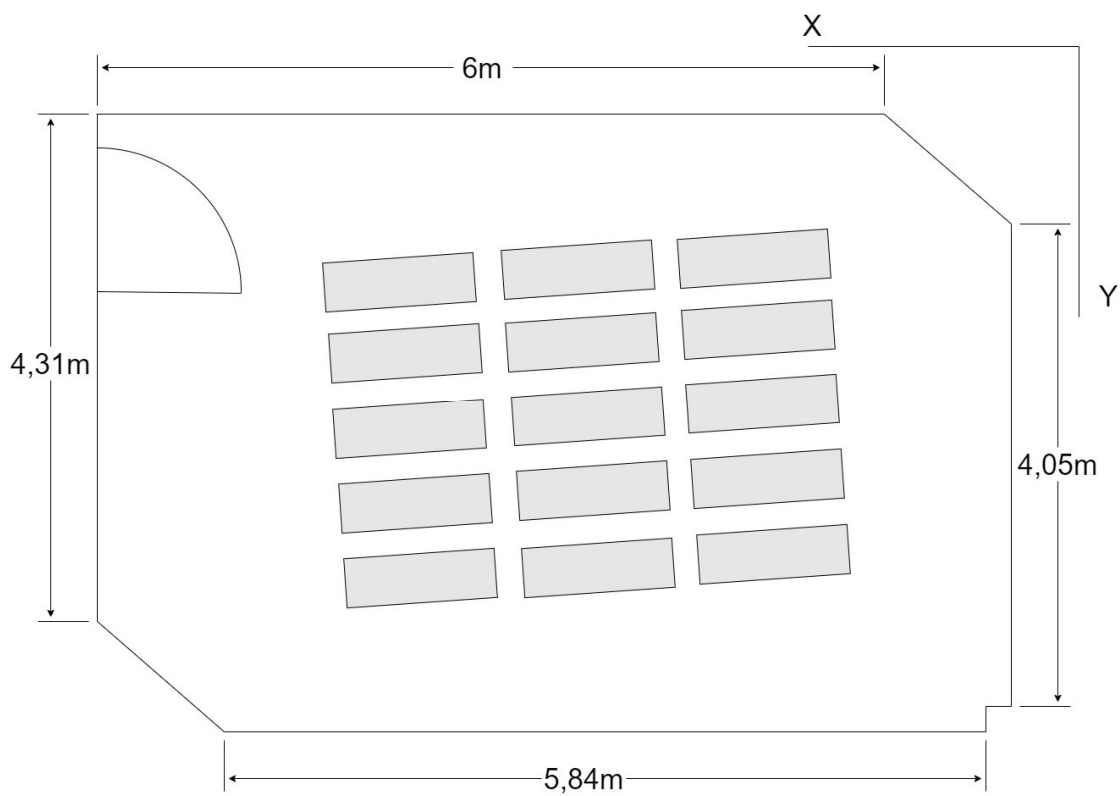


Obr. 25: Zobrazení frekvenční závislosti činitele zvukové pohltivosti pro pohltivé prvky pro variantu 4 s porovnáním s variantou 3 a s plnou plochou 10 m<sup>2</sup>

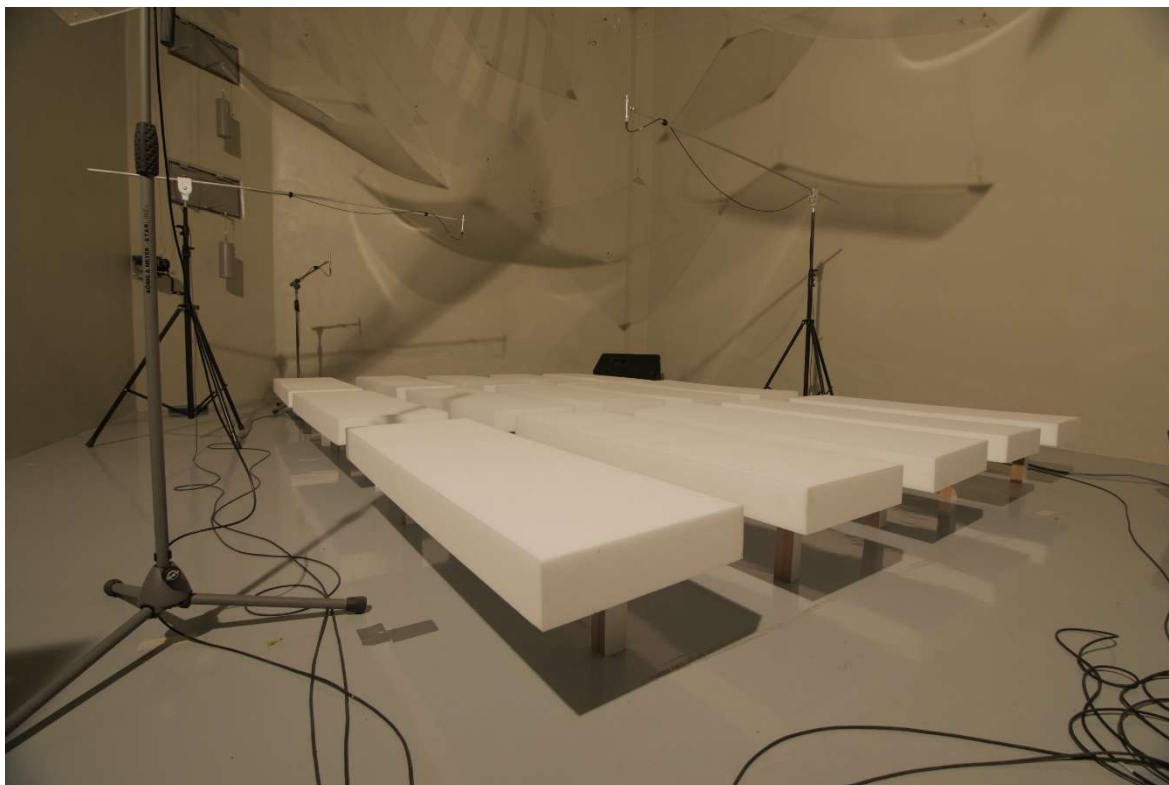
Z obrázku 25 lze vyčíst, že varianta 4 má téměř shodný průběh závislosti  $\alpha_s$  a frekvence jako varianta 3, akorát varianta 4 jako by byla násobena koeficientem. Na vysokých frekvencích se vyrovnává s konfigurací – 10 m<sup>2</sup>. To přibližně s 43 % použitého materiálu.

### 3.3.5 Varianta 5 – mezery 200 mm a podložení 200 mm

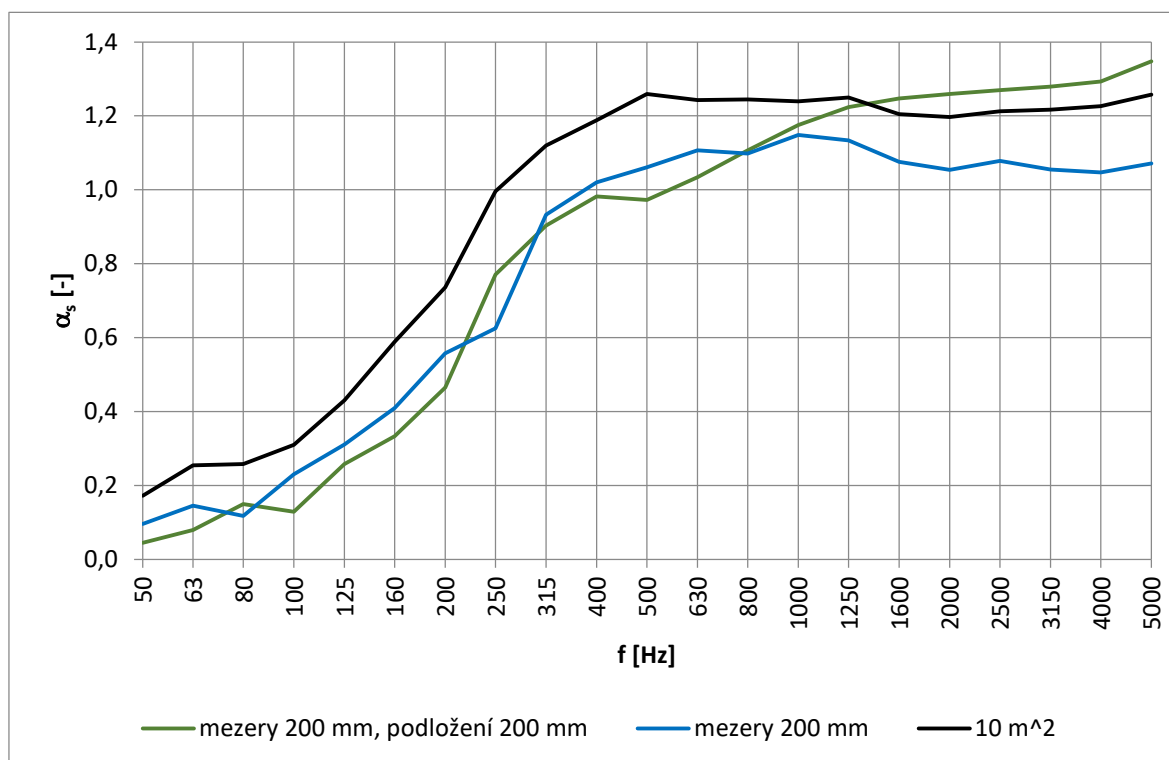
Pátá konfigurace je velmi podobná konfiguraci druhé. To sice tím, že má mezi jednotlivými pohltivými prvky mezery 200 mm. Tentokrát jsou však prvky podložné tak, aby byly 200 mm od povrchu dozvukové komory. Tato podložení nahrazuje svěšení 200 mm od stropu, které se používá v reálných podmínkách. Zabraná plocha tedy byla 11,5 m<sup>2</sup>. Fotky z tohoto měření jsou na obr. 27 a poté v příloze jako obr. A.9 a A.10.



Obr. 26: Půdorys – konfigurace akustických prvků s podložením 200 mm s mezerami 200 mm



Obr. 27: Fotka pro konfiguraci akustických prvků s podložením 200 mm s mezerami 200 mm

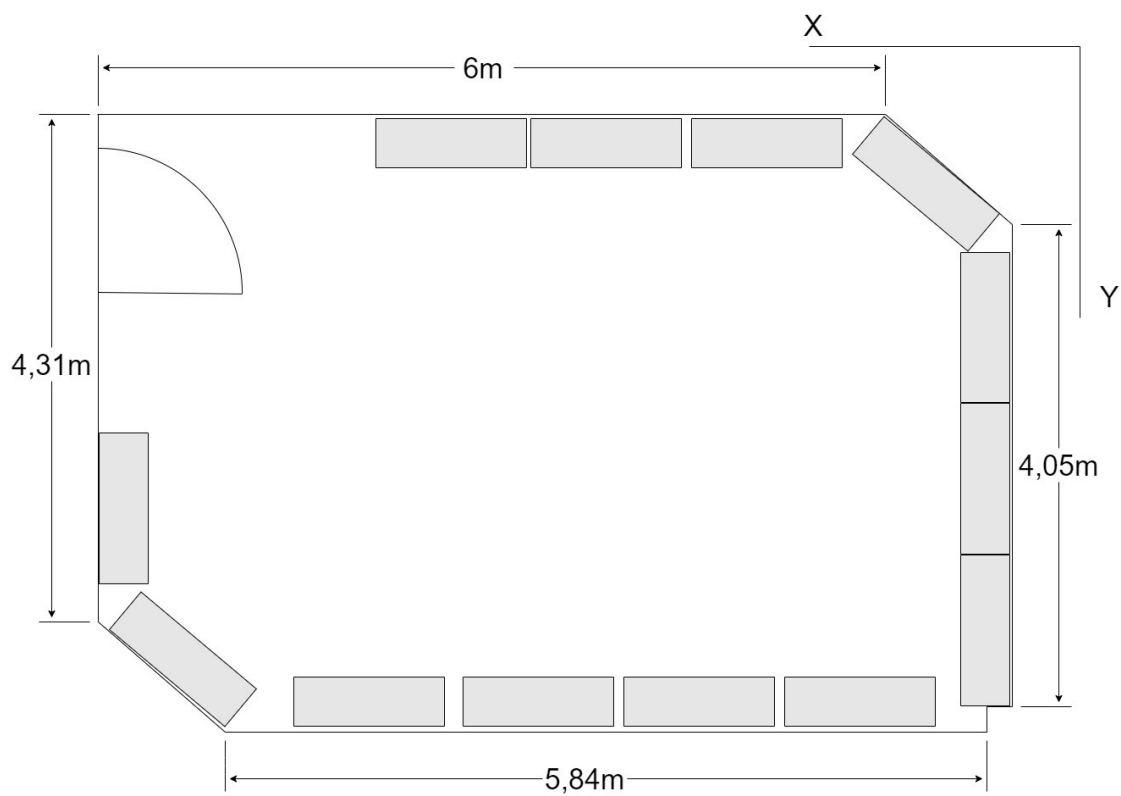


Obr. 28: Zobrazení frekvenční závislosti činitele zvukové pohltivosti pro pohltivé prvky pro variantu 5 s porovnáním s variantou 2 a s plnou plochou 10 m<sup>2</sup>

Varianta 5 se pohybuje hodnotami  $\alpha_s$  velice blízko variantě 2 (viz obrázek 28). Maximální odklon je až do 1000 Hz menší než 10 %. Od frekvence 1250 Hz je zde znát první rozdíl. Činitel pohltivosti  $\alpha_s$  se zde začne odklánět od varianty 2 a převýší konfiguraci – 10 m<sup>2</sup>. Lze tedy usoudit, že podložení pomáhá lépe tlumit zvuky na vysokých frekvencích.

### 3.3.6 Varianta 6 – obložení obvodu komory

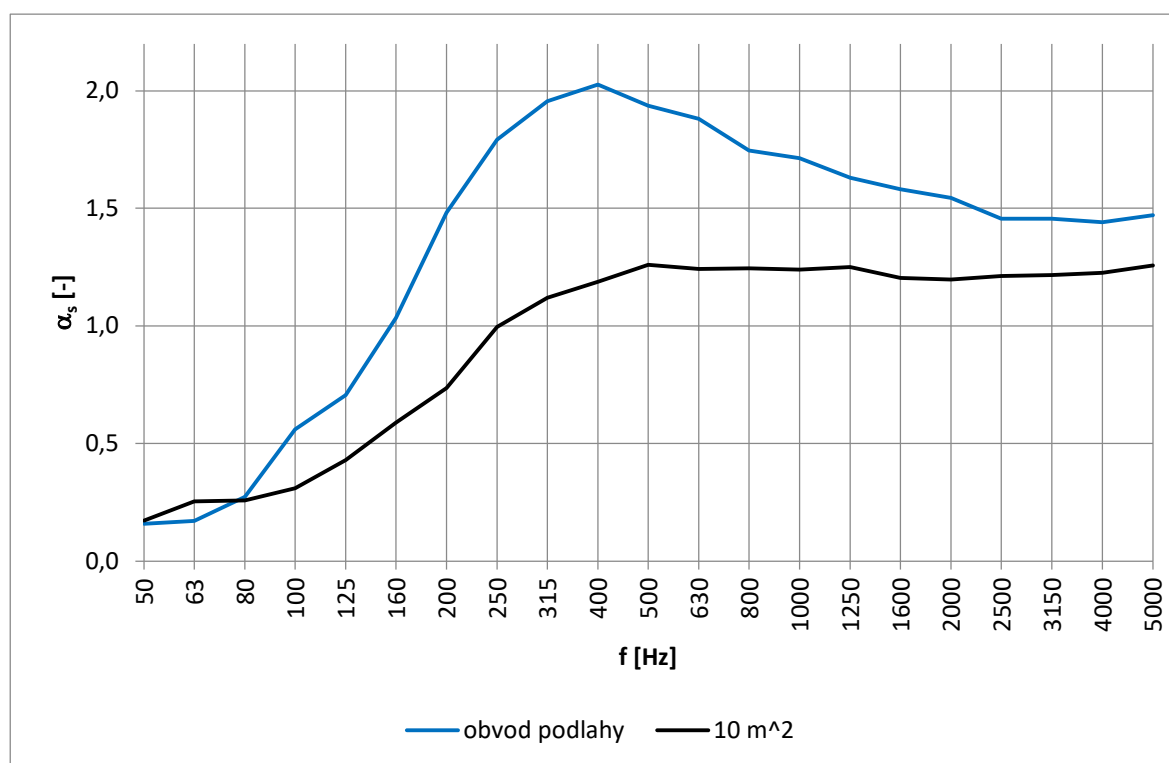
Tato konfigurace odpovídá možnému použití akustických prvků v upravovaném prostoru, ale nevyhovovala v žádném z předpisů měření pohltivosti akustických materiálů dle normy [4]. Dozvuková komora je zde po obvodě podlahy obložena tlumícími prvky (viz půdorys na obrázku 29) Bylo zde použito 13 kusů pohltivého prvku. To znamená použitá plocha je zhruba 6,4 m<sup>2</sup>.



Obr. 29: Půdorys – konfigurace s akustických prvky podél obvodu dozvukové komory



Obr. 30: Fotka pro konfiguraci s akustických prvky vyskládanými podél obvodu dozvukové komory

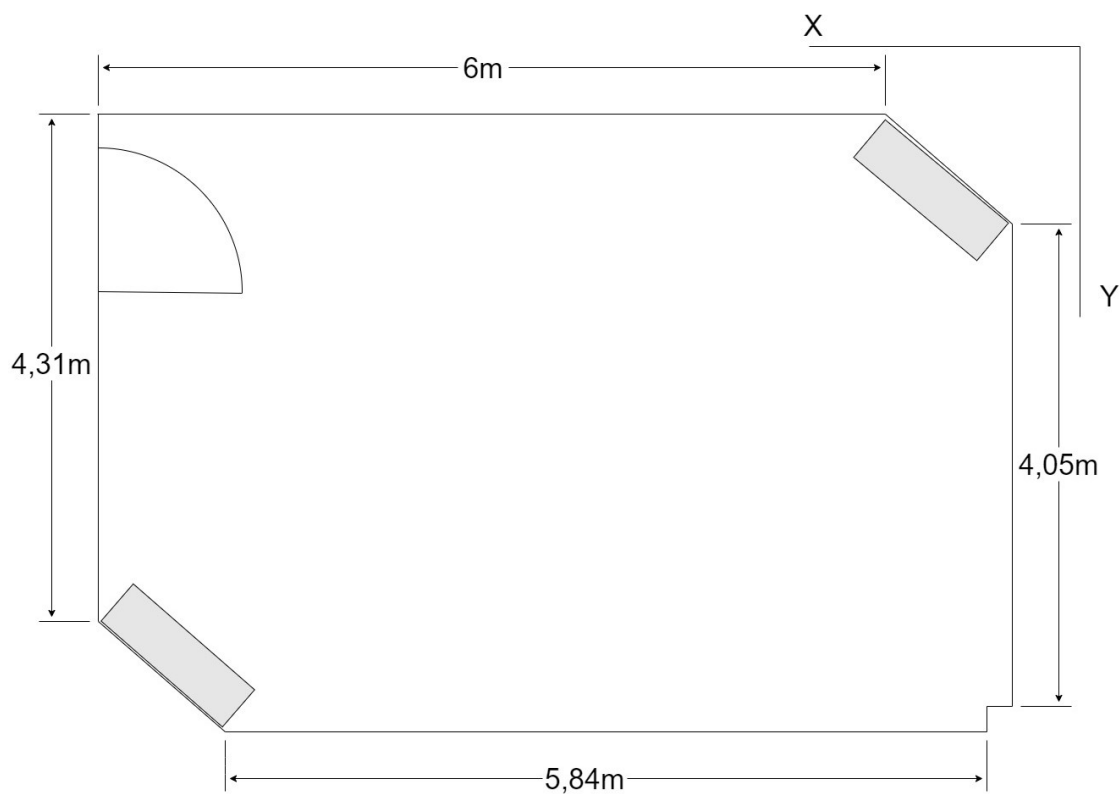


Obr. 31: Zobrazení frekvenční závislosti činitele zvukové pohltivosti pro pohltivé prvky pro variantu 6 s porovnáním s plnou plochou 10 m<sup>2</sup>

Varianta 6 je podle obrázku 31 velmi účinná v tlumení na všech frekvencích oproti konfiguraci – 10 m<sup>2</sup>. Na některých frekvencích téměř dvojnásobně. Na vysokých frekvencích se rozdíl zmenšuje, ale varianta 6 se stále jeví jako mnohem účinnější i na těchto frekvencích.

### 3.3.7 Varianta 7 – naskládání do rohů

Tato konfigurace by jako předchozí (4.2.6) mohla být použita v upravovaných prostorech, ale nevyhovovala by v žádném z požadavků měření podle normy [4]. Do šikmých rohů dozvukové komory (viz půdorys na obrázku 32) bylo na sebe umístěno 9 kusů používaných akustických prvků. Takto vznikly 2 sloupce o rozměrech 1,23x3,6x0,855 metru se společnou pohltivou plochou 4,5 m<sup>2</sup>. Fotky z tohoto měření jsou obr. 33 a poté fotka druhého sloupce je uvedena jako příloha A.11.

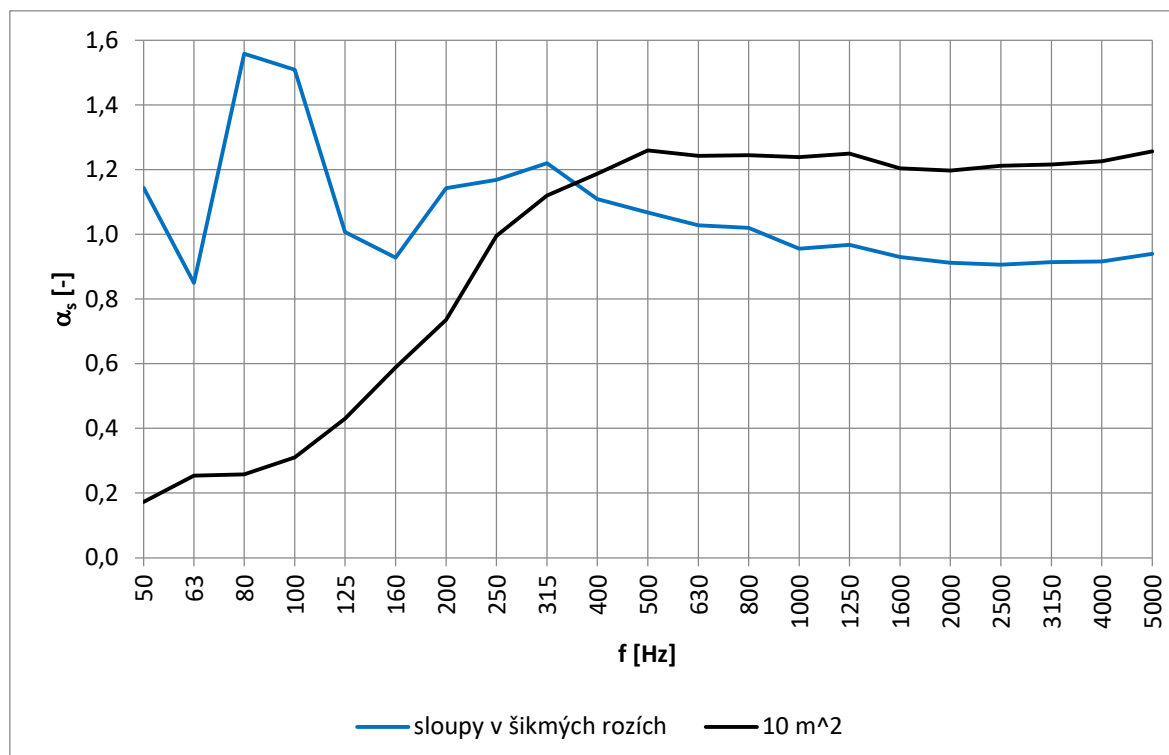


Obr. 32: Půdorys – konfigurace s akustickými prvky naskládanými do sloupců v šikmých rozích dozvukové komory



Obr. 33: Fotka akustických prvků naskládaných do jednoho ze sloupců varianty 7





Obr. 34: Zobrazení frekvenční závislosti činitele zvukové pohltivosti pro pohltivé prvky pro variantu 7 s porovnáním s plnou plochou 10 m<sup>2</sup>

Varianta 7 má vysoký činitel pohltivosti  $\alpha_s$  především na nízkých frekvencích (viz obrázek 34). Na středních a vysokých frekvencích se  $\alpha_s$  snižuje a začíná ztrácet účinnost oproti konfiguraci – 10 m<sup>2</sup>.

## Závěr

Tato bakalářská práce si klade za cíl zjistit výhody různých konfigurací jednoho druhu akustického tlumícího prvku (melaminové desky) na činitel zvukové pohltivosti. První část je teoretická. Věnuje se prostudování principu a možnostem metod měření činitele zvukové pohltivosti v dozvukové komoře. Tato část vychází z normy ČNS EN ISO 354, která se zabývá zmíněnou problematikou. Pro druhou část byl proveden průzkum trhu řešení od různých výrobců a běžně používaných rozmístění v aplikacích prostorové akustiky. Třetí část společně se čtvrtou se již dostávají k měření a porovnávání výsledků. Pro třetí část to znamená měření vlivu velikosti měřené plochy na správnost výsledného činitele zvukové pohltivosti. Zde se pro měřenou plochu zabranou množstvím akustických tlumících prvků měřila závislost doby dozvuku na frekvenci. Z těchto dob dozvuku se pomocí vzorců uvedených v první části dopočítal činitel zvukové pohltivosti  $\alpha_s$ . Tyto dopočítané hodnoty se nadále porovnávaly pro různé plochy. Čtvrtá část byla měřena stejným způsobem jako třetí.

Z měření pro třetí část vyplývá, že nepočítají-li se okraje akustického pohltivého prvku, bude se snižujícím se počtem prvků růst činitel zvukové pohltivosti  $\alpha_s$ . Počítá-li se podle normy, dojde k použití odrazivé ohrádky kolem měřeného prvku. Lze tedy usoudit, že se snižující se zabranou plochou prvky, se bude také snižovat správnost výsledků, která tato měření poskytnou. Započítáním plochy hrany vzorku lze korigovat reálnou pohltivou plochu, tak aby došlo ke snížení nepřesností

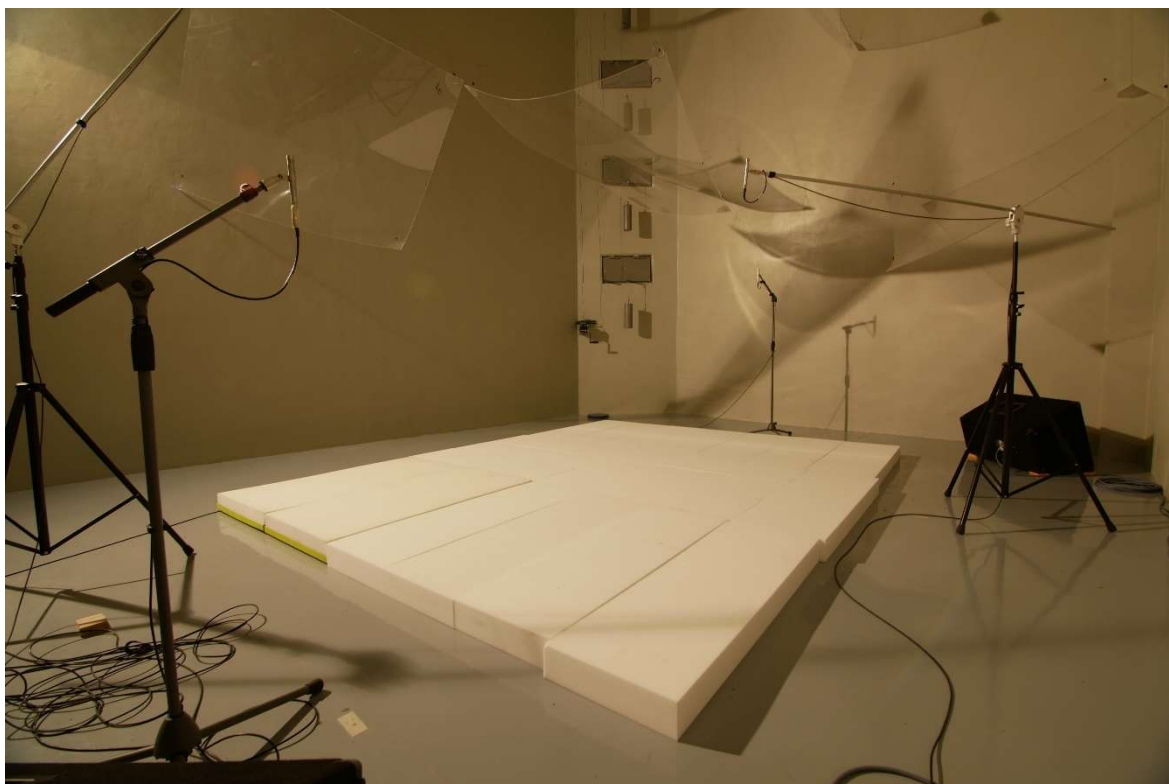
Měření různých variant rozmístění stejných akustických prvků vykazalo různé frekvenční průběhy činitele zvukové pohltivosti. Na jejich základě je tedy možné vybrat vhodnou variantu pro tlumení požadovaného frekvenčního pásma.

Z výsledků měření pro část 4 je možné usoudit, že pro nejvyšší možnou pohltivost na vysokých frekvencích je zapotřebí vystavit co největší možnou plochou pohltivého akustického prvku dopadajícímu zvuku. Chceme-li naopak dosáhnout nejvyššího možného útlumu na nízkých frekvencích, je zapotřebí, aby akustický prvek měl co největší objem.

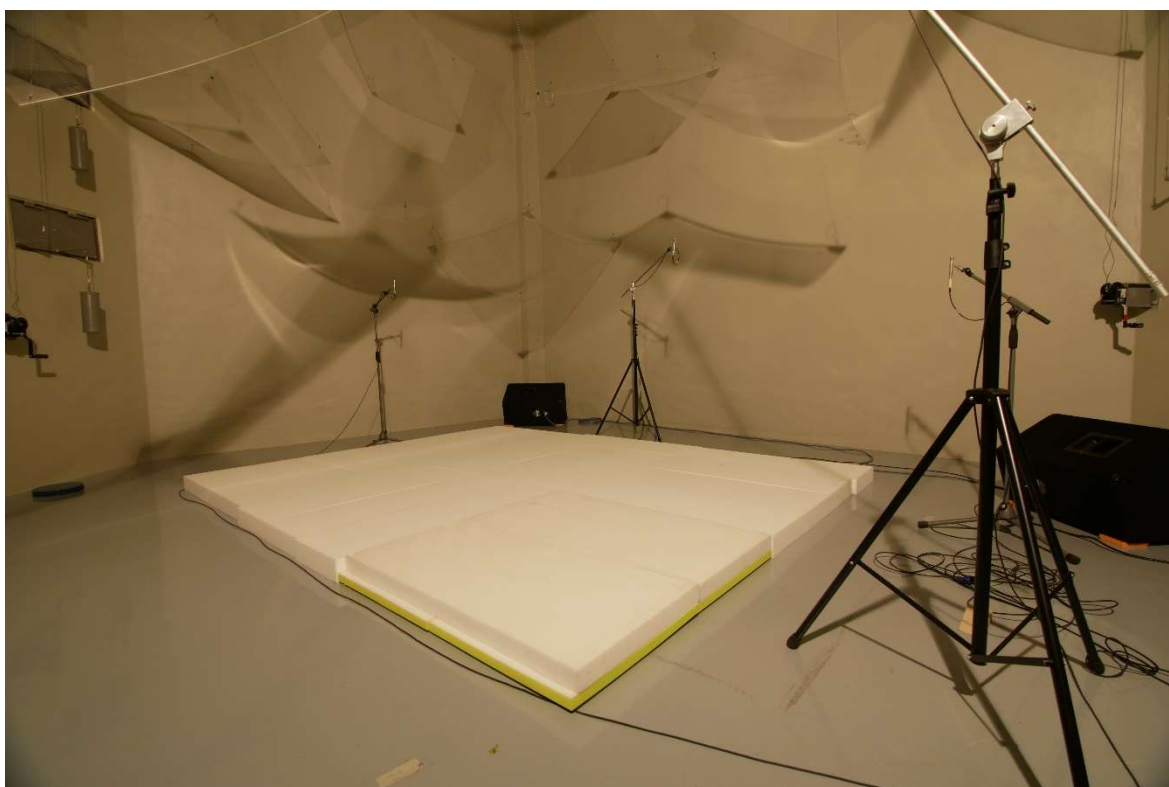
## Seznam literatury a informačních zdrojů

- [1] VAVERKA, Jiří. *Stavební fyzika*. Vyd. 1. Brno : VUTIUM, 1998. ISBN 80-214-1283-6
- [2] KOLMER, Felix a Jaroslav KYNCL. *Prostorová akustika*. 1. vyd. Praha: SNTL, 1980. 242, [1] s.
- [3] KRŇÁK, Milan. *Akustické obklady*. Praha : VÚZORT, 1971.
- [4] ČSN EN ISO 354. *Akustika – Měření zvukové pohltivosti v dozvukové místnosti*. Praha: Český normalizační institut, 2003
- [5] Bouzek, Stanislav. *Návrh akustických úprav malých poslechových prostorů*. Plzeň, 2015. Diplomová práce. Západočeská univerzita v Plzni. Fakulta elektrotechnická. Vedoucí práce Ing. Martin SCHLOSSER.
- [6] EVEREST, F. Alton. *Master handbook of acoustics*. 5th ed. New York: McGrawHill, 2009. ISBN 978-0-07-160332-4.
- [7] BASF Insights | Where business meets science. [online]. Copyright © [cit. 23.05.2021]. Dostupné z: [https://insights.basf.com/files/pdf/Basotect\\_Brochure.pdf](https://insights.basf.com/files/pdf/Basotect_Brochure.pdf)

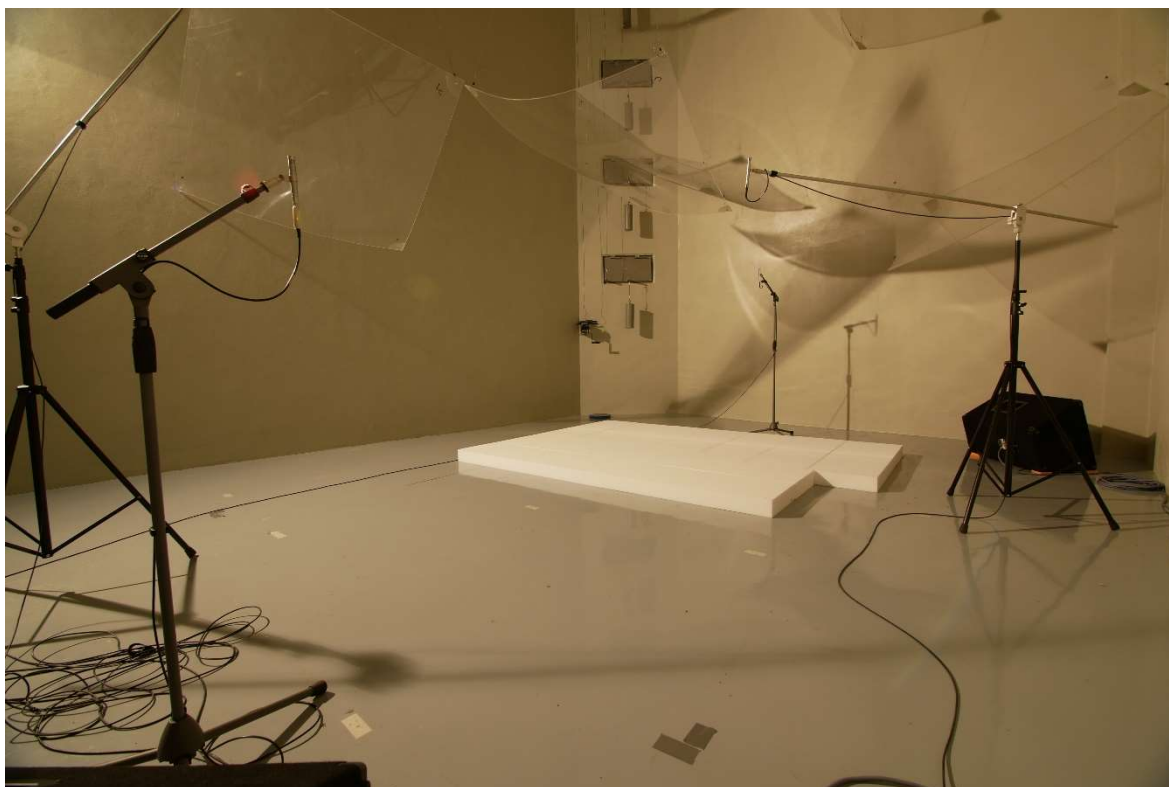
## Příloha A – Obrázky



*Obr. A.1: Pohled na měření konfigurace – 10 m<sup>2</sup>*



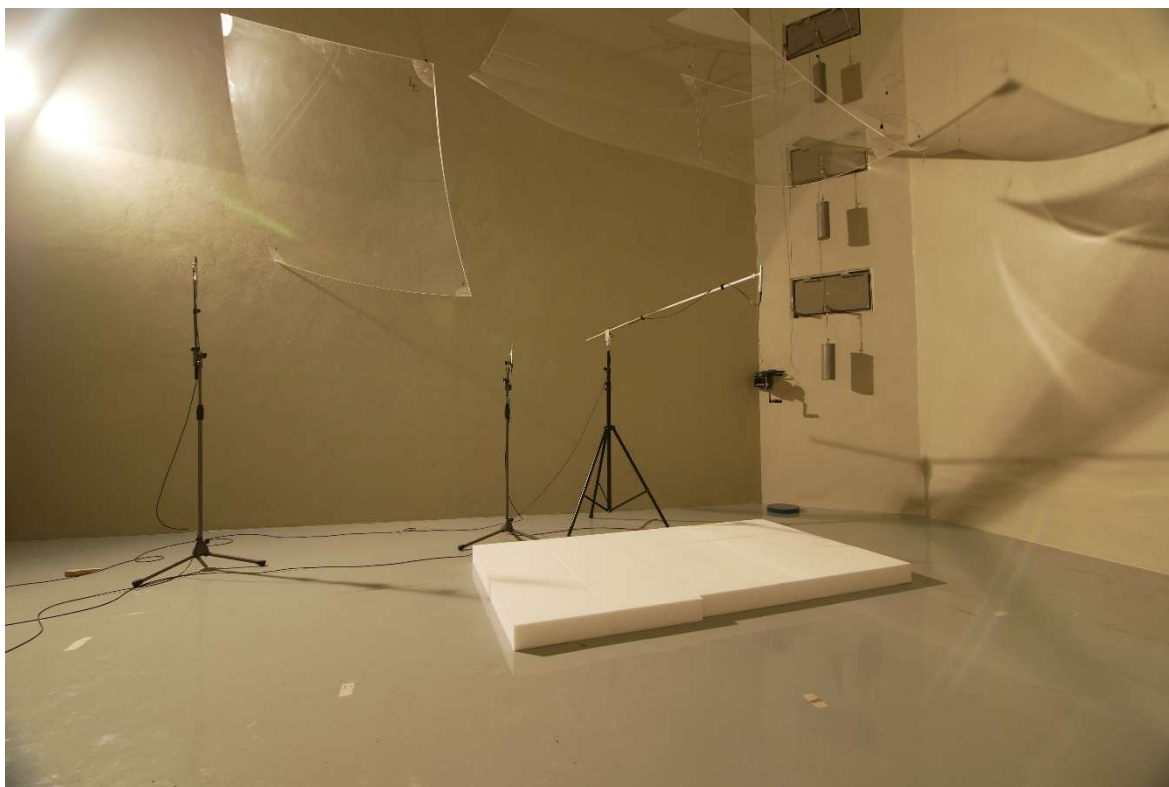
*Obr. A.2: Pohled na měření konfigurace – 10 m<sup>2</sup>*



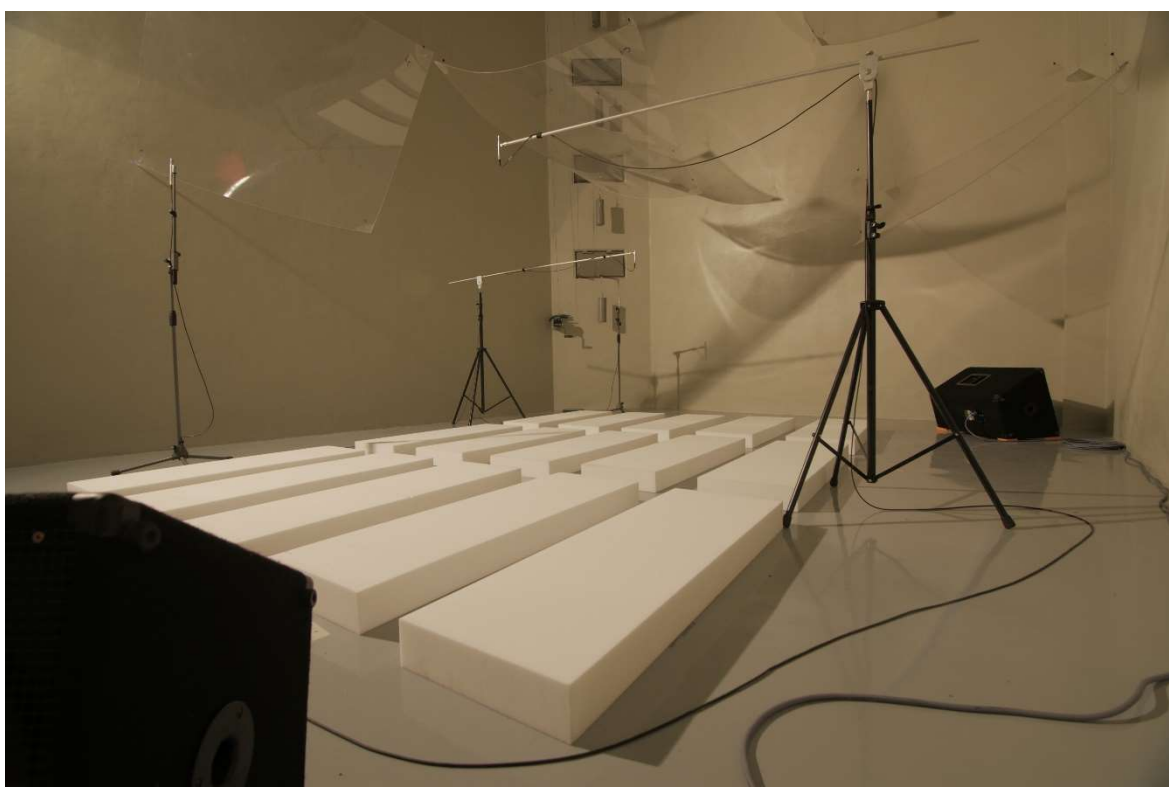
*Obr. A.3: Pohled na měření konfigurace – 5 m<sup>2</sup>*



*Obr. A.4: Pohled na měření konfigurace – 3 m<sup>2</sup>*

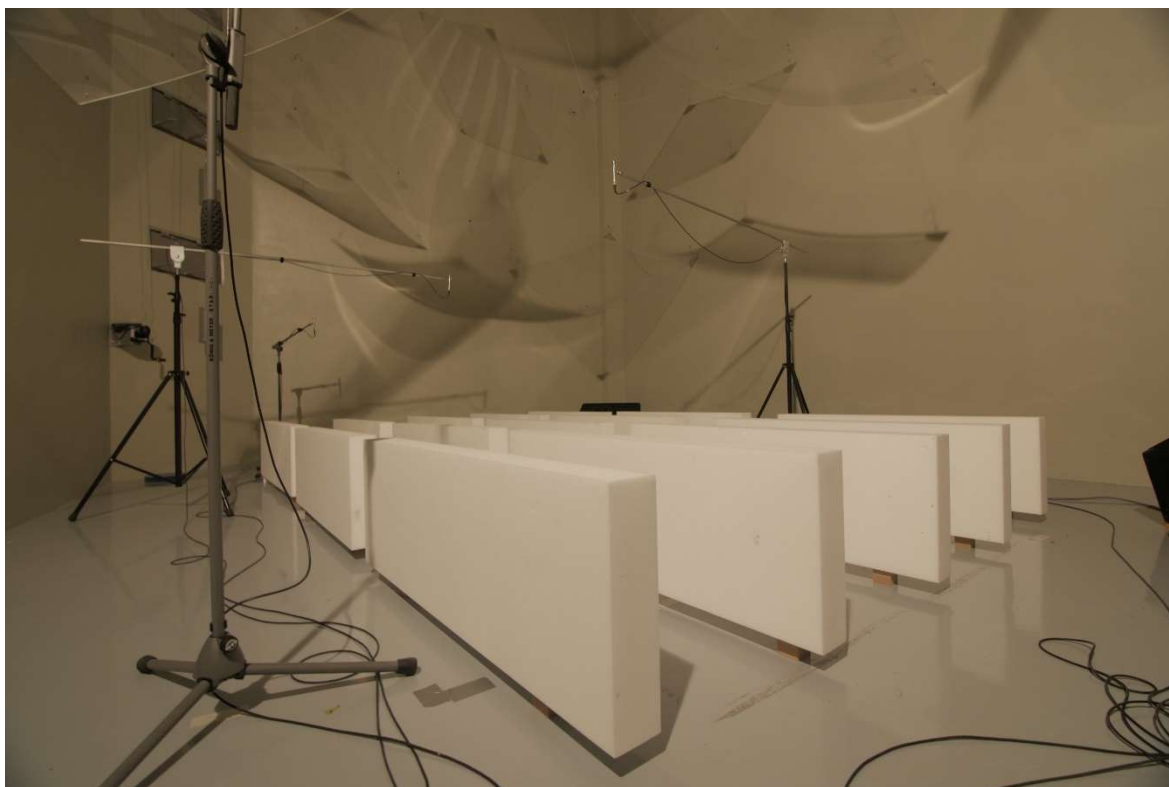


*Obr. A.5: Pohled na měření konfigurace – 3 m<sup>2</sup>*



*Obr. A.6: Fotka z měření varianty 2*

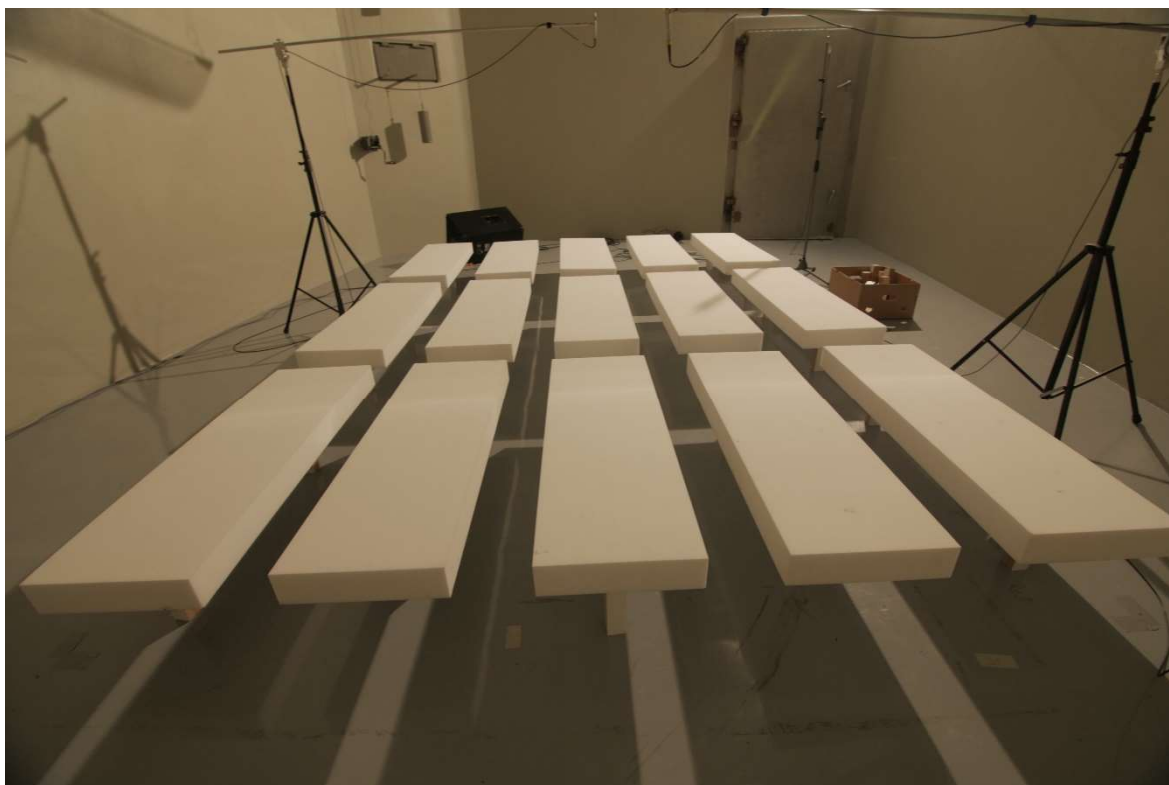




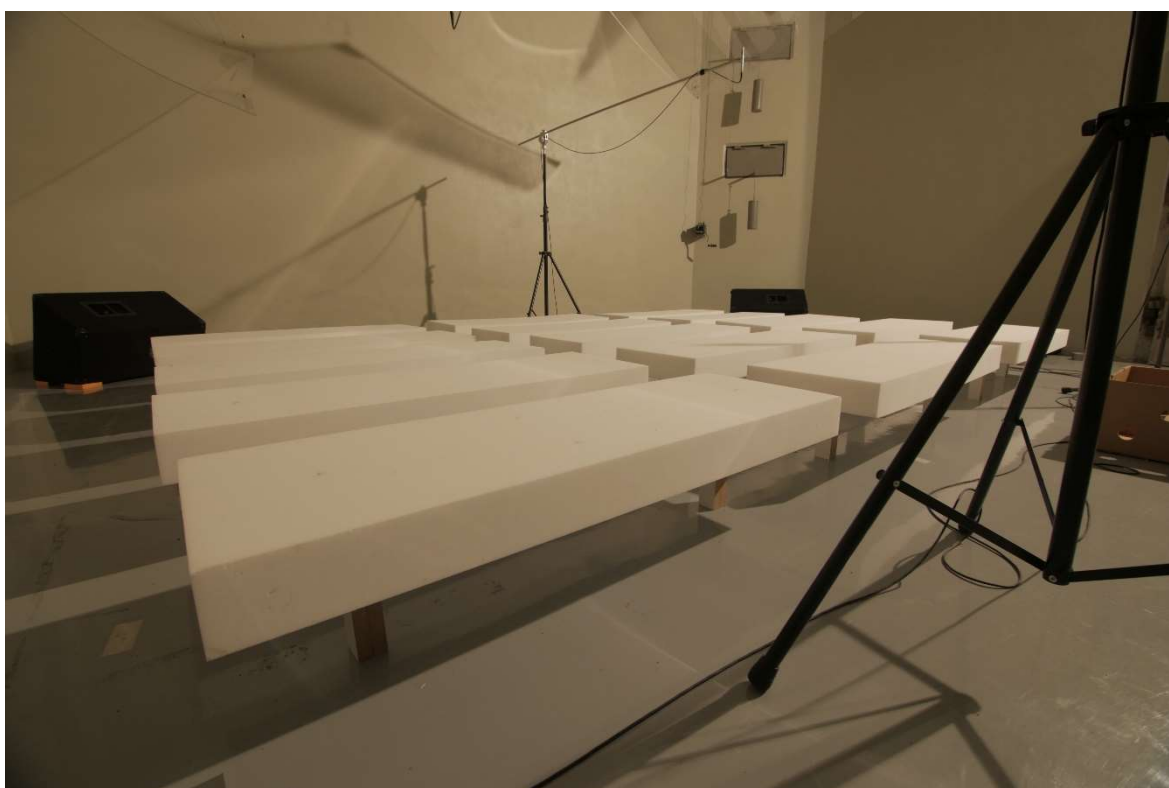
*Obr. A.7: Fotka z měření varianty 3*



*Obr. A.8: Fotka z měření varianty 4*



*Obr. A.9: Fotka z měření varianty 5*



*Obr. A.10: Fotka z měření varianty 5*





*Obr. A.11: Fotka z měření varianty 7*

## Příloha B – Tabulky

Tab. B.1: Mikrofony, jejich skupiny a rozmístění pro měření 3.2

Skupina	Mikrofon	Mikrofon v PULSE	x [m]	y [m]	z [m]
1	M2	2	1,30	2,64	1,60
1	M3	4	3,70	3,84	1,70
1	M4	1	5,30	3,64	1,30
1	M5	3	5,00	2,04	2,60
2	M6	3	3,90	2,64	1,80
2	M7	1	2,70	4,24	2,10
2	M9	4	2,50	3,04	1,50
2	M10	2	1,30	1,44	1,30
3	M11	1	5,00	1,04	1,80
3	M12	3	2,10	2,24	1,50
3	M13	4	1,70	3,64	2,60
3	M16	2	3,30	1,24	1,30

Tab. B.2: Mikrofony a jejich rozmístění pro měření 3.3

Mikrofon	Mikrofon v PULSE	x [m]	y [m]	z [m]
M6	4	3,9	2,64	1,8
M10	2	1,3	1,44	1,3
M11	1	5	1,04	1,8
M12	3	2,1	2,24	1,5

Tab. B.3: Hodnoty  $\alpha_s$  v závislosti na frekvenci pro měření 3.2

Frekvence [Hz]	Bez započítaných hran do obsahu			Se započítanými hrany do obsahu		
	$\alpha_s$ 10 m <sup>2</sup>	$\alpha_s$ 5 m <sup>2</sup>	$\alpha_s$ 3 m <sup>2</sup>	$\alpha_s$ 10 m <sup>2</sup>	$\alpha_s$ 5 m <sup>2</sup>	$\alpha_s$ 3 m <sup>2</sup>
50	0,17	0,25	0,27	0,15	0,22	0,24
63	0,25	0,22	0,30	0,23	0,20	0,24
80	0,26	0,27	0,32	0,23	0,24	0,27
100	0,31	0,40	0,34	0,27	0,35	0,33
125	0,43	0,43	0,44	0,38	0,38	0,39
160	0,59	0,55	0,56	0,52	0,48	0,46
200	0,74	0,89	0,72	0,65	0,78	0,58
250	1,00	1,04	1,00	0,88	0,92	0,81
315	1,12	1,23	1,15	0,99	1,09	0,90
400	1,19	1,29	1,42	1,05	1,14	1,11
500	1,26	1,31	1,55	1,12	1,16	1,22
630	1,24	1,37	1,59	1,10	1,22	1,26
800	1,24	1,36	1,55	1,11	1,21	1,22
1000	1,24	1,35	1,50	1,10	1,19	1,18
1250	1,25	1,33	1,50	1,11	1,17	1,17
1600	1,20	1,29	1,46	1,07	1,14	1,16
2000	1,20	1,30	1,39	1,06	1,15	1,12
2500	1,21	1,29	1,38	1,08	1,14	1,11
3150	1,22	1,31	1,41	1,08	1,16	1,17
4000	1,23	1,34	1,37	1,09	1,19	1,20
5000	1,26	1,39	1,38	1,12	1,23	1,28

Tab. B.4: Hodnoty  $\alpha_s$  v závislosti na frekvenci pro měření 3.3

Frekvence [Hz]	$\alpha_s$ var. 1	$\alpha_s$ var. 2	$\alpha_s$ var. 3	$\alpha_s$ var. 4	$\alpha_s$ var. 5	$\alpha_s$ var. 6	$\alpha_s$ var. 7
50	0,07	0,10	0,04	0,02	0,05	0,16	1,14
63	0,14	0,15	0,35	0,27	0,08	0,17	0,85
80	0,12	0,12	0,29	0,09	0,15	0,27	1,56
100	0,16	0,23	0,36	0,26	0,13	0,56	1,51
125	0,28	0,31	0,44	0,32	0,26	0,71	1,01
160	0,35	0,41	0,51	0,32	0,33	1,03	0,93
200	0,49	0,56	0,66	0,49	0,46	1,48	1,14
250	0,61	0,63	0,78	0,60	0,77	1,79	1,17
315	0,84	0,93	0,84	0,66	0,90	1,95	1,22
400	0,89	1,02	1,07	0,80	0,98	2,03	1,11
500	0,98	1,06	1,25	0,96	0,97	1,94	1,07
630	1,02	1,11	1,51	1,10	1,03	1,88	1,03
800	1,03	1,10	1,52	1,11	1,11	1,75	1,02
1000	1,02	1,15	1,57	1,10	1,18	1,71	0,96
1250	0,98	1,13	1,57	1,19	1,22	1,63	0,97
1600	0,93	1,08	1,60	1,22	1,25	1,58	0,93
2000	0,92	1,05	1,58	1,20	1,26	1,54	0,91
2500	0,90	1,08	1,55	1,16	1,27	1,46	0,91
3150	0,88	1,05	1,55	1,16	1,28	1,46	0,91
4000	0,88	1,05	1,58	1,18	1,29	1,44	0,92
5000	0,91	1,07	1,53	1,18	1,35	1,47	0,94