

# Akustická studie

AVT GROUP 

KONZULTACE | PROJEKTY | REALIZACE

## Studie prostorové akustiky

### Akce:

### VÍCEÚČELOVÝ SÁL

ul. Opletalova, Praha 1

#### Objednatel:

TOR-IN spol. s r.o.

Tomáš Ric

Vysoká Pec 139

262 41 Bohutín

IČO: 49551329

#### Číslo zakázky:

2200009

#### Datum:

01/2022

#### Vypracoval:

Ing. Miroslav Dostál

M +420 774 717 244

E md@avtg.cz



## Obsah

Obsah.....	2
1 Úvod.....	3
2 Seznam použitých zkratk a symbolů.....	3
3 Legislativa a použité podklady .....	4
4 Vstupní požadavky .....	4
5 Metodika měření.....	5
6 Výsledky měření.....	5
7 Návrh akustických úprav.....	7
7.1. Obklad stropu .....	7
7.2. Obklad stěn.....	7
7.3. Další doporučené akustické úpravy .....	7
8 Závěr.....	9
9 Specifikace navržených akustických materiálů.....	10

## 1 Úvod

Tato studie popisuje návrh řešení prostorové akustiky víceúčelového sálu na ulici Opletalova 919/5 v Praze. Podkladem pro návrh akustických úprav bylo vstupní měření doby dozvuku řešeného prostoru, které proběhlo dne 21. prosince 2021. Úkolem práce byl návrh akustických úprav tak, aby se zlepšily poslechové podmínky ve vnitřním prostoru sálu vzhledem k uvažovanému využití. Na základě výpočtů kmitočtových závislostí dob dozvuku jsou specifikovány potřebné plochy a parametry akustických prvků.

Podkladem pro vytvoření akustického výpočtového modelu byla část výkresové dokumentace dodaná objednatelem a vlastní detailní zaměření geometrie prostoru 3D scannerem, které proběhlo 14. ledna 2022.

Pro posouzení jsou použity příslušné normy ČSN a odborná literatura.

## 2 Seznam použitých zkratek a symbolů

$f$	(Hz)	-	frekvence
$T$	(s)	-	doba dozvuku
$T_0$	(s)	-	optimální doba dozvuku
$T_{20}$	(s)	-	doba dozvuku určená z poklesu v rozmezí 5 dB až 25 dB
$T_{30}$	(s)	-	doba dozvuku určená z poklesu v rozmezí 5 dB až 35 dB
$T_N, T_U$	(s)	-	doba dozvuku neupraveného prostoru, doba dozvuku upraveného prostoru
$V$	(m <sup>3</sup> )	-	objem místnosti
$c$	(m.s <sup>-1</sup> )	-	rychlost šíření zvuku ve vzduchu
$\alpha$	(-)	-	činitel zvukové pohltivosti
M.V.	(-)	-	minerální vata
$L_{Aeq,T}$	(dB)	-	ekvivalentní hladina akustického tlaku vážená filtrem A
$L_{pAmax}$	(dB)	-	maximální hladina akustického tlaku vážená filtrem A
$L_{pAmin}$	(dB)	-	minimální hladina akustického tlaku vážená filtrem A
$L_{A90,T}$	(dB)	-	hladina akustického tlaku vážená filtrem A překročená v 90 % doby $t$
$L_{1/3}$	(dB)	-	hladina akustického tlaku v 1/3 pásmech frekvenčního spektra, nekorigovaná
$U$	(dB)	-	nejistota měření
MM		-	měřicí místo
VZT		-	vzduchotechnika

### 3 Legislativa a použité podklady

- [1] ČSN EN ISO 3382-1: Akustika. Měření parametrů prostorové akustiky. Část 1: Prostory pro přednes hudby a řeči. Úřad pro technickou normalizaci; prosinec 2009.
- [2] ČSN EN ISO 3382-2: Akustika. Měření parametrů prostorové akustiky. Část 2: Doba dozvuku v běžných prostorech. Úřad pro technickou normalizaci; únor 2009.
- [3] ČSN 73 0525: Akustika. Projektování v oboru prostorové akustiky. Všeobecné zásady. Český normalizační institut; únor 1998.
- [4] ČSN 73 0526: Akustika. Projektování v oboru prostorové akustiky. Studia a místnosti pro snímání, zpracování a kontrolu zvuku. Český normalizační institut; únor 1998.
- [5] ČSN 73 0527: Akustika. Projektování v oboru prostorové akustiky. Prostory pro kulturní účely. Prostory ve školách. Prostory pro veřejné účely. Český normalizační institut; březen 2005.
- [6] ČSN EN ISO 11654: Akustika. Absorbéry zvuku používané v budovách. Hodnocení zvukové pohltivosti. Český normalizační institut; prosinec 1998.
- [7] VAVERKA, Jiří. Stavební fyzika. Vyd. 1. Brno: VUTIUM, 1998, 343 s. ISBN 80-214-1283-6.
- [8] Vlastní zaměření prostorů, fotodokumentace.
- [9] <https://gerriets.com>, <https://trikustik.at>; <https://basf.com>.

### 4 Vstupní požadavky

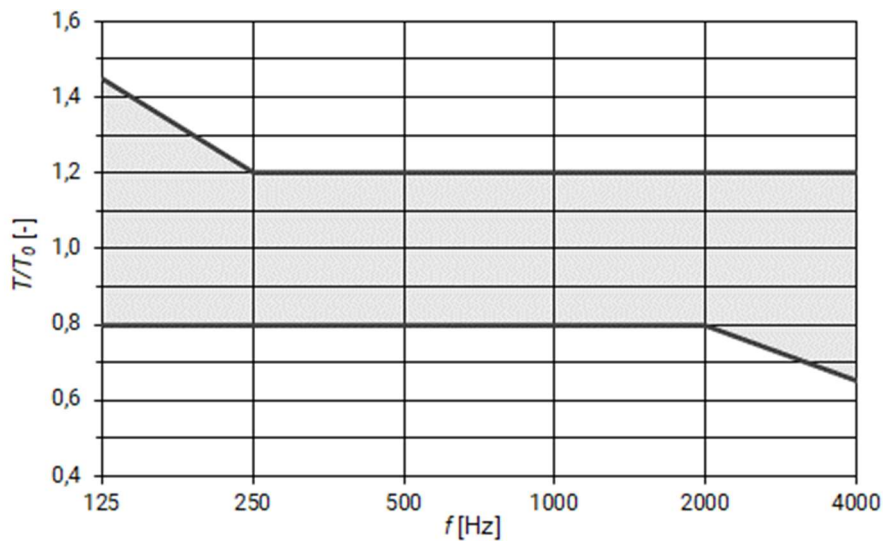
Normy ČSN 73 0525 a ČSN 73 0527 uvádí zásady pro projektování a realizaci uzavřených prostorů pro kulturní účely, prostorů ve školách a prostorů pro veřejné účely. Platí pro nově zřizované, rekonstruované nebo adaptované prostory, v nichž kvalita poslechových podmínek či akustická pohoda hraje významnou roli. Rozhodujícím krokem pro vytvoření příznivých akustických poměrů v uzavřeném prostoru je dosažení optimální doby dozvuku odpovídající danému účelu prostoru.

Pro uzavřené prostory pro kulturní účely, prostory ve školách a prostory pro veřejné účely stanovují normy pro daný objem místnosti  $V$  ( $m^3$ ) s ohledem na využití místnosti optimální dobu dozvuku  $T_0$  (s) a přípustné rozmezí poměru dob dozvuku  $T/T_0$  (-) v závislosti na středním kmitočtu oktávového pásma. Důležité je, aby byla doba dozvuku ve frekvenčním spektru vyrovnaná.

Hodnoty optimální doby dozvuku  $T_0$  pro prostory pro kulturní účely lze odečíst z grafu A.1, lit. [2], dle křivky pro daný způsob využití prostoru a jeho objemu. Sál bude využíván k různým účelům, je uvažováno využití ozvučovací techniky, a to jak pro mluvené slovo, tak i hudební reprodukci. Z hlediska zatřídění dle ČSN sál posuzujeme jako víceúčelový. Doba dozvuku se hodnotí v obsazeném stavu. Uvažujeme s počtem 66 osob, což jsou cca 2/3 maximální obsazenosti sálu.

$V = 798 \text{ m}^3$                       dle ČSN 73 0527:                      Víceúčelový sál                      →                       $T_0 = 1,0 \text{ s}$

Vzhledem k tomu, že uvedená norma je poměrně zastaralá a nereflktuje nároky na současnou ozvučovací techniku, snižujeme v návrhu optimální dobu dozvuku na  $T_0 = 0,8 \text{ s}$ .



Graf 4.1: Přípustné rozmezí poměru dob dozvuku  $T/T_0$  určeného k přednesu hudby i řeči v závislosti na středním kmitočtu oktávového pásma dle [5]

## 5 Metodika měření

Měření doby dozvuku bylo provedeno dle ČSN EN ISO 3382-2 [2]. Pro měření byla použita metoda impulsové odezvy. Jako zdroj impulsů byla použita signální pistole. V místnosti byla zvolena kombinace 17 poloh mikrofonu a zdroje.

Stupeň přesnosti měření: **inženýrský**

Měřicí mikrofon byl umístěn v ruce ve výšce cca 1,5 m nad podlahovou plochou. Doba dozvuku byla měřena v třetinooktávových pásmech v kmitočtovém rozsahu od 50 Hz do 10 kHz. Při měření byl zajištěn dostatečný odstup hladiny hluku od pozadí. Při určování prostorového průměru bylo použito aritmetického průměrování dob dozvuku. Prostorový průměr je dán střední hodnotou jednotlivých dob dozvuku pro všechny příslušné polohy zdroje a mikrofonu.

## 6 Výsledky měření

viz následující strana 6

## Posouzení doby dozvuku dle ČSN 73 0526

Měření parametrů prostorové akustiky.

**Podmínky měření:**

Teplota: 19,5 °C  
 Vlhkost: 43 %RH  
 Atm. tlak 1028 hPa  
 Měřený prostor: Sál

Objem: 798,0 m<sup>3</sup>

**Tolerance a přepočty:**

Měřená hodnota: RT60(T20)  
 Typ zdroje zvuku: signální pistole  
 Budicí signál: impuls  
 Stupeň přesnosti metody: inženýrský  
 Vyhodnocení křivek poklesu: Metoda nejmenších čtverců.

**Metody průměrování:**

Aritmetický průměr.  
 Měření byla vykonána v souladu s normou ČSN EN ISO 3382-2:2009.

ČSN 73 0527:2005

RT60(T20)

signální pistole

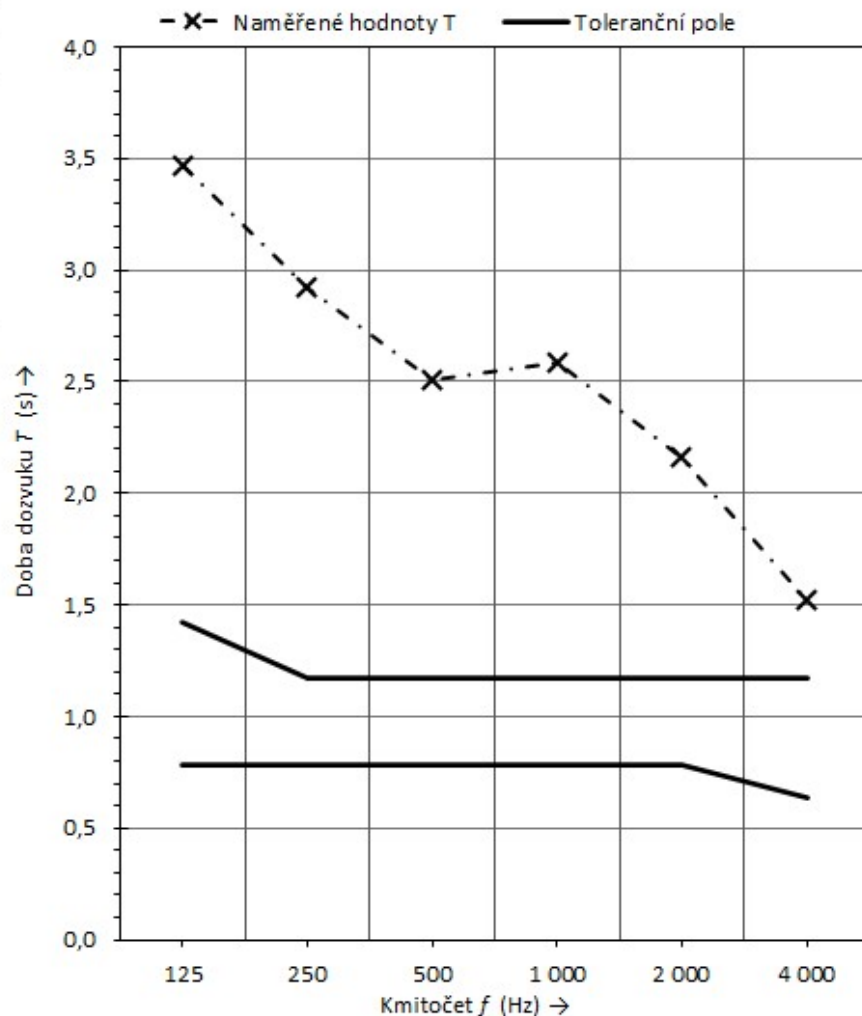
impuls

inženýrský

Metoda nejmenších čtverců.

Aritmetický průměr.

RT - okt. pásma	
f (Hz)	T (s)
125	3,47
250	2,92
500	2,51
1 000	2,59
2 000	2,16
4 000	1,52



**Místo měření:**

Opletalova 919/5  
 Praha 1 - Nové Město  
 110 00 Praha

**Stav prostoru:**

Neobsazený stav

**Objednatel měření:**

TOR-IN spol. s r.o.  
 Vysoká Pec 139  
 262 41 Bohutín

**Číslo zakázky:**

220009

**Datum měření:**

21.12.2021

Měřený rozsah: 125 Hz až 4000 Hz.

T<sub>500 Hz - 1000 Hz</sub> 2,55 s

**Vypracoval:**

Ing. Jiří Toul



## 7 Návrh akustických úprav

Pro optimální poslechové podmínky navrhujeme následující akustické úpravy podložené výpočty dle Eyringa. Z výsledků měření (viz kap. 6) je zřejmé, že doba dozvuku leží v celém rozsahu frekvenčního spektra zcela mimo zvolené toleranční pásmo, což způsobuje nevhodné poslechové podmínky v místnosti pro daný účel využití.

Posuzovaná místnost má cca obdélníkový půdorys. Stěny jsou omítnuté, lokálně ošetřené obkladem z cihelného pásku. Strop je klenbový kazetový s celkovým počtem 123 kazet o rozměrech cca (620 x 620) mm a průměrné hloubce cca 170 mm. Povrchová úprava podlahy je dlažba. Všechny povrchy jsou z hlediska šíření zvuku silně odrazivé.

### 7.1. Obklad stropu

Všechny stropní kazety budou kontaktně vyplněny materiálem na bázi melaminové pěny tloušťky **50 mm**. Ve výpočtech uvažujeme s akustickou izolací **Basf – Basotect**, která je vhodná zejména pro svou výraznou zvukovou absorpci, nízkou hmotnost a možnost instalace na podkladovou konstrukci pomocí lepicí pásky. Celková uvažovaná plocha akustického obkladu kazet je cca **47 m<sup>2</sup>**.

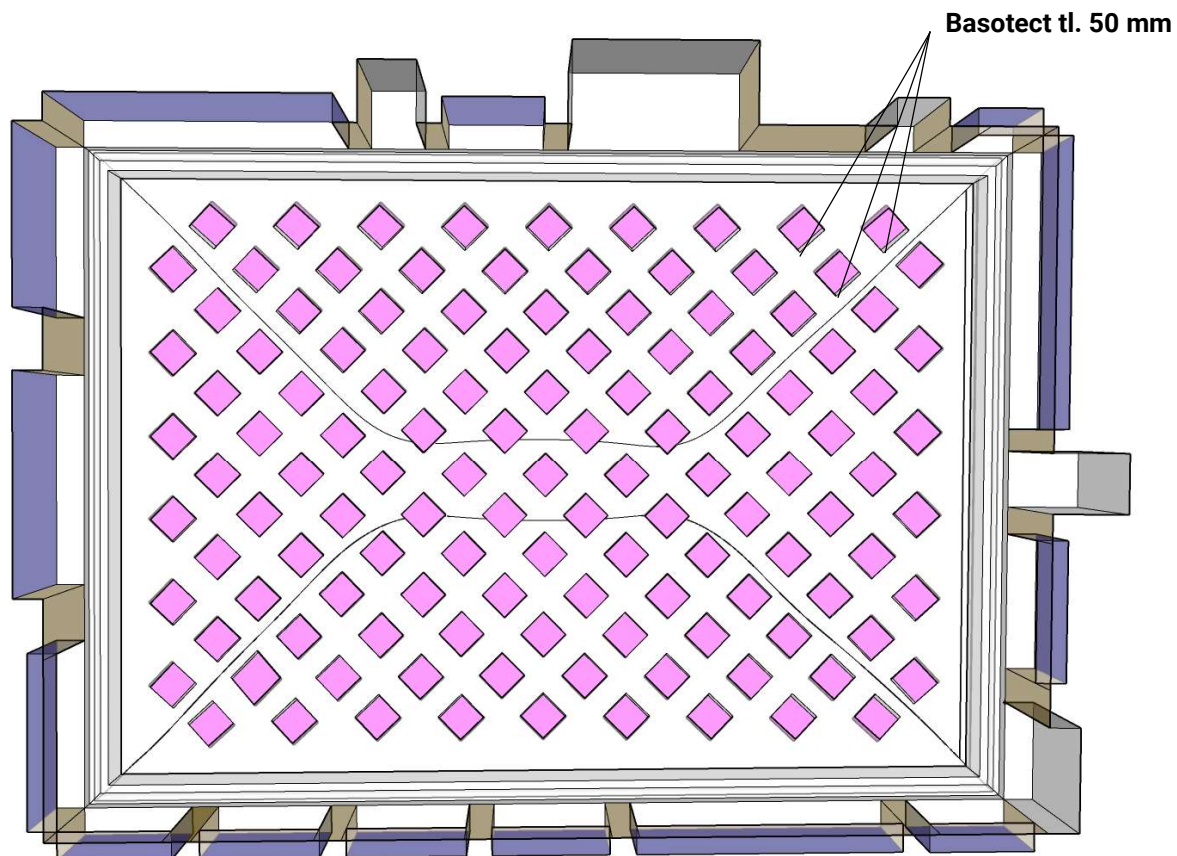
### 7.2. Obklad stěn

Dále bude do všech 14 výklenků v sálu instalován absorbér typu perforovaná deska odsazená od zadní stěny  $h = 200 \text{ mm}$  s vyplněním vzduchové mezery minerální vatou tloušťky  $d = 180 \text{ mm}$  o objemové hmotnosti cca **40 kg/m<sup>3</sup>** (např. Isover AKU). Vatu je vhodné z lícové strany potáhnout netkanou textilií kvůli zamezení uvolňování vláken do prostoru. Výpočet byl proveden s akustickým obkladem **Trikustik – R8D2ST** tloušťky 16-17 mm perforovaným kruhovými otvory  $\varnothing 2 \text{ mm}$  s osovou roztečí otvorů 8 mm v obou směrech. Plocha uvažovaného akustického obkladu je cca **63 m<sup>2</sup>**, což zajistí plošné snížení doby dozvuku na nízkých a středních kmitočtech.

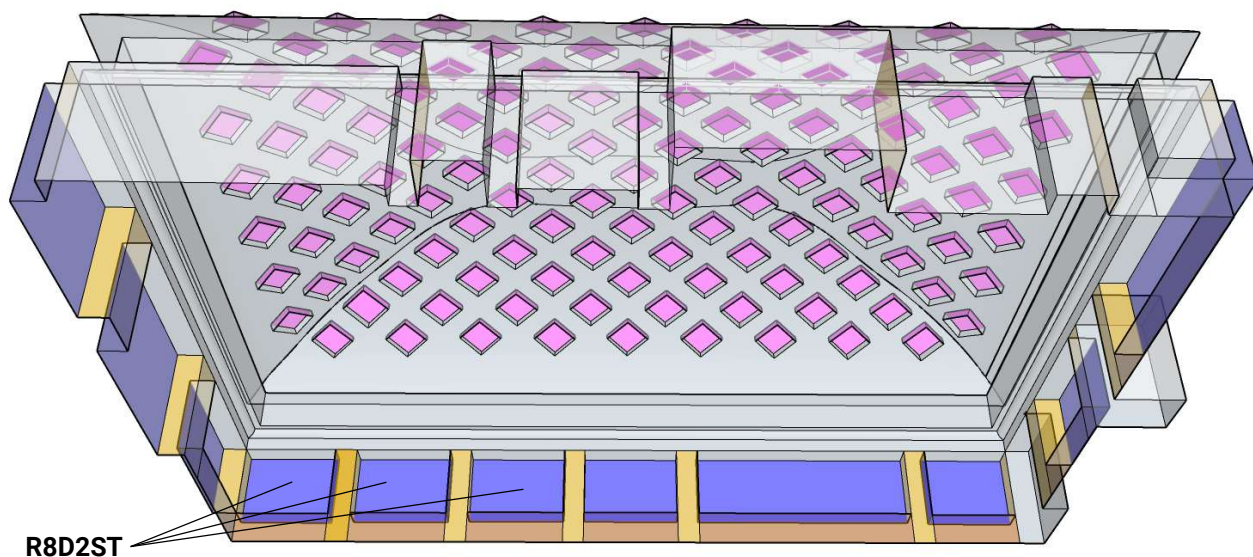
### 7.3. Další doporučené akustické úpravy

- Předsálí řešeného prostoru je rovněž velmi odrazivé. Z tohoto důvodu doporučujeme oddělit tuto místnost od vlastního sálu těžkým závěsem ze sametu či moltonu typu jevištní opona s gramáží cca 350 g/m<sup>2</sup> (např. Gerriets – Barcelona).
- V ochozu nad výklenky je po obvodu celého sálu vedeno VZT potrubí s vyústky instalovanými do sálu. V tomto potrubí se šíří hluk ze sálu, který se vlivem jeho délky zesiluje a vytváří tunelový efekt, což působí velmi rušivým dojmem. Za účelem omezení tohoto jevu doporučujeme opatřit vyústky VZT akustickými mřížkami, či přeslechovými tlumiči.





Obr. 7.1: Schematické znázornění akustického obkladu stropu (pohled na strop zespodu)

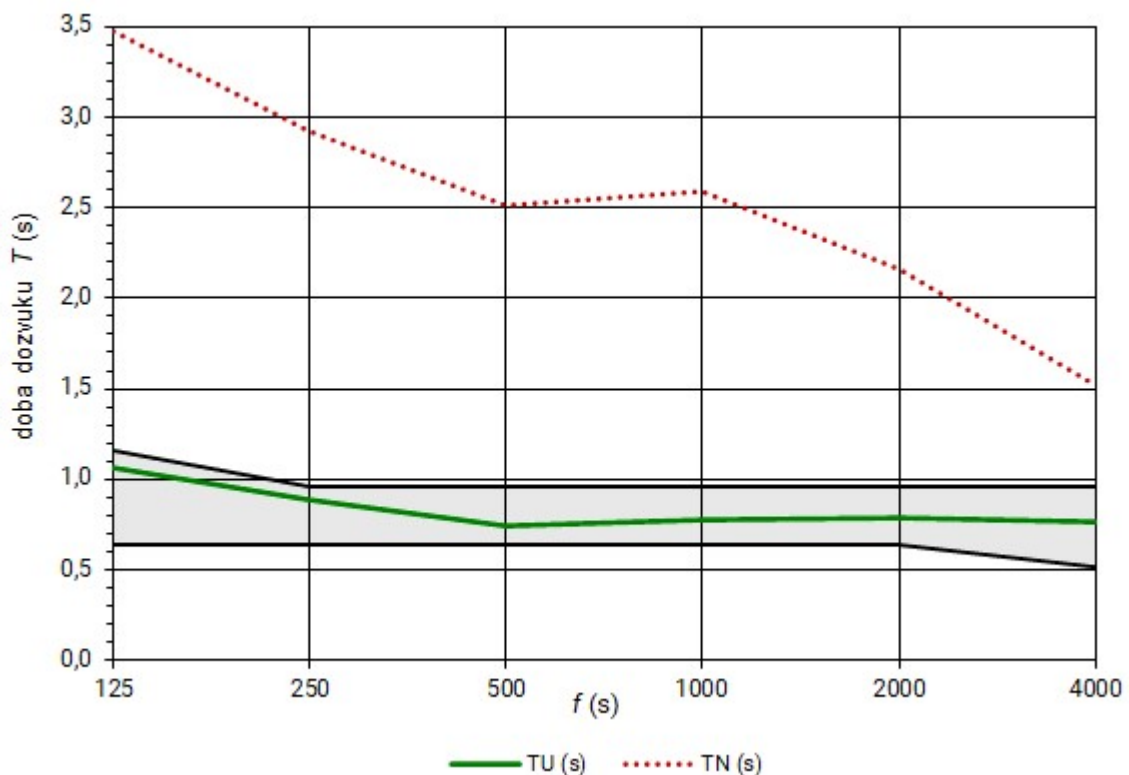


Obr. 7.2: Schematické znázornění akustického obkladu stěnových výklenků



Tab. 7.1: Porovnání doby dozvuku v sálu před a po akustických úpravách

Víceúčelový sál Opletalova	V = 798 m <sup>3</sup> T <sub>0</sub> = 0,80 s	Doba dozvuku T (s)					
		f (Hz)					
		125	250	500	1000	2000	4000
Místnost bez úprav – měření	T <sub>N</sub>	3,47	2,92	2,51	2,59	2,16	1,52
Místnost po akustických úpravách – výpočet	T <sub>U</sub>	1,06	0,88	0,74	0,78	0,79	0,77



Obr. 7.1: Grafické znázornění doby dozvuku naměřeného stávajícího stavu a místnosti po akustických úpravách vzhledem k tolerančnímu pásmu

## 8 Závěr

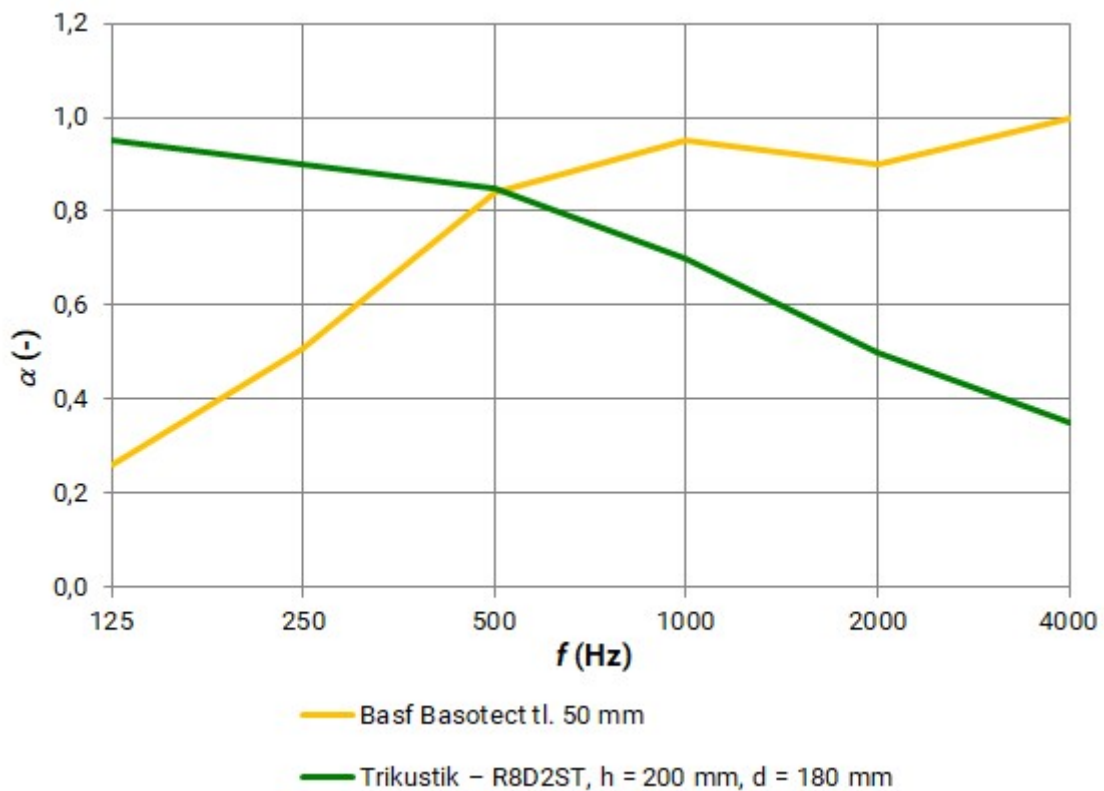
Tato studie řeší návrh akustických úprav vedoucích ke zlepšení poslechových podmínek v prostoru víceúčelového sálu na ulici Opletalova v Praze. Na základě vstupního měření a výpočtů doby dozvuku byly stanoveny materiály a jejich potřebné plochy a umístění. Po jejich instalaci se sníží doba dozvuku v celém frekvenčním spektru do požadovaných mezí stanovených dle uvažovaného využití prostoru.

## 9 Specifikace navržených akustických materiálů

V následující tabulce a grafu přikládáme pohltivosti materiálů použitých ve výpočtech. Při realizaci lze použít obdobné materiály, je však nutné dodržet jejich předepsané činitele zvukové pohltivosti.

**Tab. 9.1: Činitele zvukové pohltivosti  $\alpha$  (-) navržených materiálů**

Činitele zvukové pohltivosti $\alpha$ (-)						
frekvence (Hz)	125	250	500	1000	2000	4000
Basf Basotect tl. 50 mm	0,26	0,51	0,84	0,95	0,90	1,00
Trikustik – R8D2ST, h = 200 mm, d = 180 mm	0,95	0,90	0,85	0,70	0,50	0,35



**Graf 9.1: Činitele zvukové pohltivosti  $\alpha$  (-) navržených akustických materiálů**